

**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A. C.**

**Cambios en las Características Químicas y Fisicoquímicas de la  
Carne de Corderos de Pelo Inducidos por la Estrategia de la  
Implantación con Zeranol**

POR:

**NIDIA VANESSA VALENZUELA GRIJALVA**

TESIS APROBADA POR LA:

**COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN  
ANIMAL**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**HERMOSILLO, SONORA**

**