



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**EFFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL SOBRE PARÁMETROS
PRODUCTIVOS, CARACTERÍSTICAS DE CANAL Y CALIDAD DE LA
CARNE EN OVINOS**

Por:

Jorge Adalberto Cayetano de Jesús

**Tesis Presentada como Requisito Parcial para la Obtención del Grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Enero 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



**EFEECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL SOBRE PARÁMETROS
PRODUCTIVOS, CARACTERÍSTICAS DE CANAL Y CALIDAD DE LA
CARNE EN OVINOS**

Por:
Jorge Adalberto Cayetano de Jesús

**Tesis Presentada como Requisito Parcial para la Obtención del Grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

Director
Dr. Héctor Aarón Lee Rangel

Co-Director
Dr. Dr. Rolando Rojo Rubio

Asesores
Dr. Juan Carlos García
Dr. César Augusto Rosales Nieto

Sinodal
Dr. Gilberto Ballesteros Rodea

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Enero 2019

La Tesis titulada “**Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre parámetros productivos, características de canal y calidad de la carne en ovinos**” fue realizada por Jorge Adalberto **Cayetano de Jesús**, como requisito parcial para obtener el grado de Doctor Ciencias Agropecuarias, fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Héctor Aarón Lee Rangel

Director



Dr. Rolando Rojo Rubio

Co-Director



Dr. Juan Carlos Garcia Lopez

Asesor



Dr. César Augusto Rosales Nieto

Asesor



Dra. Gilberto Ballesteros Rodea

Sinodal



Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a 31 de enero de 2019.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA

Diana López Alcántara

Por ser mi fuente de inspiración, mi gran amor, por su paciencia y comprensión.

A MIS PADRES

Martina de Jesús Mendoza

Jorge Cayetano Antonio, por haberme regalado la vida, por su apoyo incondicional y sus enseñanzas.

A MIS HERMANAS

Alma Delfina Cayetano de Jesús

Grisel Cayetano de Jesús, por toda una vida caminado y aprendiendo juntos.

A MIS SUEGROS Y FAMILIA

Por todo el apoyo y buenos consejos

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, (UASLP), por darme la oportunidad de seguir preparándome.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP, por permitirme desarrollar dentro de sus instalaciones

Al Dr. Héctor Aarón Lee Rangel, por todos esos grandes consejos, enseñanzas y confianza, que quedan en mí para ser mejor cada día.

Al Dr. Rolando Rojo Rubio, por su apoyo y enseñanzas durante mi formación profesional.

Al Dr. Abdel- Fattah Z. M. Salem, por la motivación hacia el mundo de la investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgando con la beca número 468872.

A mis compañeros y amigo de posgrado, por caminar junto a mí aprendiendo juntos durante este proceso formativo, Carlos Antonio Gómez Flores, José Alejandro Roque Jiménez y Mario Francisco Oviedo Ojeda.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN	1
SUMMARY	1
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	2
Objetivos.....	2
CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.1 Ovinocultura Nacional	3
1.2 Calidad de la carne ovina	3
1.3 Factores que determinan la calidad de la carne	5
1.3.1 Factores intrínsecos.....	5
1.4 Parámetros físico-químicos que determinan la calidad de la carne.....	8
1.4.1 pH.....	8
1.4.2 Capacidad de retención de agua.....	8
1.4.3. Color	10
1.4.4 Textura.....	12
1.4.5 Grasa.....	13
1.4.6 Perfil de ácidos grasos	13
1.5 B-Agonistas dentro de la producción animal	14
1.6 Clorhidrato de Zilpaterol.....	15
1.6.1 Estructura química.....	15
1.6.2 Mecanismo de acción	17

1.6.3 Efecto del Clorhidrato de Zilpaterol sobre los sistemas de producción ovina	18
1.7. LITERATURA CITADA.....	20
CAPÍTULO II. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LA PRODUCTIVIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN BORREGOS DE ENGORDA.....	30
2.1 ABSTRACT	30
2.2 INTRODUCTION	31
2.3 MATERIALS AND METHODS	32
2.4 RESULTS AND DISCUSSION.....	35
2.5 CONCLUSIONS	42
2.6 ACKNOWLEDGEMENTS	42
2.7 LITERATURE CITED	43
CAPITULO III. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL COMO SUPLEMENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LA CARNE EN OVINOS DE PELO	47
3.1 RESUMEN.....	47
3.2 INTRODUCCIÓN.....	48
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.3.1 Animales y dietas	49
3.3.3 Ensayo de crecimiento.....	52
3.3.4 Características de la carne	52
3.3.5 Análisis estadístico	53
3.4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	53
3.4.1 Ensayo de crecimiento.....	53
3.4.2 Características de la carne	55
3.5 CONCLUSIONES.....	57
3.6 LITERATURA CITADA.....	58
CONCLUSIONES GENERALES	62

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LA PRODUCTIVIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN BORREGOS DE ENGORDA.

1	Ingredients and chemical composition of the experimental diets	35
2	Feedlot performance of hair-breed ram lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d.	38
3	Carcass characteristics of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d	39
4	Commercial cuts for sheep according to Australia meat standards of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d	42
5	Percentage of non-carcass components of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d.	43

CAPITULO III. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL COMO SUPLEMENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LA CARNE EN OVINOS DE PELO

6	Composición de la dieta basal por tratamiento.	52
7	Variables productivas de corderos suplementados con clorhidrato de zilpaterol durante 30 días	56
8	Características fisicoquímicas de la carne de corderos suplementados con Clorhidrato de Zilpaterol durante 30 días	58

RESUMEN

Se realizó el presente trabajo con la finalidad de evaluar el efecto del Clorhidrato de Zilpaterol usado como suplemento en la dieta base de ovinos de pelo en la etapa de finalización, se trabajaron con 24 ovinos Dorper xPelibuey, con pesos promedios de 32.19 ± 0.69 kg, y edades promedio de 5 meses, los cuales fueron alojados en jaulas metabólicas individuales provistas de comederos y bebederos, por un periodo de adaptación a las condiciones y a la alimentación de 15 días previos al peso promedio inicial. Se manejaron 4 tratamientos (n=6) bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, T1: Control, T2: 0.1, T3: 0.2 y T4: 0.3 mg/kg de PV (peso vivo) y más la dieta basal, por un periodo de 29 días, posteriormente sacrificados (respetando los 2 días de retiro del Clorhidrato de Zilpaterol(CZ)) para determinar el efecto sobre parámetros productivos, características de la canal y calidad de la carne, encontrando que el rendimiento productivo fue estadísticamente superior en T3 (0.2 mg/kg PV), donde el BW final tuvo un efecto cúbico y la ganancia total presentó un aumento lineal con la adición de CZ. ADG es mayor en corderos que reciben CZ. DMI disminuyó con la suplementación con CZ. ADG: DMI y WI mostraron un aumento lineal por nivel de CZ. para las características de la canal, por la adición de CZ como suplemento a la dieta, El HCW, CCW y el apósito son mayores con la suplementación con CZ. LD pH a los 45 min y a las 24 h post mortem aumentó cuando se incluyó CZ. El perímetro de la grupa presentó un aumento lineal y el área LD para ser mayor en corderos que recibieron CZ. la variable a^* en colorimetría, T3 fue estadísticamente superior a T2 (0.2 mg/kg de PV) reportando una carne más roja, sin diferencias significativas para el resto de los tratamientos. La suplementación con ZH es beneficiosa para mejorar el rendimiento del lote de alimentación y las características de la carcasa de importancia económica, como el perímetro de la grupa y el área LD, sin afectar los rendimientos al por mayor en los corderos carneros.

Palabras clave: Corderos, calidad de carne, características de canal, productividad, Clorhidrato de Zilpaterol

SUMMARY

The present work was carried out with the purpose of evaluating the effect of Zilpaterol Hydrochloride used as a supplement in the base diet of hair sheep in the final stage. We worked with 24 Dorper xPelibuey sheep, with average weights of 32.19 ± 0.69 kg, and average ages of 5 months, which were housed in individual metabolic cages equipped with feeders and drinking troughs, for a period of adaptation to the conditions and the feeding of 15 days prior to the initial average weight. Four treatments were treated ($n = 6$) under an experimental design of blocks completely randomized, T1: Control, T2: 0.1, T3: 0.2 and T4: 0.3 mg / kg of PV (live weight) and more the basal diet, by a period of 29 days, subsequently slaughtered (respecting the 2 days of withdrawal of Zilpaterol Hydrochloride (ZH)) to determine the effect on production parameters, carcass characteristics and meat quality, finding that the productive performance was statistically superior in T3 (0.2 mg / kg PV), where the final BW had a cubic effect and the total gain presented a linear increase with the addition of CZ. ADG is higher in lambs received CZ. DMI decreased with supplementation with CZ. ADG: DMI and WI showed a linear increase per CZ level. For the characteristics of the carcass, by the addition of CZ as a supplement to the diet, HCW, CCW and the dressing are greater with CZ supplementation. LD pH at 45 min and at 24 h post mortem increased when CZ was included. The perimeter of the rump presented a linear increase and the LD area to be greater in lambs that received CZ. The variable a^* in colorimetry, T3 was statistically superior to T2 (0.2 mg / kg of PV), reporting a redder flesh, without significant differences for the rest of the treatments. Supplementation with ZH is beneficial to improve the performance of the feeding lot and the characteristics of the carcass of economic importance, such as the perimeter of the rump and the LD area, without affecting the wholesale yields in lamb rams.

Keywords: Lambs, meat quality, carcass characteristics, productivity, Zilpaterol hydrochloride.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción ovina en México se encuentran principalmente enfocados a la producción cárnica, siendo así que para el año 2008 la producción representó MN\$128,257,000.00, según datos reportados por INEGI para este año. Para el año 2009, el inventario nacional de ovinos en México reportó un total de 7,800,000 cabezas de ganado, lo cual originó una producción de 53,740 toneladas de carne, aunado a esto, para el mismo año las cifras de importación fueron de 22,838 toneladas de carne (SAGARPA, 2009). La producción de carne ovina en México se consume principalmente en los platillos tradicionales, como lo son la barbacoa y lo mixiotes, los cuales son consumidos en gran parte de la República, el mayor consumo se concentra en parte centro del país, en estados como Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Querétaro, Morelos y Ciudad de México (Cuéllar *et al.*, 2005; Gómez, 2009).

Gran parte de los sistemas de producción ovina en México, enfrentan los incrementos en costos de producción como lo es principalmente la alimentación, por lo que los investigadores se encuentran en una búsqueda constante de alternativas para ofrecer a los sistemas de producción que les permitan contrarrestar el alza de estos insumos, y a su vez puedan obtener mejores ganancias, una de las alternativas estudiadas son los aditivos o suplementos alimenticios, necesidades que nos han encaminado a la introducción de nuevas técnicas y procedimientos donde se incluyen el uso de algunas drogas como aditivos en la dieta de los animales, los B-Agonistas adrenérgicos (BAA) (Domínguez *et al.*, 2009), considerados como repartidores de energía, se incorporan a la dieta para mejorar la retención de nitrógeno, actuando a nivel de los receptores adrenérgicos, derivando la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis de proteica muscular (Mersmann, 1998), incrementando el rendimiento de la producción de carne y mejorando la eficiencia de utilización del alimento, reduciendo la grasa, mejorando el rendimiento de la canal y calidad de la carne (Moody *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2009).

Hipótesis

El Clorhidrato de Zilpaterol adicionado como complemento a las dietas basales de ovinos de pelo en etapas de finalización, mejoran los parámetros productivos, así como las características de la canal y la calidad de la carne.

Objetivos

General: Determinar la dosis optima de Clorhidrato de Zilpaterol que mejore los parámetros productivos, características de canal y calidad de la carne en ovinos de pelo en etapas de finalización.

Específico 1: Determinar el efecto del Clorhidrato de Zilpaterol sobre los parámetros productivos.

Específico 2: Determinar el efecto del Clorhidrato de Zilpaterol sobre las características de la canal y la calidad de la carne.

CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Ovinocultura Nacional

Los niveles de producción del sector ovino mexicano, en la actualidad se encuentran ampliamente rebasados por los consumidores, por lo que se ve en la necesidad de buscar alternativas viables que les permitan incrementar sus niveles de producción y así poder hacer frente a las demandas del mercado nacional. México ocupa el octavo lugar dentro de los países importadores de este producto (FAOSTAT, 2007). Datos de SAGARPA (2010), nos revelan que el consumo total de carne ovina en el país fue de 85,965 toneladas, de las cuales sólo 46,299 fueron abastecidas por la producción nacional, mientras que el resto (46.2%) provinieron de importaciones de países como Australia, Nueva Zelanda y Uruguay, principalmente, también reportan que el país sólo produce el 53.8% del consumo total aparente, mientras que el resto es importado. INEGI (2009), reportó un incremento en el número de unidades de producción ovina, siendo en dicho año más de 448 mil explotaciones registradas producción. En este mismo año, el inventario total de ovinos fue de 7'757,267 cabezas, y la producción de carne de 51,396 toneladas.

1.2 Calidad de la carne ovina

Según Consigli (2001), el termino calidad considera al conjunto a las características de un producto o servicio que satisfacen las necesidades o deseos del cliente, donde se encuentra una estrecha relación entre las características reales y las esperadas de cierto producto, en la medida que se satisface las necesidades o deseos del consumidor. Pero el concepto o percepción de calidad es aún más amplia, en cierto modo subjetivo ya

que considera a la certificación de los procesos y productos y la oferta de productos de calidad constante, entre otras características implicadas en este concepto.

La calidad puede ser definida como el conjunto de características cuya importancia relativa le confiere al producto un mayor grado de aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o frente a la demanda del mercado (Colomer *et al.*, 1988). Por otro lado encontramos otros autores que para definir calidad consideran diferentes factores y posibles tipos, como lo son; calidad nutritiva: va acorde con los nutrientes que nos pueda proporcionar, calidad higiénico-sanitario: la cual considera a la carga microbiana que se presenta en la carne, así como los residuos que esta pueda presentar, calidad tecnológica: considera a la diversidad de posibilidades con las que cuente la carne para la elaboración de productos cárnicos y calidad sensorial que toma en cuenta a los atributos visuales y características apreciables al momento de la degustación. Aspectos relacionados al sistema de producción como bienestar animal o impacto sobre el medio ambiente son ampliamente considerables para referirse a calidad de la carne ya que tiene gran influencia sobre los productos finales (Zimmerman, 2012).

Calidad de la canal, esta se encuentra definida por una serie de características que le atribuyen una máxima aceptación en el mercado y que se traduce en un mayor precio o en una mayor demanda (Zimmerman, 2012), siendo quizás el más importante de todos el color (Pearson, 1966). La terneza y el sabor, en dicho orden, son lo que, después del color, más influyen en la aceptabilidad de la carne (Brayshaw *et al.*, 1965). Por lo tanto, puede decirse que los intentos de definir la calidad de la carne implican tanto su atractivo como su jugosidad (Pierce *et al.*, 1974). Los atributos que contribuyen de forma más importante a ésta última son la terneza, la jugosidad, el sabor y el aroma (Wood, 1990).

1.3 Factores que determinan la calidad de la carne

1.3.1 Factores intrínsecos

Raza - Se han realizado trabajos donde se presta más atención al factor raza para encontrar alguna diferencia entre esta en cuanto a calidad de carne se refiere, donde se han manejado razas de igual peso o a igual edad y las razas más precoces o de conformación adulta, han alcanzado mayor grado de madurez y por lo tanto tendrán mayor cantidad de grasa que aquellas razas más tardías (Beerman *et al.*, 1995). Sañudo *et al.* (1997), comparando razas españolas: Churra, Castellana, Manchega, y cruza con Awassi, han encontrado que las canales más engrasadas y con mayor cantidad de grasa subcutánea, intermuscular e interna eran las pertenecientes a la raza Churra debido a la mayor precocidad de esta. También se deduce de ese trabajo, que los corderos Manchegos tienen mejores características para la producción de carne, presentando una conformación, contorno de caderas y desarrollo de la pierna, más satisfactorios, que el resto de razas rústicas de aptitud lechera. Generalmente las diferencias asociadas a la raza y el sexo se eliminan cuando el peso de los tejidos se expresa como proporción del peso de la canal y cuando se comparan a igual proporción de peso maduro. (Oberbauer *et al.*, 1994; Snowden *et al.*, 1994). Wood *et al.* (1991), afirmaron que la composición tisular en las distintas razas ovinas es muy similar cuando los animales son sacrificados a porcentajes iguales de su peso adulto que es cuando han alcanzado su estado de madurez. Las proporciones de músculo y hueso se mantienen prácticamente constantes, apareciendo sólo ligeras variaciones en la grasa. Snowden *et al.* (1994), realizaron estudios para determinar los pesos óptimos de sacrificio para la producción de carne de cordero, en cuatro razas, concluyendo que la raza menos precoz y de mayor talla, presentaba menos grasa subcutánea y menos grasa pelviorrenal, por lo que convendría sacrificar a pesos mayores.

La raza también influye en la distribución del tejido adiposo, así en las razas de aptitud cárnica la grasa tiende a distribuirse uniformemente por el tejido conjuntivo subcutáneo, mientras que las razas rústicas depositan la grasa en cavidades corporales (Kempster, 1981b), región sacra y base de cola. La raza afecta más a la conformación de la canal que a la proporción de las distintas regiones corporales para animales de un peso y estado de engrasamiento próximos (Boccard y Dumont, 1960b). El desarrollo muscular está muy influenciado por la raza del animal, así los corderos de razas muy especializadas en la producción de carne van a tener mayor desarrollo de los músculos precoces, mientras que los animales menos seleccionados presentan crecimientos más tardíos.

Los huesos de razas mejoradas para la producción de carne son más cortos y relativamente más gruesos que los de las razas no mejoradas, lo que se traduce en una pierna más corta recubierta por una mayor proporción de carne (Hammond, 1966). Los animales especializados en la producción de carne presentan mayores rendimientos a la canal. Wylie *et al.* (1997), encontraron que las canales procedentes de corderos de raza Texel, tienen mejores rendimientos de la canal que las procedentes de Suffolk (481 frente a 476 g/Kg), criados de la misma manera y sacrificados a 40, 44, y 48 Kg de peso.

Sexo - El desarrollo corporal de los animales se encuentra muy influenciado por el sexo, por lo que también va a influir sobre la calidad de la canal. De manera general hay una diferencia en el tamaño corporal entre sexos, los machos son más pesados debido a su mayor tasa de crecimiento y a que este es más prolongado en el tiempo. Las hembras presentan la pubertad a edad más temprana, debido a su mayor precocidad. También se observan diferencias en la conformación y el grado de engrasamiento (Hammond, 1932). El mayor grado de desarrollo muscular del macho (importante desde el punto de vista de producción de carne), es debido a la acción anabólica de las hormonas masculinas. Sin embargo, los machos presentan mayor proporción de cuello y espalda mientras que las hembras poseen mayor proporción de piezas de primera categoría. Con relación a esto, Butler y Brown (1986), encontraron, al estudiar la distribución de los músculos entre machos y hembras, que, aunque los

machos presentan mayor cantidad de músculo que las hembras, estudiando cada músculo, las diferencias son poco acusadas. También observaron que las hembras presentaban mayor cantidad de músculo en la pierna y menor en el miembro torácico y el cuello, por lo que presentarían mayor cantidad de carne en las piezas de primera categoría, al contrario que los machos. Otros autores, estudiando el crecimiento de corderos de ambos sexos de raza Talaverana, encontraron que los machos presentaban valores significativamente superiores, en cuanto al peso medio de las piezas, excepto en el costillar y el lomo donde las diferencias de peso eran menores debido al desarrollo del tejido adiposo (Guía y Cañeque, 1992), mientras que la relación M/H es mayor en hembras debido a que poseen menor desarrollo óseo que los machos (Cañeque *et al.*, 1989). También es mayor el crecimiento en grosor del hueso en los machos que en las hembras y en animales castrados (Hammond, 1932). Por lo general las hembras presentan un mayor nivel de grasa por unidad de músculo, por lo que su índice M/G será menor que en los machos. Velasco *et al.* (2000), encontraron en corderos Talaveranos, que las hembras presentaban un mayor engrasamiento general de la canal que los machos, esto se vio reflejado en una mayor proporción de grasa total y principalmente de grasa interna (omental, y pelvicorrenal) y subcutánea. Cañeque *et al.* (1989), sugieren que como a igual peso vivo, el engrasamiento de las hembras es mayor, se podrían sacrificar a pesos menores. Pérez *et al.* (1995), encontraron en corderos sacrificados a los 105 días de edad, que las medidas de conformación presentaban valores superiores en machos que en hembras como consecuencia del mayor peso que alcanzaron éstos. En cambio Guía y Cañeque (1992), vieron que los machos y hembras a la misma edad presentan medidas de conformación análogas, pero que las canales de las hembras estarían proporcionalmente mejor conformadas. El sexo tiene influencia sobre los rendimientos presentando a igualdad de peso, mayores rendimientos las hembras que los machos (Vergara *et al.*, 1999a; Velasco *et al.*, 2000), como consecuencia de una mayor deposición de grasa debida a su mayor precocidad.

1.4 Parámetros físico-químicos que determinan la calidad de la carne

1.4.1 pH

El pH de la carne es una de las principales características que determinan la calidad del producto y está influida por un sinnúmero de factores que pueden interactuar entre sí determinando la velocidad de descenso y pH final. Este rasgo es el factor principal en determinar las características organolépticas: color, olor y textura de la carne, además de afectar la capacidad de retención de agua (jugosidad) de la carne. Parámetro que como ya se menciona está influenciada por un gran número de factores, dentro de estos se encuentran la alimentación del animal, el medio y modo de transporte, el estrés al cual este expuesto el ovino, y el modo de sacrificio, estos factores actúan directamente sobre el nivel de pH de la carne, Okeudo y Moss (2004), reportaron diferencias en el nivel de pH correlacionadas directamente con el peso de la canal, donde 21 kg de peso en canal arrojó un pH de 5.74 y posteriormente con el aumento de peso el pH encontrado fue disminuyendo. Mismos estudios sobre calidad de carne en ovinos con la comparación entre razas, Cloete *et al.* (2012), reportaron diferencias en los pH arrojados por la raza Dohne Merino y SAMM siendo menor el nivel de pH del Merino en comparación con la raza SAMM.

1.4.2 Capacidad de retención de agua

Hamm (1960), define la capacidad de retención de agua (CRA) como la propiedad que tiene la carne para retener su agua constitutiva tanto durante la aplicación de fuerzas externas como por otros tratamientos. Sañudo *et al.* (1992a), la define 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 presenta un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación.

La CRA contribuye a la calidad de la carne (Hamm, 1960) y de sus productos derivados, estando relacionada con la textura, ternura, y color de la carne cruda, jugosidad y firmeza de la carne cocinada. El parámetro de calidad más afectado por la CRA es la jugosidad. Al hablar de la jugosidad de la carne se pueden distinguir dos estados, en primer lugar aparece una jugosidad inicial, que produce sensación de humedad al inicio de la masticación, debido a una rápida liberación de jugo, y que depende básicamente de la capacidad de retención de agua de la carne.

Posteriormente, aparece una jugosidad continuada, mantenida o sostenida, la cual está determinada por la cantidad de grasa que esa carne posea. Según describe Hamm (1963), el 70% del agua constitutiva de la carne fresca se encuentra localizada en las miofibrillas musculares, el 20% en el sarcoplasma y el resto en el tejido conjuntivo. Del total de agua del músculo un 4-5% se encuentra asociada a los grupos polares de la proteína se conoce como "agua ligada". Este grado de unión depende de la solubilidad proteica y esta a su vez del estado de las proteínas miofibrilares (Sayre y Briskey, 1963) y del pH. Así el agua ligada permanece fuertemente unida a las proteínas, incluso cuando se aplican fuerzas externas sobre el músculo. Después de la muerte y antes del inicio del rigor mortis se produce una reducción del sistema miofibrilar junto con una disminución de la CRA debido al efecto de la disminución del pH (Hamm, 1981, 1982) y de la concentración del ATP. La instauración del rigor mortis se asocia a una reducción de la CRA por la liberación de iones divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y la consiguiente creación de puentes que aproximan las cadenas proteicas al combinarse estos iones con los grupos reactivos negativos de las proteínas.

1.4.3. Color

Desde un punto de vista físico, el color de la carne es el resultado de la distribución espectral de la luz que incide sobre ella, y de la intensidad de la luz reflejada por su superficie. Es probablemente el primer factor que considera el consumidor en el momento de adquirir carne. En general se asocia “carne oscura” con “animales viejos”, y si bien algo de cierto hay en esa suposición, la realidad es que tanto animales de mayor peso, como las razas adaptadas a condiciones ambientales extremas tienden a presentar carnes más oscuras y con mayor índice de rojo. La alimentación del animal en algunos casos puede afectar el color de la carne. Por ejemplo, es sabido que la carne proveniente de animales lactantes es más clara y presenta menor índice de rojo que la de aquellos que se encuentran en pastoreo. El agregado de ciertas sustancias, como antioxidantes naturales a la dieta permite que el color de la carne se mantenga estable durante un mayor período. El color puede ser medido instrumentalmente con colorímetros u espectrofotómetros, aunque también se pueden utilizar patrones fotográficos. El color de la carne depende de la concentración de pigmentos hemínicos (fundamentalmente mioglobina), del estado químico de la mioglobina en superficie, de la estructura y estado físico de las proteínas musculares y de la proporción de grasa de infiltración (Warris *et al.*, 1990a). La mioglobina es una proteína sarcoplasmática, relativamente pequeña, portadora de oxígeno (PM: 16.700). Su función es la de almacenar oxígeno y facilitar su transporte a las mitocondrias. Contiene una proteína, la globina, con un grupo hemo de ferroporfirina que es idéntico al de la hemoglobina. El grupo hemo es el responsable del intenso color rojo-pardo de la hemoglobina y de la mioglobina. La mioglobina exhibe una afinidad muy elevada por el oxígeno, (se halla saturada ya en un 50% cuando la presión de oxígeno es de 1 a 2 mm Hg y en un 95% cuando la presión es de 20mm Hg). La mioglobina almacena y transporta el oxígeno que necesita el músculo, por lo que su concentración aumenta a medida que crece la demanda de oxígeno; por ello es superior en los músculos más activos y según crece el animal, siendo, además diferente en las distintas especies domésticas. La hemoglobina (especialmente en los animales mal sangrados), los citocromos y los

flavonoides pueden influir también en el color de la carne, así como, indirectamente, su contenido en humedad y grasa intramuscular (Cepero y Sañudo, 1996). 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). El consumidor en general prefiere una carne de color rojo brillante mientras que rechaza la de color apagado o pardo (Beriain y Lizaso, 1997). No obstante, en la aceptación del color influyen factores geográficos, sociales culturales por lo que la generalización en este parámetro es compleja. La apreciación que tiene el consumidor del color de la carne se ve influida por el grado de infiltración grasa (marmóreo) de la pieza muscular, de modo que valores superiores al 2.5% de contenido de grasa de infiltración aumentan la reflectancia de la luz y en consecuencia proporcionan un aspecto más claro a la carne (Barton-Gade, 1981). El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986), 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). 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 hemopigmentos (Palombo y Wijngaards, 1990; Sayas, 1997). En un trabajo realizado por Pérez *et al.* (1998), con carne de pollo, cerdo y ternera, llegan a la conclusión de que el contenido en grasa es otro factor a tener en cuenta sobre esta coordenada, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de L^* . La coordenada a^* (rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina. En esta afirmación coinciden Pérez *et al.* (1998), quienes encuentran un mayor valor de a^* en aquellas carnes con mayor contenido en mioglobina. La coordenada b^* (amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez *et al.*, 1996). En el trabajo desarrollado por el equipo de este mismo autor en 1998, llegan a la conclusión de que la concentración de

mioglobina no es un factor determinante sobre esta coordenada, ya que, si esta hemoproteína fuese la determinante, cabría esperar un comportamiento similar al obtenido para la coordenada a*. Sin embargo, observan que las "carnes grasas" presentan valores de b* similares a los obtenidos para las "carnes magras". Este comportamiento podría deberse a una mayor contribución en "componentes amarillos" por parte de la grasa.

1.4.4 Textura

La textura de la carne se percibe como un conjunto de sensaciones táctiles resultado de la interacción de los sentidos con las propiedades físicas y químicas entre las que se incluyen la densidad, la dureza, la plasticidad, la elasticidad, la consistencia, la cantidad de grasa, la humedad y el tamaño de las partículas de la misma. De entre ellas el consumidor confiere una mayor importancia a la textura o bien si se considera de forma antagónica, a la dureza, como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Lawrie, 1998). Así la textura determina no sólo el precio de la carne, sino que además la clasificación en categorías comerciales de la misma resultante del despiece, que se realiza en base a la textura potencial. Chambers y Bowers (1996), afirman que la terneza decide el valor comercial de la carne, y Boleman *et al.* (1995), confirman que el consumidor paga por 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, 1980). Las primeras 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. Algunos autores en cambio señalan que es la solubilidad del colágeno el factor más importante a considerar al hablar de la terneza (Hill, 1966). Young y Braggins (1993), señalan que la

concentración de colágeno es más determinante en la valoración de la terneza de la carne ovina por un panel sensorial, mientras que la solubilidad está más relacionada con la fuerza de corte.

1.4.5 Grasa

Es un indicador del grado de terminación que tienen los animales. Puede valorarse según la grasa de cobertura de las canales (grasa subcutánea) o a través del engrasamiento interno (grasa renal). En ambos casos es necesario utilizar una escala basada en patrones fotográficos. En general las razas cuya aptitud no es principalmente la carnicera, es decir aquellas que habitan en zonas con condiciones climáticas adversas: razas lecheras, laneras o productoras de pelo; tienden a depositar más grasas cavitarias (grasas internas, que se depositan en la cavidad abdominal) que, de cobertura, es por ello que para éstas es recomendable utilizar la clasificación según su engrasamiento renal (Pighin *et al.*, 2013).

1.4.6 Perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos más abundantes en la grasa de origen animal presentan un número par de átomos de carbono y de longitud comprendida entre 14 y 22 átomos de carbono, siendo los más abundantes los de 16 y 18 átomos de carbono. Normalmente, los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados se presentan en la configuración *cis*, siendo menos frecuente la configuración *trans*. Los ácidos grasos saturados mayoritarios en la grasa de origen animal son los ácidos laúrico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0). Los ácidos grasos monoinsaturados más importantes cuantitativamente son los ácidos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) y de los poliinsaturados, los ácidos linoleico (C18:2), linolénico (C18:3) y

araquidónico (C20:4). Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono mayoritarios en la grasa animal son el pentadecanoico (C15:0) y el heptadecanoico (C17:0) (Body, 1988). En general, los ácidos grasos saturados y monoinsaturados son los mayoritarios en la carne de los animales domésticos, siendo el ácido oleico el mayoritario en la carne de cordero (aproximadamente el 40% del total) (Lough *et al.*, 1992). La presencia de ácidos grasos insaturados en la grasa de los animales favorece por una parte la reducción de la incidencia de enfermedades coronarias y por otra parte mejora las propiedades sensoriales de la carne (Rhee *et al.*, 1990 a; b; Shackelford *et al.*, 1990; Ziprin *et al.*, 1990). Huerta *et al.* (1993), agruparon a los ácidos grasos bajo el término “ácidos grasos deseables” a aquellos que tienen efecto neutro o hipocolesterolémico sobre la salud humana, incluyendo en este grupo a los ácidos grasos de naturaleza insaturada y al ácido esteárico (C18:0).

1.5 B-Agonistas dentro de la producción animal

Los rumiantes pueden lograr una mejor conversión y eficiencia alimenticia cuando a su dieta se le adiciona o incorpora suplementos y/o aditivos que aumenten su productividad (Rebolloar *et al.*, 2015), estas son sustancias adicionadas intencionalmente a los alimentos para modificar sus propiedades y/o aprovechamiento por parte del animal, estos no se utilizan por su valor nutritivo, ya que se suministran en cantidades muy bajas así como por los efectos negativos que puedan llegar a generar y los altos costos de estos aditivos.

Los residuos de drogas de uso veterinario son usados frecuentemente en los alimentos para consumo humano, las reacciones adversas en humanos son raramente observadas ya que la cantidad ingerida de residuos puede no ser suficiente para producir signos clínicos de intoxicación para el caso del Clorhidrato de Zilpsterol (Thomas y Peláez, 1995).

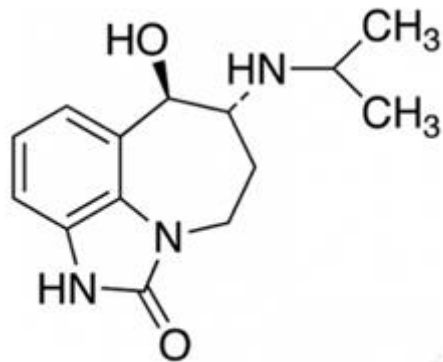
El grupo de fármacos recientemente incorporados que se vienen utilizando en la producción animal para mejorar la retención de nitrógeno, son los llamados “Repartidores de energía” o B-agonistas adrenérgicos, han sido una atractiva estrategia que ha impactado positivamente sobre la producción de los corrales de engorda de ovinos (Avendaño *et al.*, 2011).

Existen algunos estudios realizados en diferente parte de México donde han evaluado el efecto de administrar CZ como aditivo en la dieta de corderos (Salinas *et al.*, 2004; Aguilera-Soto *et al.*, 2008; Estrada-Angulo *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009), pero los resultados obtenidos han presentado grandes variaciones.

1.6 Clorhidrato de Zilpaterol

1.6.1 Estructura química

Las propiedades que hacen diferente la respuesta intrínseca de los B-AA radica en sus grupos constituyentes, que proporcionan una distinta farmacocinética, la cual determina la magnitud del efecto y la persistencia de residuos en los tejidos.



Clorhidrato de Zilpaterol

Sinónimo;(+/-)-trans-4,5,6,7-Tetrahydro-7-hydroxy-6-(isopropylamino)imidazo[4,5,1 jk][1]benzazepin-2(1H)-one; RU-42173

Vida media biológica; 11.9-13.2 horas

Excreción; Orina 88.2-84.3%

Heces 8.6-8.7%

Formula; C₁₄H₁₉N₃O₂

Peso molecular; 261.147 g/mol

El CZ tiene una apariencia blanco-amarillenta, muy soluble en agua, poco soluble en solventes orgánicos, como lo es el cloroformo, etanol, acetona etc. (O'Neill, 2005), es un producto altamente higroscópico en su forma pura, por lo que se recomienda mantener bajo condiciones herméticas, preferentemente en ausencia de luz y a temperaturas por debajo de los 30°C (Casey *et al.*, 1997).

Para el caso del Clorhidrato de Zilpaterol, no se generan efectos tóxicos secundarios tras el consumo humano de la carne o de los órganos provenientes de ganado alimentados con CZ, esto gracias a que es un B-AA sintético y no fenetanolamina, como es el caso del cimaterol o el clenbuterol (Dikerman, 2007). Estudios han demostrado que el CZ es un fármaco con mucho menor potencial para generar broncodilatación, vasoconstricción y en la frecuencia cardiaca, debido a que la actividad cardioestimuladora del clenbuterol es aproximadamente 2 mil veces más superior que

la del CZ (Sumano *et al.*, 2002), siendo así que los niveles máximos de CZ para no generar intoxicaciones no debe superar los 30 ppb en hígado y riñón, 20 ppb en tejido adiposo y 1 ppb en músculo.

Una de las características más favorables del CZ, es su rápida eliminación, esto gracias a la ausencia del Cloro en el grupo cíclico, dentro de su estructura química, esto facilita su biotransformación y excreción, además de contar con una vida media promedio de 15.3 horas con una eliminación de hasta un 90% de los residuos en el organismo del ganado, alcanzando un 95% para el segundo día de retiro (Shelver *et al.*, 2006). Sumano *et al.* (2002) encontraron que la dosis perjudicial de CZ para alterar el ritmo cardiaco o para ocasionar una broncodilatación en humanos es de 1.4 nm/70 kg, sin embargo, la concentración en músculo a los cero días de retiro en bovinos es de 4.0 ng/g, por lo que resulta prácticamente imposible alcanzar la dosis perjudicial bajo una suplementación apropiada (92 ng/g). Además, Domínguez-Vara *et al.* (2009) afirman que la cantidad ingerida por residuo de drogas para uso veterinario en los alimentos para consumo humano raramente ocasiona reacciones adversas, ya que las dosis no alcanzan niveles suficientes para producir signos clínicos de intoxicación.

1.6.2 Mecanismo de acción

Estos “Repartidores de energía” o B-agonistas adrenérgicos son agentes químicos que actúan a nivel de los receptores adrenérgicos asociados a la proteína G (, derivando la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis de proteína muscular (Mersmann, 1998), relajan el musculo liso – dilatación de bronquios, vaso dilatación en musculo y el hígado, así como la liberación de insulina.

Estos para su efecto requieren de un anillo aromático con un grupo hidroxilo en la posición B del grupo alifático, la presencia del cloro en el clenbuterol lo hace más liposoluble que sus análogos, y por consecuencia tienden a difundirse profundamente en los tejidos, minimizando su excreción. Todos los B-AA serían más liposolubles de

no ser por el grupo amino que todos tienen a un pH fisiológico menos al del estómago, esta respuesta es determinada por los tipos de receptores adrenérgicos encontrados en la membrana celular, a los cuales los B-AA se unen para llevar a cabo su respuesta fisiológica (Sumano *et al.*, 2002).

El Clorhidrato de Zilpaterol (CZ), es considerado un excelente redistribuidor de los nutrientes a favor de la formación de músculo esquelético y reducción de fijación de grasa en la canal (Félix *et al.*, 2005; Nourozi *et al.*, 2008). Los agonistas- β son moléculas orgánicas que se ajustan a receptores adrenérgicos- β presentes en las células de los mamíferos, produciendo que se incremente la masa del músculo esquelético a través de una hipertrofia como resultado de detener la proteólisis y reducir la acción de la lipogénesis (Yang y McElligott, 1989). Estos efectos biológicos son el resultado de la unión del CZ con un receptor β -adrenérgico (B-AR), ubicado en la superficie celular de los tejidos, incluyendo músculo esquelético y tejido adiposo (Mersmann, 1998). Hay tres subtipos de β -AR (β_1 , β_2 y β_3) en la mayoría de las células de mamíferos, siendo el más abundante el β_2 -AR en el músculo esquelético y tejido adiposo de la especie bovina (Sillence y Matthews, 1994). El clorhidrato de zilpaterol puede enlazar con el β_1 -AR y β_2 -AR, y con una mayor afinidad por los β_2 -AR (Verhoeckx *et al.*, 2005). Los AA-b aumentan la hipertrofia del músculo esquelético. Estas mejoras en la hipertrofia del músculo esquelético son el resultado de los cambios en la síntesis de proteínas y las tasas de degradación, mientras que en el tejido adiposo que promover la lipólisis (Beermann, 2002; Birkelo, 2003; Verhoeckx *et al.*, 2005).

1.6.3 Efecto del Clorhidrato de Zilpaterol sobre los sistemas de producción ovina

Existen algunos estudios realizados en diferente parte de México donde han evaluado el efecto de administrar CZ como aditivo en la dieta de finalización de engorda de corderos de raza de pelo (Salinas *et al.*, 2004; Aguilera-Soto *et al.*, 2008;

Estrada *et al.*, 2008; Robles *et al.*, 2009), pero los resultados obtenidos han presentado grandes variaciones. Estrada *et al.* (2008), reportaron menor grasa pélvica-riñonal-corazón, una tendencia a incrementar la ganancia diaria de peso (GDP) y una mejor eficiencia alimenticia y rendimiento en canal en corderos suplementados con el CZ comercial denominado Zilmax®. Aguilera *et al.* (2008), no encontraron diferencias en el comportamiento productivo y rendimiento en canal entre corderos alimentados con Zilmax y el grupo testigo. Por su parte, Robles *et al.* (2009), observaron una ganancia en el crecimiento diario (55 g/d) y en la eficiencia alimenticia por ofrecer dietas suplementadas con Zilmax a corderos de pelo. Avendaño *et al.* (2011), realizaron un experimento con veinticuatro corderos Dorper x Pelibuey con pesos iniciales promedio de 25 kg, esto para evaluar los efectos del CZ a una dosis de 10 mg/cordero por día, durante 32 días, contra un grupo control, encontrando como resultados, mejores ganancias diarias de peso, pesos finales para el tratamiento con CZ, para los parámetros correspondientes a la canal, el grupo tratado arrojó mejores resultados en comparación con el control. Por otro lado, en otro experimento realizado (Avendaño *et al.*, 2018), donde analizaron el resultado de 3 niveles de CZ (control, 0.10, 0.20 y 0.30 mg/kg PV), para así poder encontrar una dosis óptima, y en segundo experimento analizar las mejores dosis (0.10 y 0.20 mg/kg PV) contra un grupo control. Concluyendo de manera general que el CZ mejora el rendimiento productivo y las características de la canal de importancia económica, aumentando la formación muscular, recomendando una dosis diaria de 0.10 mg/kg PV para corderos en finalización. Dosis evaluada por Rojo-Rubio *et al.* (2017), en corderos Dorper x Pelibuey (0.10 mg/cordero de CZ), encontrando como resultados mejores tasas de crecimiento, así como mejores rendimientos en canal, pero no así para mejorar los cortes comerciales de ovinos en finalización.

Un interesante trabajo fue realizado por Brand *et al.* (2013), al trabajar 3 niveles de energía en las dietas para ovinos (11.3, 12 y 12.7 MJ EM/kg alimento) en interacción con o sin CZ (8.4g/ton), contradiciendo las hipótesis planteadas por los autores, no se encontraron diferencias estadísticas significativas al comparar los 3 niveles energéticos ya sea con o sin CZ. Resultados similares fueron reportados por Dávila-Ramírez *et al.* (2014), donde no encontraron diferencias estadísticas significativas para la mayoría de sus variables, donde evaluaron rendimiento productivo y características de la canal,

esto tras la adición de aceite de soya (0 y 6% en la dieta) con o sin CZ (0 y 10 mg/cordero/día), modificando ligeramente la concentración de omega-3 y ácidos grasos (Dávila *et al.*, 2016).

Por otro lado el método de dosificación y la periodicidad de la administración del CZ también puede tener efecto sobre la calidad de la carne de corderos en finalización, tal es caso de Vahedi *et al.* (2015), quienes trabajaron el suministro de CZ a días continuos y días intermitentes, encontrando como resultado diferencias significativas entre los tratamientos, mayor fuerza de corte y menor terneza para la suplementación diaria de CZ en comparación con los días intermitentes, esto sin afectar características sensoriales, como la jugosidad, el sabor y olor.

1.7. LITERATURA CITADA

- Aguilera, S.J. I., R. G. Ramírez, C. F. Arechiga, F. Méndez-Llorente, M. A. López-Carlos, J. M. Silva-Ramos, R. M. Rincón-Delgado, and F.M. Duran-Roldan. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grain. *J. Appl. Anim. Res.* 34:17-21.
- Avendaño, R.L. Macías-Cruz U., F.D. Álvarez-Valenzuela, E. Aguila-Tepato, N.G. Torrentera-Olivera, and S.A. Soto-Navarro. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 89:4188-4194.
- Avendaño, R.L., Torrentera, N., Correa-Calderón, A., López-Rincón, G., Soto-Navarro, S. A., Rojo-Rubio, R., ... & Macías-Cruz, U. 2018. Daily optimal level of a generic beta-agonist based on zilpaterol hydrochloride for feedlot hair lambs. *Small Ruminant Research* 165, pp. 48-53.

- Barton, G.P.A. 1981. The measurement of meat quality in pigs post-mortem. In Porcine stress and meat quality-causes and possible solutions to the problems. (eds T. Froystein, E. Slinde y N. Standal), pp. 205. Agricultural Food Research Society.
- Beerman, D.H., Robinson, T.F., y Hogue, D.E. 1995. Impact of composition manipulation on lean lamb production in the United States. *J. Anim. Sci*, 73, 2493-2502.
- Beermann, D. H. 2002. Beta-adrenergic receptor agonist modulation of skeletal muscle growth. *J. Anim. Sci.* 80:E18-23E.
- Beriain, M.J. y Lizaso, G. 1997. Calidad de la carne de vacuno. In Vacuno de carne: aspectos clave (ed C. Buxadé), pp. 493-510. Mundi Prensa, Madrid.
- Birkelo, C.P. 2003. Pharmaceuticals, direct-fed microbials, and enzymes for enhancing growth and feed efficiency of beef. *Vet. Clin. Food Anim.* 19:599-624.
- Boccard, R. y Dumont, B.L. 1960b. Etude de la production de la viande chez les ovins. II.- Variation de l'importance relative des différents régions corporelles de l'agneau de boucherie. *Ann. Zootech*, 9, 355-363.
- Body, D.R. 1988. The lipid composition of adipose tissue. *Prog. Lipid Res.*, 27, 39-60.
- Boleman, S.J., Boleman, S.L., Savell, J.W., Miller, R.K., Cross, H.R., Wheller, T.L., Koohmariaie, M., SHackelford, S.D., Miller, M.F., West, R.L., y Johnson, D.D. 1995. Consumer evaluation of beef of known tenderness levels. In 41st International Congress of Meat Science and Technology, San Antonio, TX.
- Brand, T. S., Genis, M. P., Hoffman, L. C., Van de Vyver, W. F. J., Swart, R., & Jordaan, G. F. 2013. The effect of dietary energy and the inclusion of a β -adrenergic agonist in the diet on the meat quality of feedlot lambs. *South African Journal of Animal Science*, 43(5), S140-S145.
- Brayshaw, G.H.; Carpenter, E.M.; Phillips, R.A. 1965. Butchers and their customers. Rep. núm. 1. Dept. Agric. Mkting. Univ. Newcastle upon Tyne.
- Butler, H.B.W. y Brown, A.J. 1986. Muscle weight distribution in lambs: a comparison of entire male and female. *Anim. Prod.*, 42, 343-348.

- Cañeque, V., Ruiz DE Huidobro, F., Dotz, V., y Hernandez, J.A. 1989. Producción de carne de cordero. In Colección Técnica. (ed MAPA), pp. 520.
- Casey, N.H., E.C. Webb, and J.L. Martin. 1997. Effects of zilpaterol and its withdrawal on carcass and meat quality of young steers. in Proc. 43rd Int. Congr. Meat Sci. Technol., Auckland, New Zealand. 264-265.
- Cepero, R. y Sañudo, C. 1996. Definición y medición de las características de la calidad de la carne de ave. In Jornadas Técnicas de Avicultura., Arenys de Mar, 10-13 Junio de 1996.
- CIE (Commission International de l'Eclairage) 1986. Colorimetry, 2nd Ed. Viena.
- Colomer-Rocher, F., Delfa, R., y Sierra, I. 1988. Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea según los sistemas de producción. Cuadernos INIA., 17, 19-41.
- Consigli, R. 2001. ¿Qué es la calidad de carne? Universidad Católica de Córdoba. 6ª Jornada El negocio de la carne. la voz del campo EEA INTA manfredi. www.produccion-animal.com.ar citado 23_/05_/12
- Cuéllar, O.J.A. Soto, D.L.C., Delgado, E.M. 2005. La producción ovina empresarial de México. Segunda parte. La Revista del Veterinario. 0: 17-19.
- Dávila, R.J.L., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Peña-Ramos, E. A., Islava-Lagarda, T. Y., Zamorano-García, L., ... & González-Ríos, H. 2016. Fatty acid composition and physicochemical and sensory characteristics of meat from ewe lambs supplemented with zilpaterol hydrochloride and soybean oil. *Animal Production Science*, 57(4), 767-777.
- Dávila, R.J.L., Macías-Cruz, U., Torrentera-Olivera, N. G., González-Ríos, H., Soto-Navarro, S. A., Rojo-Rubio, R., & Avendaño-Reyes, L. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *Journal of animal science*, 92(3), 1184-1192.

- Dikeman, M.E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77:121-135.
- Domínguez, V.I.A., A.J. Mondragón, R.M. González, G.F. Salazar, G.J. Bórquez, M.A. Aragón. 2009. 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.
- Estrada, A.A., A. Barreras-Serrano, G. Contreras, J. F. Obregon, J. C. Robles-Estrada, A. Plascencia, and R. A. Zinn. 2008. Influence of level of zilpeterolchlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Rumin. Res.* 80:107-110.
- FAOSTAT, 2007. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Principales países importadores de carne de ovino. 2007. Disponible en: [http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx\[DRS70\]](http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx[DRS70]). Consultado el 10 de septiembre del 2009.
- Felix, A., A. Estrada-Angulo, F.G. Ríos, C.H. Ramos, and B.A. Pérez. 2005. Effect of zilpaterol clorhydrate on growth performance and carcass traits in finishing sheep. *J. Anim. Sci. (Suppl.1)*:83.
- Gómez, M.J. 2009. Alternativas de mercado para la carne ovina en México. Memorias del II Seminario Internacional de Ovvinocultura. Cholula, Puebla.
- Guía, E. y Cañeque, V. 1992. Crecimiento y desarrollo del cordero Talaverano. Evolución de las características de su canal. Área de Producción Animal. Consejería de Agricultura de la junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hidratation. *Adv. Food Res.*, 10, 355.
- Hamm, R. 1981. Developments in meat science. In *Appl. Sci.* ., Vol. 2, pp. 93. Ltd. London.
- Hamm, R. 1982. Post-mortem breakdown of ATP and glicogen in ground muscle. *Food Technol.*, 36, n°11, 105.

- Hammond, J. 1932. Growth and Development of Mutton qualities in the sheep. In (eds Oliver y Boyd), Edinburgh and London.
- Hammond, J. 1966. Principios de la Explotación Animal. Reproducción, Crecimiento y Herencia. In (ed Acribia), Zaragoza. España.
- Hernandez, B. 1994. Estudio del color en carnes: caracterización y control de calidad. Tesis doctoral., Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- Huerta, L.N.O., Cross, H.R., Sawell, J.W., Lunt, D.K., Baker, J.F., Pelton, L.S., y Smith, S.B. 1993. Comparison of fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from mature Brahman and Hereford cows. *J. Anim. Sci*, 71, 625-630.
- INEGI, 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Censo Agropecuario, VIII Agrícola, Ganadero y Forestal, Ags. México[DRS74]. Disponible en: <http://200.23.8.5/inegi/default.aspx>. Consultado el 22-Septiembre-10.
- Kempster, A.J. 1981b. Fat partition and distribution in the carcass of cattle, sheep and pigs: A review. *Meat Sci.*, 5, 83-98.
- Lawrie, R.A. 1998. *Lawrie's Meat Science*, 4th ed, Zaragoza. España, pp. 91-156.
- Lough, D.S., Solomon, M.B., Rumsey, T.S., Elsasser, T.H., Slyter, L.L., Kahl, S., y Lynch, G.P. 1992. Effects of dietary canola seed and soy lecithin in high-forage diets on cholesterol content and fatty acid composition of carcass tissues of growing ram lambs. *J. Anim. Sci*, 70, 1153-1158.
- Marsh, B.B. Lochner, J.V., Takahashi, G., Kragness, D.D. 1980. Effects of early *post mortem* pH and temperature on beef tenderness. *Meat Sci.* 5, 479-483.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76: 160-172.

- Moody, D. E., D. L. Hancock, and D. B. Anderson. 2000. Phenethanolamine Repartitioning Agents. In: Farm Animal Metabolism and Nutrition. CAB International, NY, USA. pp. 65-95.
- Murray, A.C., Jones, S.D.M., Tong, A.K.W. 1989. Proc. 35th International Congress of Meat Science and Technology. Copenhagen, 35, p. 188.
- Nourozi, M., M. Abazari, M. Raisianzadeh, M. Mohammadi, and A. ZareShahne. 2008. Effect of terbutaline and metaproterenol (two beta-agonists) on performance and carcass composition of culled Moghani ewes. *Small Rumin. Res.* 74:72-77.
- O'Neill, A.H. 2001. The effect of zilpaterol hidrochloride on dietary N-requirements and the quality and nutritional value of meat components. Master of Science Thesis, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
- Oberbauer, A.M., Arnold, A.M., y Thonneys, M.L. 1994. Genetically size-scaled growth and composition of Dorset and Suffolk rams. *Anim. Prod.*, 59, 223-234.
- Okeudo N.J. y Moss B.W. 2004. Interrelationships amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. *Meat Science* 69: 1-8
- Palombo, R. y Wijngaards, G. 1990. Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Sci.*, 28, 61-76.
- Pearson, A.M. 1966. Desirability of beef. Its characteristics and their measurements. *J. Anim. Sci.*, 25: 843.
- Pérez, A.J.A. 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Pérez, A.J.A., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, M.E., Cartagena-Graciá, R. 1998. Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne* 63:115-122.
- Pierce, J.C.; Murphey, C.E.; Hallet, D. 1974. Classification, grading and marketing of livestock and meat. En: *Animal Agriculture*. W.H. Freeman and Co.

- Pighin, S.A.C., Zimmerman, M., Pazos, A.A., Domingo, E., Pordomingo, A.J. Grigioni, G. 2013. Impact of Adrenaline or Cortisol Injection on Meat Quality Development of Merino Hoggets. *Journal of Integrative Agriculture*. Volume 12, Issue 11, November 2013, Pages 1931–1936.
- Rhee, K.S., Davidson, T.L., Cross, H.R., y Ziprin, Y.A. 1990a. Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet: part 1. Whole muscle products. *Meat Sci.*, 27, 329-341.
- Robles, E.J.C., Barreras, S.A., Contreras, G., Estrada, A.A., Obregón, J.F., Plascencia, A. and Ríos, F.G. 2009. Effect of two b-adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 36:33-36.
- Rojo, R.R., Avendaño, R.L., Albarrán, B., Vázquez, J. F., Soto-Navarro, S. A., Guerra, J. E., & Macías-Cruz, U. 2018. Zilpaterol hydrochloride improves growth performance and carcass traits without affecting wholesale cut yields of hair sheep finished in feedlot. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 375-379.
- SAGARPA, 20010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: Estadísticas de ganadería. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganadería/>. Consultada el 20 de Septiembre del 2010.
- Salinas, C.J., Ramírez, R. G., Domínguez-Muñoz, M., Palomo-Cruz, R., & López-Acuña, V. H. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 26(1), 13-16.
- Sañudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., María, G.A., Olleta, J.L., y Santolaria, P. 1997. Breed effect on carcase and meat quality of suckling lambs. *Meat Sci.*, 46, 357-365.
- Sañudo, C., Delfa, R., Gonzalez, C., Alcalde, M.J., Casas, M., Santolaria, P., y Vigil, E. 1992^a. Calidad de la carne de ternasco. In ITEA, Vol. Vol. 88A, pp. 221-227, Zaragoza.

- Sayas, M.E. 1997. Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis Doctoral., Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Sayre, R.N. y Briskey, E.J. 1963. Protein solubility as influenced by physiological conditions in the muscle. *J. Food Sci.*, 28, 675.
- Shackelford, S.D., Miller, M.F., Hayden, K.D., Lovegren, N.V., Lyon, C.E., y Reagan, J.O. 1990. Acceptability of bacon as influenced by the feeding of elevated levels of monounsaturated fats to growing-finishing swine. *J. Food Sci.*, 55, 621-624.
- Shelver, W.L., Kim, H.J., Li, Q.X. 2005. Development of monoclonal antibody-bases enzyme-linked immuosorbent assay for the B-Adrenergic Agonist Zilpaterol. *J. Agric. Food Chem.* 53:3273-3280.
- Sillence, M. N., and M. L. Matthews. 1994. Classical and atypical binding sites for β -adrenoceptor ligands and activation of adenylyl cyclase in bovine skeletal muscle and adipose tissue membranes. *Br. J. Pharmacol.* 111:866-872.
- Snowder, G.D., Glimp, H.A., y Field, R.A. 1994. Carcass characteristics and optimal slaughter weights in four breeds of sheep. *J. Anim. Sci.*, 72, 932-937.
- Sumano, L.H., C.L. Ocampo y O.L. Gutiérrez. 2002. Clenbuterol y otros β - agonistas, ¿Una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Vet. Méx.* 33:278-284.
- Thomas, S. X., & Peláez, G. 1995. Características de una intoxicación alimentaria por clenbuterol. *Med. Clin.*, 104.
- Vahedi, V., Towhidi, A., Hedayat-Evrigh, N., Vaseghi-Dodaran, H., Motlagh, M. K., & Ponnampalam, E. N. 2015. The effects of supplementation methods and length of feeding of zilpaterol hydrochloride on meat characteristics of fattening lambs. *Small Ruminant Research*, 131, 107-112.
- Velasco, S., Lauzurica, S., Cañeque, V., Perez, C., Ruiz de Huidobro, F., Manzanares, C., y Diaz, M.T. 2000. Carcass and meat quality of Talaverana breed sucking lambs in relation to gender and slaughter weight. *Anim. Sci.*, 70, 253-263.

- Vergara, H., Molina, A., y Gallego, L. 1999a. Influence of sex and slaughter weight on carcass and meat quality in light and medium weight lambs produced in intensive systems. *Meat Sci.*, 52, 221-226.
- Verhoeckx, K. C. M., R. P. Doornbos, J. Van Der Greef, R. F. Witkamp, and R. J. T. Rodenburg. 2005. Inhibitory effects of the β 2-adrenergic receptor agonist ZH on the LPS-induced production of TNF- α in vitro and in vivo. *J. Vet. Pharmacol. Therap.* 28:531-537.
- Warris, P.D., Brown, S.N., Adams, S.J.M. 1990. Variation in haem pigment concentration and colour in meat from British pigs. *Meat Sci.* 28, 321-329.
- Wood, J.D. 1990. Consequences for meat quality of reducing carcass fatness. En: *Reducing fat in meat animals*. J.D. Wood y A.V. Fisher (eds). Elsevier Applied Science. London, p. 344-397.
- Wood, J.D., Enser, M., y Warris, P.D. 1991. Reducing fat quantity: implications for meat quality and health. In *Animal Biotechnology and the quality of meat production* (eds L.O. Fiems y B.G. Cottyn), pp. 69-84. Elsevier, New York.
- Wylie, A., Chesnutt, D., y Kilpatrick, D.J. 1997. Growth and carcass characteristics of heavy slaughter weight lambs: effect of sire breed and sex of lamb and relationships to serum metabolites and IGF-1. *Anim. Sci.*, 2, 309-318.
- Yang, Y.T., and M.A. McElligott. 1989. Multiple actions of the β -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.* 261:1-10.
- Young, O.A. y Braggins, T.J. 1993. Tenderness of ovine Semimembranosus: is collagen concentration or solubility the critical factor? *Meat Sci.*, 35, 213.
- Zimmerman, M. 2012. pH de la carne y factores que lo afectan. Aspectos estratégicos para obtener carne ovina de calidad en el cono sur americano. http://www.produccionbovina.com/produccion_ovina/produccion_ovina_carne/146-carne.pdf. Revisado el 19-Ene-2012.

Ziprin, Y.A., Rhee, K.S., y Davidson, T.L. 1990. Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet. Part 3. A high-fat cured product. *Meat Sci.*, 28, 171-180.

CAPÍTULO II. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LA PRODUCTIVIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN BORREGOS DE ENGORDA.

EFFECT OF ZILPATEROL HYDROCHLORIDE ON PERFORMANCE AND CARCASS CHARACTERISTICS IN FINISHING LAMBS

EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LA PRODUCTIVIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE CANAL EN BORREGOS DE ENGORDA

Jorge Adalberto Cayetano¹, Rolando Rojo², Héctor Aarón Lee-Rangel^{1*}, German Mendoza-Martínez³, J. F. Vázquez-Armijo⁵, Leonel Avendaño-Reyes⁴, Ulises Macías-Cruz⁴, Victor Gonzalez-del Prado², Agustin Olmedo-Juárez⁵, Juan Manuel Pinos-Rodríguez⁶

2.1 ABSTRACT

Twenty-Four Dorper x Pelibuey ram lambs (initial body weight = 32.19 ± 0.69 kg) were housed in individual pens during a 31-d feeding period, and then slaughtered to determine the effects of zilpaterol hydrochloride (ZH) supplementation on feedlot performance, carcass characteristics and wholesale cut yields. Lambs were assigned to four treatments (n= 6 each) under a randomized complete design. Treatments consisted of offering a basal diet and three different daily doses of ZH: 0 (control), 0.1, 0.2 and 0.3 mg kg⁻¹ BW. Final BW had a cubic effect and total gain presented a linear increase with ZH addition. ADG is greater in lambs receiving ZH. DMI decreased with ZH supplementation. ADG:DMI and WI showed a linear increase by ZH level. HCW, CCW and dressing is greater with ZH supplementation. LD pH at 45 min and 24 h post-mortem increased when ZH was included. Rump perimeter presented linear increase and LD area to be greater in lambs receiving ZH. Wholesale cut yields were not affected by ZH level. Only liver and empty large intestine presented a decrease in size for treatments where ZH was included. ZH supplementation is beneficial to improve

feedlot performance and carcass characteristics of economic importance such as rump perimeter and LD area, without affecting the wholesale cut yields in hair breed ram lambs.

Keywords: zilpaterol doses, lambs performance, carcass characteristics.

2.2 INTRODUCTION

During the last decade, the number of hair breeds of lambs has increased in several Latin American countries because of their ease of management and resistance to parasites (Avendaño *et al.*, 2011). However, lambs from those breeds have lower growth rate, carcass yield, and meat quality compared with lambs from woolled breeds (Notter 2000). Use of growth promoters, such as β -adrenergic agonists (β -AA), may improve growth and carcass characteristics of lambs from hair breeds. Activation of β -receptors in muscle and fat results in increased lipolysis, decreased lipogenesis, increased protein accretion, or a combination among them (Mersmann 1998).

Zilpaterol hydrochloride (ZH) is a β -adrenergic repartition agent that has demonstrated to enhance carcass leanness, improve growth rate, and decrease feed consumption in cattle (Plascencia *et al.*, 2008) and lambs (Salinas *et al.*, 2004). Although zilpaterol has been approved for use in feedlot cattle in countries like Mexico, South Africa, Canada and the USA, it has not been approved for use in the European Union and other countries (Kuiper *et al.*, 1998).

The addition of zilpaterol to the diet of lambs (Mondragón *et al.*, 2010; Avendaño *et al.*, 2011) and cattle (Montgomery *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2011) for 30 or 40 d before slaughter has shown to improve daily weight gain, feed efficiency and carcass characteristics like hot carcass weight, carcass yield, *Longissimus dorsi* muscle area, etc. However, results regarding the effect of ZH on growth and carcass characteristics in lambs are not steady because diverse studies have only found effects on productive performance (Aguilera *et al.*, 2008; Robles *et al.*, 2009) or carcass characteristics (López *et al.*, 2010; Macías *et al.*, 2010), but not in both aspects. Thus, the objective of

this experiment was to evaluate the response in growth performance, carcass yield and wholesale cut yield of lambs fed ZH at three levels of supplementation, 0.1, 0.2, and 0.3 mg kg⁻¹ BW d⁻¹.

2.3 MATERIALS AND METHODS

All animal care and management procedures involving lambs were conducted according to the guidelines approved by Mexican Official Norms (NOM-051-ZOO-1995: Humanitarian care of animals during mobilization; NOM-033-ZOO-1995: Slaughter of domestic and wild animals). The experiment was conducted at the Lamb Metabolic Unit from the Centro Universitario UAEM Temascaltepec of the Autonomous University of the State of Mexico (CUT-UAEM), located in the México state, central Mexico (latitude 19.03° N and longitude 100.02° W).

Twenty-four male ram lambs (initial BW 32.19 ± 0.69 kg) were adapted to individual pens and basal diet (Table 1) for 10 d before starting the experimental phase. Each pen was equipped with feed trough, automatic waterers and shades. Also, animals were treated with 1 mL head⁻¹ of vitamin ADE (Vigantol; Bayer, México City, Mexico) and against internal and external parasites (Ivermectin; Sanfer Laboratory, México City, Mexico; 0.5 mL animal⁻¹) at the beginning of the adaptation period.

During the first day of the experimental phase, ram lambs were weighed and assigned to one of four experimental treatments (n=6). Treatments consisted of offering a basal diet with one of the following four daily dosages of ZH (Grofactor®, Virbac Mexico, Guadalajara, Jalisco, Mexico): 0, 0.1, 0.2 and 0.3 mg kg⁻¹ BW per lamb (Table 1). Boluses containing 3 g of sorghum meal, molasses, and the respective doses of ZH were mixed and a bolus per day was manually introduced to the oral cavity of each treated animal and control group before the morning feeding.

The experiment lasted 31 days (November 17 to December 18) and experimental doses of ZH were offered during the first 29 d followed by a 2 d withdrawal period before slaughter. Feed was provided in three times, at 7:00, 13:00 and 19:00 h in proportions of 30, 30 and 40 %, respectively. All animals had *ad libitum* fresh water.

One sample of feed per week was collected, dried in forced-air oven at 60°C until constant weight was reached and stored for analysis. All samples were ground (2 mm screen, Wiley mill Model 4; Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) and composited to analyse for dry matter (DM), organic matter (OM), ash, ether extract, and crude protein (CP) according AOAC (2006) methodology. Organic matter content was estimated by subtracting the ash content to DM content. Neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF) analyses were carried out according to Van Soest *et al.*, (1991) using the filter bag technique (ANKOM²⁰⁰ Fiber Analyzer unit; ANKOM Technology, Fairport, NY, USA) with addition of sodium sulphite and heat-stable amylase to determine NDF.

Cuadro 1. Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets

Item	Treatments (mg of ZH/kg body weight)			
	0.0	0.1	0.2	0.3
Ingredients (% , DM)				
Corn	20	20	20	20
Cob with leaf	14	14	14	14
Soybean meal	8	8	8	8
Sorghum	18	18	18	18
Alfalfa	11	11	11	11
Wheat bran	17	17	17	17
Molasses	9	9	9	9
Mineral premix ^a	3	3	3	3
Urea	1	1	1	1

Zilpaterol Hydrochloride

<i>dose, mg/kg BW</i>	0.0	0.1	0.2	0.3
<i>Chemical composition, %</i>				
Dry matter	87	87	87	87
Moisture	13	13	13	13
Crude protein	15.48	15.48	15.48	15.48
Crude fat	2.2	2.2	2.2	2.2
Ash	5.61	5.61	5.61	5.61
aNDF	37.85	37.85	37.85	37.85
ADF	14.62	14.62	14.62	14.62

ZH, zilpaterol hydrochloride; aNDF, neutral detergent fibre; and ADF, acid detergent fibre.

^aCa 270 g, P 30 g, Mg 7.5 g, Na 65.5 g, Cl 100, K 0.5 g, S 42 mg, lasalocid 2000 mg, Mn 2000 mg, Fe 978 mg, Zn 3000 mg, Se 20 mg, Co 15 mg, vitamin A 35,000 IU, vitamin D 150,000 IU and vitamin E 150 IU.

Individual BW was recorded before the morning feeding on days 1 and 29 of the experimental period. Body weights were reduced 4 % to adjust for gastrointestinal fill. Also, feed offered and refused were measured daily before the morning feeding. From data collected, average daily gain (ADG), total weight gain, dry matter intake (DMI), water intake (WI) was calculated on the basis of the amounts of offered and refused, final body weight (FBW) and ADG:DMI ratio were calculated for the overall period.

All ram lambs were slaughtered immediately after the 31-d feeding period in a commercial abattoir. Diet and water were withdrawn 12 h before the slaughter. The methodology utilized to evaluate carcass and non-carcass components was the same as described by Dávila *et al.*, (2014). After slaughtered by the method of disgoring, the lamb bodies were bled, skinning and eviscerated to obtain weights of blood, skin, head, foot, heart, liver, lungs, kidney, rumen, small and large intestines, testicles, kidney-

pelvic-heart fat (KPH), and hot carcass weight (HCW). After 24 h chilled at 4 °C, cold carcass weight (CCW), carcass length, thorax depth, leg length and perimeter, *longissimus dorsi* (LD; using a dot square grid of 64 mm²), and fat thickness were recorded. Additionally, the pH at 45 min and 24 h *postmortem* (pH45 and pH24) were measured using a portable digital pH meter equipped with a puncture electrode (Hanna, Model HI 98140, USA).

Weights of all non-carcass components were expressed as percentage of the final BW, with the exception of KPH, which was expressed as a percentage of the HCW. Cooling loss percentage was calculated by the difference between HCW and CCW as percentage of the HCW, while dressing percentage was calculated as (HCW/final BW) x 100.

All cold carcasses were cut to obtain the following wholesale cuts: neck, legs, rack and flap, loin, and forequarter and shoulder, according to meat standards of Australia (Sultana *et al.*, 2010). The yield of each cut was calculated expressing its respective weight as percentage of the CCW.

The results were analyzed according to a completely randomized design using each lamb as an experimental unit (Steel *et al.*, 1997); initial body weight was used as a covariate to account for any unwanted variation within treatment group. Orthogonal polynomial contrasts were used to verify linear, quadratic or cubic effects for ZH on feedlot performance, carcass traits, non-carcass components and wholesale cut yields. Significance was declared at $P \leq 0.05$.

2.4 RESULTS AND DISCUSSION

Effects of ZH on feedlot performance of ram lambs are shown in Table 2. Final BW had a cubic effect ($P \leq 0.05$) and total gain presented a linear increase ($P \leq 0.05$) with ZH addition. ADG ($P = 0.08$, liner effect) to be greater in lambs receiving ZH. DMI decreased ($P \leq 0.05$, quadratic effect) with ZH supplementation. ADG:DMI and WI showed a linear increase ($P \leq 0.05$) by ZH level.

Cuadro 2. Table 2. Feedlot performance of hair-breed ram lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d.

Item	ZH (mg kg ⁻¹ body weight)					P-Value	
	0.0	0.1	0.2	0.3	SEM	l ¹	q ²
Initial BW, kg	33.02	31.64	31.65	32.45	0.30	0.20	0.01
Final BW, kg	38.55	36.97	38.38	38.77	0.44	0.28	0.02
Total gain, kg	5.52	5.33	6.72	6.32	0.40	0.04	0.79
ADG, kg/d	0.27	0.26	0.33	0.31	0.02	0.08	0.82
DMI, kg/d	1.52	1.33	1.33	1.46	0.04	0.43	0.01
ADG:DMI ratio	0.17	0.20	0.25	0.21	0.01	0.01	0.11

SEM=Standard Error of the Mean; ¹linear effect, ²quadraic effect

It is known that growth response increases rapidly at the onset of β -AA feeding until a plateau is reached, and then there is a linear decline in growth due to either down-regulation or desensitization of the β -adrenergic receptors (Mersmann 1998; Moody *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 1994); however, the duration of the response over time is not constant between the different β -AA compounds and species in literature reports.

In feedlot lambs, Aguilera *et al.*, (2008) and Pringle *et al.*, (1993) reported a significant ($P < 0.05$) improvement in ADG during the first 2 weeks after administration of the β -AA ZH (6 ppm) and RH (4 ppm) respectively, with a lack of response in the subsequent weeks; however, Kim *et al.*, (1987) found a significant increment in total weight gain with a reduction of feed/gain ratio during the first 6 weeks when 10 ppm of cimaterol was added to the diet, which is consistent with our results.

As expected, growth performance and carcass yield responses to supplementation with β -agonists from fattening cattle (Abney *et al.*, 2007) and lambs (Moody *et al.*,

2000) depend on the level of dosage, always with a threshold use, quadratic and cubic effects were found which means that the responses are not constant because of the dose increase. Very little has been reported that specifically relates to optimal dosage level of the β -AA zilpaterol in feedlot lambs. Salinas *et al.*, (2004) evaluated the effects of zilpaterol supplementation in feedlot lambs at dosage of 4.35 and 6.0 mg kg⁻¹ of dietary DM. Although compared with controls zilpaterol increased ADG and feed efficiency, no differences were detected among the two zilpaterol dosage levels. In the present investigation, the addition of ZH obtained better total weight gain in feedlot lambs at dosage of 20 mg kg⁻¹ BW, also, DMI and FBW present positive responses at 10 and 20 mg kg⁻¹ BW. Moody *et al.*, (2000) proposed causes of variation in growth performance to β -AA supplementation including: species, sex, age, genetics, diet, and dosage level consumed.

The influence of ZH on carcass characteristics is shown in Table 3. HCW (P = 0.06), CCW (P = 0.08) and dressing (P = 0.08) to be greater with ZH supplementation. LD pH at 45 min and 24 h post-mortem increased (P \leq 0.05) when ZH was included. Rump perimeter presented linear increase (P \leq 0.05) and LD area to be greater in lambs receiving ZH.

Cuadro 3. Table 3. Carcass characteristics of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d

Item	ZH (mg kg ⁻¹ body weight)					P-Value	
	0.0	0.1	0.2	0.3	SEM	l ¹	q ²
Hot carcass weight, kg	19.11	19.03	19.76	20.58	0.57	0.06	0.44
Cold carcass weight, kg	18.51	18.46	19.23	19.81	0.55	0.08	0.58
Dressing, %	48.87	49.69	52.56	51.81	1.41	0.08	0.58
Cooling loss, %	3.13	3.06	2.63	3.74	0.39	0.44	0.15
<i>pH of LD</i>							

45 min	6.75	6.68	6.78	7.03	0.09	0.04	0.09
24 h	6.21	6.14	6.24	6.72	0.13	0.02	0.07
<i>Temperature of LD</i>							
45 min, °C	21.03	20.08	20.35	21.25	0.28	0.49	0.01
24 h, °C	9.40	9.27	9.48	9.40	0.14	0.75	0.88
Carcass length, cm	61.33	63.00	61.83	61.33	1.27	0.84	0.41
Leg length, cm	36.66	34.33	35.33	35.16	1.02	0.46	0.31
Perimeter leg, cm	40.16	39.83	41.50	41.83	0.97	0.15	0.74
Leg width, cm	16.66	16.50	15.50	16.83	0.53	0.84	0.18
Thorax depth, cm	22.50	22.33	22.66	22.50	0.79	0.93	1.00
Thorax width, cm	21.50	22.66	21.91	22.00	0.44	0.71	0.24
Rump perimeter, cm	61.41	61.41	62.08	63.50	0.75	0.05	0.36
Rump depth, cm	20.58	20.58	20.41	20.83	0.68	0.85	0.76
Fat thickness, cm	0.316	0.283	0.350	0.316	0.08	0.86	1.00
LD area, cm ²	13.83	14.04	13.44	15.71	0.60	0.08	0.11
KPH fat, kg	0.471	0.351	0.390	0.413	0.04	0.52	0.15

SEM=Standard Error of the Mean; ²linear effect, ³quadraic effect

Zilpaterol hydrochloride supplementation did not affect carcass weight or dressing percentage. Other studies on β -agonist supplementation have reported increments in carcass weight and dressing percentage (Pringle *et al.*, 1993). Abney *et al.*, (2007) and Moody *et al.*, (2000) found that carcass yield responses to dosage level of β -agonist supplementation of feedlot cattle and lambs, disagree with our results, since the β -agonist supplementation only to increase hot carcass yield (P = 0.06), contrary to our results, Elam *et al.*, (2009), if they found effect of exposure time on LM area they

conducted separate studies with feedlot steers supplementing ZH (8.33 mg kg⁻¹ of dietary DM) during 0, 20, 30, or 40 d at the end of the feeding period. Both authors classified carcasses by LM area and noted a significant increase in the percentage of carcasses with greatest LM area category when ZH was fed, and those carcasses with the highest LM area category increase linearly as duration of ZH feeding increased.

In agreement with results from the present study, Vahedi *et al.*, (2015) reported that there were no differences in drip loss, cooling loss, and T° at 24 h post-mortem in LM muscle of lambs fed ZH, independently of the feeding program applied. The effect on carcass weight loss could be due to an acute reduction in carcass fat content (Smith and Carpenter 1973). Similarly, pH during the first 45 min post-mortem increase ($P < 0.05$), as well as the meat pH₂₄ ($P < 0.05$). A fast fall in meat pH (pH<6.0) during the first 45 min post-mortem is associated with a low capacity of water retention and tenderness, while a pH greater than 6.0 after 24 h post-mortem is associated to dark, firm, and dry meat. These results suggest that this β -AA negatively affected meat quality of ram lambs due to alterations of the normal decrease in the pH during the first 24 h after slaughter. Similar effects of ZH on muscle pH have been previously reported for beef cattle (Avendaño *et al.*, 2006; Strydom *et al.*, 2009; Hope *et al.*, 2010) and ewes (Dávila *et al.*, 2014). However, effects of ZH on muscle pH are limited and contradictory in lambs (Mondragón *et al.*, 2010; López *et al.*, 2011).

Effects of ZH on wholesale cut yield are presented in Table 4. Wholesale cut yields were not affected ($P > 0.05$) by ZH level.

Cuadro 4. Table 4. Commercial cuts for sheep according to Australia meat standards of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d

Item (% of whole cold carcass)	ZH (mg kg ⁻¹ body weight)					P-Value	
	0	0.10	0.20	0.30	SEM	l ¹	q ²
Neck, %	4.50	4.50	4.43	4.41	0.23	0.76	0.97
Legs, %	32.61	33.21	32.48	33.40	0.67	0.60	0.82
Rack and flap, %	17.85	15.30	15.45	15.73	1.08	0.22	0.21
Loin, %	15.21	15.28	14.60	15.63	0.51	0.81	0.36
Forequarter and shoulder, %	26.23	27.91	26.28	27.56	0.88	0.56	0.82

SEM=Standard Error of the Mean; ²linear effect, ³quadraic effect

Information concerning the effect of ZH on wholesale cut yield in lambs is very limited in finishing lambs. Avendaño *et al.*, (2014) reported that wholesale cuts were not affected by ZH, except for neck yield, which decreased (based on HCW) with feeding ZH. The percentage of loin is greater in ewe lambs fed ZH. The variation in response to ZH supplementation among wholesale cuts obtained from lamb carcasses is attributed to the muscle fibre type that is present on each cut, which does not agree with the present research.

The effects of ZH supplementation on non-carcass components expressed as percentage of the final body weight are showing in Table 5. Percentage of blood presented a decrease with ZH supplementation (P = 0.06). In addition, liver and large intestine decreased in size (P < 0.05) for treatments where ZH level increase. Others non-carcass components were not affected (P > 0.05) by ZH level.

Cuadro 5. Table 5. Percentage of non-carcass components of hair-breed lambs supplemented with different levels of zilpaterol hydrochloride (ZH) during 29 d.

Item	ZH (mg kg ⁻¹ body weight)				SEM	P-value	
	0.0	0.1	0.2	0.3		l ¹	q ²
Expressed as % of final BW							
Head, %	4.57	5.10	5.21	4.99	0.20	0.16	0.09
Blood, %	3.94	3.65	3.44	3.50	0.16	0.06	0.31
Skin, %	7.94	7.01	7.75	7.48	0.35	0.69	0.37
Heart, %	0.44	0.45	0.44	0.40	0.02	0.17	0.27
Lungs, %	2.44	2.51	2.19	2.21	0.15	0.17	0.88
Liver, %	2.19	1.98	1.92	1.77	0.09	0.01	0.77
Kidney, %	0.30	0.34	0.28	0.28	0.02	0.46	0.43
Full rumen, %	12.74	13.95	13.05	12.53	0.51	0.52	0.11
Empty rumen, %	4.77	4.87	4.75	4.46	0.41	0.58	0.65
Full small intestine, %	2.93	3.20	2.80	3.47	0.34	0.44	0.58
Empty small intestine, %	1.95	2.16	1.87	1.85	0.13	0.32	0.40
Full large intestine, %	4.21	4.40	4.26	4.01	0.17	0.37	0.24
Empty large intestine, %	3.17	3.33	3.16	2.64	0.18	0.05	0.09
Testicles, %	1.62	1.52	1.55	1.32	0.10	0.09	0.54
Foot, %	2.67	2.46	2.58	2.48	0.07	0.18	0.45

SEM=Standard Error of the Mean; ¹linear effect, ²quadraic effect

Non-carcass components were not affected by ZH, which is consistent with other results previously published (Macías *et al.*, 2010; Avendaño *et al.*, 2014). Montgomery *et al.*, (2009) hypothesized that the increase in HCW and dressing percentage observed in cattle fed ZH could be due to a shift in mass from noncarcass to carcass tissues, especially from visceral organs, or more substrate repartitioning in carcass than in noncarcass tissues, which is unlikely in this research because no increase in muscle mass were found in our lambs. Ríos *et al.*, (2010) reported that ZH decreased liver weight in 9.5% (g kg^{-1} EBW). Also, the β -agonist salbutamol decreased viscera mass (GIT and liver) in pigs. In as much as an appreciable proportion of energy expenditure can be attributed to maintenance of visceral organs, especially the liver and gastrointestinal tract (Ferrell and Jenkins 1985), reductions in visceral organ mass could contribute to the increased energy efficiency observed when dietary β -agonists are fed.

2.5 CONCLUSIONS

Zilpaterol hydrochloride supplementation is beneficial to improve feedlot performance and carcass characteristics of economic importance such as rump perimeter and LD area, without affecting the wholesale cut yields in hair breed ram lambs.

2.6 ACKNOWLEDGEMENTS

The first author acknowledges the National Council for Science and Technology (CONACyT, Mexico) for his doctoral fellowship. Authors acknowledge the financial support granted by the SEP within the call for "Thematic Networks of Academic Collaboration 2015" to carry out this investigation. Also, they express our gratitude to undergraduate students from CUT-UAEM.

2.7 LITERATURE CITED

- Abney, C. S., J. T. Vasconcelos, J. P. McMeniman, S. A. Keyser, K. R. Wilson, G. J. Vogel, and Galyean M. L. 2007. Effects of ractopamine hydrochloride on performance, rate and variation in feed intake, and acid-base balance in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 85: 3090-3098.
- Aguilera, J. I., R. G. Ramírez, C. F. Arechiga, F. Méndez, M. A. López, J. M. Silva, R. M. Rincón, and Durán, F. M.. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grain. *J. App. Anim. Res.* 34: 17-21.
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis (18th Ed.), Association of official Analytical Chemists. Washington
- Avendaño, R. L., C. U. Macías, V. F. D. Álvarez, T. E. Águila, O. N. G. Torrentera, and A. Soto N. S. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and whole cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 89: 4188-4194.
- Avendaño, L., U. Macías, F. D. Álvarez, E. Águila, N. G. Torrentera, and Soto S. A. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 89: 4188–4194.
- Avendaño, L., V. Torres, F. J. Meraz, C. Pérez, F. Figueroa, 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.
- Dávila, J. L., U. Macías, N. G. Torrentera, H. González, S. A. Soto, R. Rojo, and L. Avendaño. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *J. Anim. Sci.* 92: 1184-1192.
- Elam, N. A., J. T. Vasconcelos, G. Hilton, D. L. VanOverbeke, T. E. Lawrence, T. H. Montgomery, W. T. Nichols, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, and

- M. L. Galyean. 2009. Effect of zilpaterol hydrochloride duration of feeding on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 87: 2133-2141.
- Ferrell, C. L., and T. G. Jenkins. 1985. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *J. Anim. Sci.* 61: 725-741.
- Hope, M., P. E. Strydom, L. Flylinck, and E. C. Webb. 2010. The efficiency of electrical stimulation to counteract the negative effects of β -agonists on meat tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci.* 86: 699-705.
- Kim, Y. S., Y. B. Lee, and R. H. Dalrymple. 1987. Effect of the repartitioning agent cimaterol on growth, carcass and skeletal muscle characteristics in lambs. *J. Anim. Sci.* 65: 1392-1399.
- Kuiper, H. A., M. Y. Noordam, M. M. H. Van Dooren, R. Schilt, and A. H. Roos. 1998. Illegal use of α -adrenergic agonists: European Community. *J. Anim. Sci.* 76: 195-207.
- López, M. A., R. G. Ramírez, J. I. Aguilera, C. F. Arechiga, F. Méndez, H. Rodríguez, and J. M. Silva. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Livest. Sci.* 131: 23-30.
- López, M.A., R.G. Ramírez, J.I. Aguilera, A. Plascencia, H. Rodríguez, C. F. Aréchiga, R. M. Rincón, C. A. Medina, and H. Gutierrez. 2011. Effect of two beta adrenergic agonists and feeding duration on feedlot performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Livest. Sci.* 138: 251-258.
- Macías, U., F. D. Alvarez, N. G. Torrentera, J. V. Velázquez, A. Correa, P. H. Robinson, and L. Avendaño. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50: 983-989.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76: 160-172.
- Mondragón, J., I. A. Domínguez, J. M. Pinos, M. González, J. L. Bórquez, A. Domínguez, and M. L. Mejía. 2010. Effects of feed supplementation of

- zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agric. Scand. A. Anim. Sci.* 60: 47-52.
- Montgomery, J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, and M. N. Streeter. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87: 1374-1383.
- Moody, D. E., D. L. Hancock, and D. B. Anderson. 2000. Phenethanolamine Repartitioning Agents. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CAB International, NY, USA. pp. 65-95.
- Notter D. R. 2000. Potential for hair sheep in the United States. *Journal of Animal Science* 77: 1-8.
- Plascencia, A., N. G. Torrentera, and R. A. Zinn. 2008. Influence of the β -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim Vet. Adv.* 7: 1257-1260.
- Pringle, T. D., C. R. Calkins, M. Koohmaraie, and S. J. Jones. 1993. Effects over time of feeding a β -adrenergic agonist to wether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.* 71: 636-644.
- Ríos, F. G., A. Barreras, A. Estrada, J. F. Obregón, A. Plascencia, J. J. Portillo, and R. A. Zinn. 2010. Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *J App. Anim. Res.* 38: 33-38.
- Robles, J. C., A. Barreras, G. Contreras, A. Estrada, J. F. Obregón, A. Plascencia, and F. G. Rios. 2009. Effect of two β -adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *J App. Anim. Res.* 36: 33-36.
- Salinas, J., R. G. Ramírez, M. Dominguez, R. Palomo, and V. H. Lopez. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *J. App. Anim. Res.* 26: 13-16.
- Smith, G. C., and Z. L. Carpenter. 1973. Postmortem shrinkage of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.* 36: 862-867.

- Steel, G. D. R., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. Principles and procedures of statistics, A biometrical approach. Ed McGraw-Hill. New York, USA.
- Strydom, P. E., L. Frylinck, J. L. Montgomery, and M. F. Smith. 2009. The comparison of three β -agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 81: 557-564.
- Sultana, N., S. M. J. Hossain, S. A. Chowdhury, M. R. Hassan, and M. Ershaduzzaman. 2010. Effects of age on intake, growth, nutrient utilization and carcass characteristics of castrated native sheep. *Bangl. Vet.* 27: 62-73.
- Vahedi, V., A. Towhidi, N. Hedayat, H. Vaseghi, M. Khodaei Motlagh, and E. N. Ponnampalam. 2015. The effects of supplementation methods and length of feeding of zilpaterol hydrochloride on meat characteristics of fattening lambs. *Small Rumin. Res.* 131: 107-112.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Williams, N. H., T. R. Cline, A. P. Schinckel, and D. J. Jones. 1994. The impact of ractopamine, energy intake, and dietary fat on finisher pig growth Performance and carcass merit. *J. Anim. Sci.* 72: 3152-3162.

**CAPITULO III. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL
COMO SUPLEMENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA
CALIDAD DE LA CARNE EN OVINOS DE PELO**

**EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL COMO
SUPLEMENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE LA
CARNE EN OVINOS DE PELO**

**ZILPATEROL HYDROCHLORIDE EFFECT AS SUPPLEMENT ON THE
CHARACTERISTICS OF THE QUALITY OF MEAT IN SHEEP HAIR**

**J. Cayetano-de Jesus¹, H. A. Lee-Rangel^{1a}, A. Grajales-Lagunes², A.
Vazquez-Valladolid¹, O. Cifuentes-López¹, A. Roque-Jiménez¹, J. M. Pinos-
Rodríguez³, R. Rojo-Rubio⁴**

3.1 RESUMEN

Para la evaluación del Clorhidrato de Zilpaterol como suplemento de la dieta base de ovinos de pelo en finalización sobre las características de la calidad de la carne, se trabajaron con 24 borregos de pelo de la raza Dorper x Pelibuey con un peso vivo inicial de 32.19 ± 0.69 kg y 5 meses de edad, alojados en jaulas metabólicas individuales provistos de comederos y bebederos, se manejaron 4 tratamientos (n=6) bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, T1: Control, T2: 0.1, T3: 0.2 y T4: 0.3 mg/kg de PV (peso vivo) y más la dieta basal, por un periodo de 29 días, posteriormente sacrificados (respetando los 2 días de retiro del Clorhidrato de Zilpaterol) para determinar el efecto sobre parámetros productivos y calidad de la carne, encontrando

que el rendimiento productivo fue estadísticamente superior en T3 (0.2 mg/kg PV), para las características de la canal estas no se vieron afectadas por la adición de CZ como suplemento a la dieta, para la variable a en colorimetría, T3 fue estadísticamente superior a T2 (0.2 mg/kg de PV) reportando una carne más roja, sin diferencias significativas para el resto de los tratamientos.

Palabras clave: Dietas altas en grano, corderos, *Longissimus dorsi*, fermentación.

3.2 INTRODUCCIÓN

La búsqueda constante de aditivos o suplementos que nos ayuden a contrarrestar el alza de los insumos alimenticios que la explotación ganadera demanda para la obtención de mejores ganancias, nos ha encaminado a la introducción de nuevas técnicas y procedimientos donde se incluyen el uso de algunas drogas como aditivos en la dieta de los animales, como los los los B-Agonistas adrenérgicos (BAA) (Domínguez *et al.*, 2009), considerados como repartidores de energía, los cuales se incorporan a la dieta para mejorar la retención de nitrógeno, actuando a nivel de los receptores adrenérgicos, derivando la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis de proteica muscular (Mersmann, 1998), últimamente el uso de estos fármacos se han venido usados en alimentos para consumo humano, pero dado a las pequeñas dosis empleadas no producen signos clínicos de intoxicación (Thomas y Peláez, 1995), en producción animal los β -agonistas adrenérgicos son empleados como agentes repartidores de energía, promotores de crecimiento de esta manera incrementar el rendimiento de la producción de carne mejorando la eficiencia de utilización del

alimento, reduciendo la grasa, mejorando el rendimiento de la canal y calidad de la carne (Moody *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2009). Por lo que en el presente trabajo se evaluó la suplementación a ovinos con Clorhidrato de Zilpaterol, para evaluar el efecto de este BAA sobre parámetros productivos y calidad de la carne.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Animales y dietas

El experimento se realizó en la Posta Zootécnica de Centro Universitario UAEM Temascaltepec, con coordenadas geográficas de 19°03' N, 100°02' O, de la Universidad Autónoma de Estado de México, se trabajaron con 26 ovinos de pelo de la raza Dorper x Pelibuey alojados en jaulas metabólicas individuales equipadas con comederos y bebederos, se manejó un periodo de adaptación de 10 días a jaulas metabólicas y a la dieta base (Cuadro 6), al inicio del periodo experimental los borregos fueron pesados y asignados a unos de los cuatro tratamientos bajo un diseño experimental de bloque completos al azar, bloqueando por peso inicial, los tratamientos consistieron en un grupo control y tres niveles de Clorhidrato de Zilpaterol (0, 0.1, 0.2 y 0.3 mg/kg PV).

Para el análisis químico proximal de la dieta se colectaron muestras de alimento por semana analizandose según la AOAC (1995), determinando materia seca, cenizas, extracto etéreo y proteína cruda, materia orgánica, la cual se calculó restando el contenido de cenizas al contenido de materia seca así como los análisis de fibra neutro detergente (FND) y fibra detergente ácido (FDA) siguiendo la metodología de Van Soest *et al.* (1991), como se muestra en el Cuadro 6.

Se registraron todos y cada uno de los datos, tales como consumo de agua, consumo de alimento, pesos iniciales y finales, esto para los cálculos correspondientes a parámetros productivos.

Concluido el periodo experimental y los dos días de retiro del BAA, la dieta y agua 12 horas antes del sacrificio, los borregos fueron sacrificados en un matadero comercial, registrando peso de canal caliente, a las 24 horas postmortem a 4°C, se registró peso canal fría, longitud de la canal, profundidad del tórax, longitud de las piernas, y el perímetro de la pierna, área del músculo *Longissimus d*, el espesor de la grasa y color (a 12-13ª costilla). Adicionalmente, el pH en 45 min y 24 h post mortem se midió utilizando un medidor de pH digital portátil equipado con un electrodo de punción (Hanna, Modelo HI 98140, EE.UU.).

Cuadro 6. Composición de la dieta basal por tratamiento.

Ingredientes	CZ (mg/kg peso vivo)			
	0.0	0.1	0.2	0.3
Maíz molido, % MS	20	20	20	20
Mazorca con hoja, % MS	14	14	14	14
Pasta de soya, % MS	8	8	8	8
Sorgo molido, % MS	18	18	18	18
Heno de Alfalfa, % MS	11	11	11	11
Salvado de trigo, % MS	17	17	17	17

Melaza, % MS	9	9	9	9
Pre mezcla mineral ^a , % MS	3	3	3	3
Urea, % MS	1	1	1	1
Clorhidrato de Zilpaterol, dosis mg/kg PV	0.0	0.1	0.2	0.3
Composición química				
Materia seca, %	87	87	87	87
Humedad. %	13	13	13	13
Proteína cruda, %	15.48	15.48	15.48	15.48
Grasa cruda, %	2.2	2.2	2.2	2.2
Ceniza, %	5.61	5.61	5.61	5.61
aFDN, %	37.85	37.85	37.85	37.85
FDA, %	14.62	14.62	14.62	14.62

aNDF, neutral detergent fibre; and ADF, acid detergent fibre. ^aCa 270 g, P 30 g, Mg 7.5 g, Na 65.5 g, Cl 100, K 0.5 g, S 42 mg, lasalocida 2000 mg, Mn 2000 mg, Fe 978 mg, Zn 3000 mg, Se 20 mg, Co 15 mg, vitamina A 35,000 IU, vitamin D 150,000 IU and vitamin E 150 IU

3.3.3 Ensayo de crecimiento

Las variables fueron consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia y rendimiento en canal. El CDA se calculó diario al medir el alimento ofrecido y el alimento rechazado. La GDP se midió cada 14 d por la diferencia de pesos, mientras que el rendimiento en canal caliente en peso vivo vacío se obtuvo al sacrificio de los animales.

3.3.4 Características de la carne

El índice de maduración fue evaluado en carne cruda a través de la resistencia miofibrilar a una compresión lineal del 20 % de deformación con un equipo universal INSTRON (3365, software Serie IX/s, Grove City, Pennsylvania, USA). Para medir pH, trozos del LD fueron triturados y homogeneizados utilizando una licuadora (Waring, Comercial modelo 51BL32 700, Torrington, Connecticut, USA). De la muestra homogeneizada se tomaron 3 g kg⁻¹ por triplicado y se adicionaron 50 mL de agua destilada. La temperatura de la muestra fue llevada a 25 °C (Torley *et al.*, 2000). La medición del pH (pHmeter, Termo-Orión 410Aplus, Torrington, Connecticut, USA) de cada muestra se realizó a 5 y 10 d de maduración. Para las mediciones de color usaron los parámetros CIE L*, a* y b* obtenidos con un colorímetro (Konica Minolta On Color CM-2500d Online, Osaka, Japón). El contenido de mioglobina del musculo LD se determinó mediante la metodología descrita por Trout (1990), para la determinación de las catepsinas B y B+L se utilizó la metodología propuesta por Etherington y Wardale (1982).

3.3.5 Análisis estadístico

Para la evaluación de las variables se utilizó un PROC GLM de SAS (2000), bajo un diseño de bloques completamente al azar (Steel *et al.*, 1997), contrastando los niveles de suplementación, tratamiento sin suplemento (0 mg/head d-1) contra tratamientos suplementados con Clorhidrato de Zilpaterol (CI: 0.1, 0.2 y 0.3 mg/kg PV; CII: 0.1 vs 0.2 mg/kg PV, and CIII: 0.2 vs 0.3 mg/kg PV).

3.4 RESULTADOS Y DISCUSION

3.4.1 Ensayo de crecimiento

El consumo de materia seca y rendimiento en canal no se modificó por el nivel de CZ (Cuadro 7). La adición de CZ presento un efecto cuadrático ($p > 0.05$) para las variables de PVF y CMS siendo el menor para la dosis de 0.1 mg/kg PV. Aguilera-Soto *et al.* (2008), reportan que los primeros 15 días de alimentación a corderos suplementados con clorhidrato de zilpaterol tuvieron más ganancias de peso que en el periodo final, repercutiendo sobre el comportamiento productivo, por otro lado, Avendaño-Reyes *et al.* (2006), reporta no haber encontrado efectos en CMS y eficiencia alimenticia de los corderos por el consumo de CZ, sin embargo la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia aumentaron tras la adición del CZ. La ganancia de peso total presenta un efecto lineal ($p > 0.05$) conforme se incrementa la dosis de CZ. Contrariamente la conversión alimenticia se reduce de manera lineal ($p > 0.05$) conforme disminuye la dosis de CZ.

Cuadro 7. Variables productivas de corderos suplementados con clorhidrato de zilpaterol durante 30 días

Item	CZ (mg/kg peso vivo) ^{1*}				SEM ⁵	P-value	
	0.0	0.1	0.2	0.3		l ²	q ³
PV Inicial, kg	33.02	31.64	31.65	32.45	0.30	0.20	0.01
PV final, kg	38.55	36.97	38.38	38.77	0.44	0.28	0.02
Ganancia total, kg	5.52	5.33	6.72	6.32	0.40	0.04	0.79
GDP, kg/d	0.27	0.26	0.33	0.31	0.02	0.08	0.82
CMS, kg/d	1.52	1.33	1.33	1.46	0.04	0.43	0.01
GDP:CMS	0.17	0.20	0.25	0.21	0.01	0.01	0.11
Rendimiento en canal, %	48.87	49.69	52.56	51.81	1.41	0.08	0.58

¹ZH dosis = los corderos se alimentaron con una dieta basal mas 0, 0.1, 0.2 y 0.3 mg/kg PV de ZH/d

²Efecto lineal, ³Efecto cuadrático, ⁴Efecto cubico

⁵Error estandar de la media.

*Seis corderos por tratamiento.

Se sabe que el crecimiento aumenta rápidamente al inicio de la alimentación con β -adrenérgicos hasta que se alcanza un balance y luego hay una disminución lineal en el crecimiento debido a la disminución de la regulación o desensibilización de los receptores adrenérgicos (Mersmann 1998; Moody *et al.* 2000; Williams *et al.* 1994); sin embargo, la duración de la respuesta a lo largo del tiempo no es constante entre los diferentes compuestos y especies de β -adrenérgicos.

En corderos de engorda Aguilera *et al.* (2008) y Pringle *et al.* (1993) reportan un incremento significativo ($p < 0.05$) en el GDP durante las primeras 2 semanas después de la administración de β -adrenérgicos (CZ, 6 ppm) y ractopamina (4 ppm) respectivamente, con una falta de respuesta en las semanas siguientes; sin embargo, Kim *et al.* (1987), encontró un incremento significativo en el aumento de peso total con una reducción de la conversión alimenticia durante las primeras 6 semanas cuando se agregaron 10 ppm de cimaterol en la dieta, lo cual es consistente con nuestros resultados.

3.4.2 Características de la carne

Se encontraron disminuciones lineales ($p < 0.05$) para el color de la carne a las 24 h, 5 y 10 d postmortem. El efecto del CZ sobre el color de la carne no ha sido reportado de manera consistente. Diferentes factores contribuyen a esta inconsistencia como el pH y la temperatura (Sañudo *et al.*, 1989), una menor concentración de hemoglobina (Ferreira y Bastos, 1994; Warris *et al.*, 1990) y una pequeña cantidad de oximioglobina (Ramos y Silveira, 2002). Diversos estudios con CZ en ovinos no han encontrado efectos en las variables de color (Avendaño *et al.*, 2006; Romero, 2011; Berge *et al.*,

1990). Una posible explicación de la menor brillantez (L) de la carne de las ovejas aliemntadas con CZ puede deberse a la reducción de la c grasa intramuscular (marmoleo) (Wulf y Wide, 1999).

Cuadro 8. Características fisicoquímicas de la carne de corderos suplementados con clorhidrato de zilpaterol durante 30 días

Item	ZH, mg/d ^{1*}				l ²	q ³	SEM ⁵
	0	0.1	0.2	0.3			
Color 24h							
l*	35.34	33.21	33.05	29.77	0.03	0.72	1.58
a*	15.17	13.61	14.43	10.95	0.02	0.34	0.98
b*	4.41	3.93	4.07	2.46	0.06	0.37	0.62
C	15.82	14.20	15.04	11.23	0.02	0.33	1.10
H	15.84	15.37	15.01	12.48	0.14	0.50	1.50
5 días postmortem							
Mioglobina	4.23	4.49	4.04	4.63	0.59	0.59	0.30
Textura 20%	8.23	13.38	18.54	11.16	0.20	0.02	2.34
L*	36.41	33.82	33.86	30.93	0.04	0.92	1.64
a*	9.19	9.88	9.99	8.62	0.62	0.16	0.69
b*	10.76	10.18	9.97	8.04	0.04	0.43	0.83
C	14.25	14.22	14.14	11.80	0.10	0.24	0.95
H	48.97	45.10	44.72	43.06	0.07	0.76	2.16
Proteína Lowry	7.80	8.30	8.99	9.55	0.04	0.96	0.59
Catepsina B	0.11	0.08	0.07	0.07	0.07	0.45	0.01
Catepsina B+L	0.19	0.16	0.13	0.14	0.17	0.41	0.03
10 días postmortem							
Mioglobina	4.65	4.16	4.35	4.57	0.97	0.25	0.30
Textura 20%	10.35	12.04	11.61	7.76	0.08	0.01	0.96

L*	35.92	35.10	32.26	31.71	0.08	0.94	1.81
a*	10.23	8.27	8.46	7.90	0.06	0.36	0.74
b*	11.79	10.28	9.63	8.12	0.04	0.99	1.18
C	15.72	13.36	12.99	11.34	0.01	0.75	1.09
H	48.64	49.80	47.61	46.01	0.54	0.70	3.57
Proteína Lowry	8.00	8.25	8.34	9.49	0.13	0.49	0.63
Catepsina B+L	0.13	0.13	0.11	0.09	0.05	0.41	0.01

¹CZ dosis = los corderos se alimentaron con una dieta basal mas 0, 0.1, 0.2 y 0.3 mg/kg PV de ZH/d

²Efecto lineal, ³Efecto cuadrático, ⁴Efecto cubico

⁵Valores de probabilidad asociados a la suplementación con ZH

*Seis corderos por tratamiento

La textura presento un efecto cuadrático ($p < 0.05$) a la suplementación con CZ, el contenido de proteína y catepsinas mostraron efectos lineales ($p < 0.05$). Bianchi *et al.* (2006), reportan que a los 8 d de refrigeración la carne presenta una resistencia miofibrilar de 4.10 N cm^{-2} , estos datos no coinciden con lo encontrado en la presente investigación, ya que a los 10 d de maduración la resistencia miofibrilar el valor más bajo era de 7.76 N cm^{-2} .

3.5 CONCLUSIONES

El uso de clorhidrato de zilpaterol modifica las características fisicoquímicas de la carne de corderos suplementados durante 30 días, se tiene una carne menos brillante, mas suave y con una mejor vida de anaquel.

3.6 LITERATURA CITADA

- Aguilera, S.J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., Mendez-Llorente, F., Lopez-Carlos, M. A., Silva-Ramos, J. M., ... & Duran-Roldan, F. M. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grains. *Journal of Applied Animal Research*, 34(1), 17-21.
- AOAC. 1997. *Official Methods Analysis*, 17th ed. Association of Official Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Avendaño, R. L., Torres, R. V., Meraz, M. F. J., Perez, L. C., Figueroa, S. F., & Robinson, P. H. 2006. Effect of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 84, 3259-3265. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2006-173>
- Avendaño, R.L., Torres, R.V., Meraz, M.F.J., Pérez, L.C., Figueroa, S.F., & Robinson, P.H. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3259-3265.
- Beltrán, J. A. 1988. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo del rigor mortis y la maduración en músculos de ternasco. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria. Departamento de producción Animal y Ciencia de los Alimentos. 255 p.
- Berge, P. H., Culioli, J., Renerre, M., Lacourt, A., Renou, J. P., Ouali, A., ... Berry, M. 1990. Utilisation d' un β - agoniste (clembuterol) pour la production de veau de boucherie: II – Influence sur la qualité de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, 11, 235-236.
- Domínguez, V.I. A., Mondragón, A.J., Ronquillo, M.G., Salazar, G.F., Bórquez, G,J.L. & Aragón, M.A. 2009. 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(3), 278-284.

Etherington, D. J., y R. J. Wardale. 1982. The mononuclear cell population in rat leg muscle: its contribution to the lysosomal enzyme activities of whole muscle extracts. *J. Cell Sci.* 58: 139-148.

Ferreira, M., & Bastos, M. L. 1994. Os agonists β_2 na producao de carne. *Frm Port*, 87, 61-67.

Hopkins, D.L. y J. M. Thompson. 2002. Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar proteins and the impact on tenderisation in beef and sheep meat. *Australian Journal of Agriculture Research*. 53: 149-166.

Kim, Y. S., Lee, Y. B., and R. H. Dalrymple. 1987. Effect of the repartitioning agent cimaterol on growth, carcass and skeletal muscle characteristics in lambs. *J. Anim. Sci.* 65: 1392-1399.

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

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

Mondragón, J., I.A. Domínguez-Vara, J.M. Pinos-Rodríguez. M. González, J.L. Bórquez, A. Domínguez y M.L. Mejía. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass trait of finishing lambs. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*. 60:47-52.

Moody, D. E., Hancock, D. L., and D. B. Anderson. 2000. Phenethanolamine Repartitioning Agents. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CAB International, NY, USA. pp. 65-95.

NRC (National research Council). 1985. Nutrient requirements of sheep. Sixth revised edition. National Academy press, 2101 Constitution avenue, NW, Washington. p 47-51.

- Pérez-Álvarez, J.A. 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Pringle, T. D., Calkins, C. R., Koohmaraie, M., and S. J. Jones. 1993. Effects over time of feeding a β -adrenergic agonist to wether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.* 71: 636-644.
- Ramos, F., & Silveira, M. I. N. 2002. Agonistas adrenérgicos β -2 e produçao animal: III Efeitos zootécnicos e qualidade da carne. *Revista Portuguesa de Ciencias Veterinárias*, 97(542), 51-62
- Romero, M.A.M. 2011. Efecto del clorhidrato de ractopamina en el comportamiento productiva y características de la carne de ovinos en finalización. Doctoral dissertation. Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México. México.
- Sañudo, C., Sánchez, A., & Alfonso, M. 1998. Small ruminant production system and factor affecting lamb meat quality. *Meat Science*, 49(Supplement 1), 383-390
- SAS. 2000. SASISTAlt3 User's Guide (8.1Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Stanton, T.L. y S.B. LeValley. 2006. Lamb feedlot nutrition. Colorado State University Extention. Livestock Series Magnament. 4 p.
- Steel, G.D.R., Torrie, J.H., Dickey, D.A., 1997. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach: McGraw-Hill. New York; pp. 637.
- Torley, P. J., Arcy, R.D., Trout, B. y Graham, R. 2000. The effect of ionic strenght, polyphosphates type, pH, cooking temperature and preblending on the functional properties of normal and pale, soft, exudative (PSE) pork. *Meat Sci.* 55: 451-462.

- Trout, G.R. 1990. The rate of metmyoglobin formation in beef, pork, and turkey meat as influenced by pH, sodium chloride, and sodium tripolyphosphate. *Meat Sci.* 28: 203-210.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Warris, P. D. 2003. *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España. Acribia
- Williams, N. H., Cline, T. R., Schinckel, A. P., and D. J. Jones. 1994. The impact of ractopamine, energy intake, and dietary fat on finisher pig growth Performance and carcass merit. *J. Anim. Sci.* 72: 3152-3162.
- Wulf, D.M., & Wise, J.W. 1999. Measuring muscle color on beef carcass using the L*a*b* color space. *Journal of Animal Science*, 77, 2418-2427.

CONCLUSIONES GENERALES

La adición de Clorhidrato de Zilpaterol a una dosis de 0.2mg/kg de Peso Vivo a las dietas basales de ovinos de pelo, mejoran significativamente parámetros productivos, características de la canal, incrementando pesos en cortes de importancia económica, como el perímetro de la grupa y el área LD, así como la calidad de la carne, donde se obtienen carnes menos brillantes, mas suaves y con una mejor vida de anaquel, alcanzados en una etapa de finalización de 31 días, tomando en cuenta sus 2 días de retiro.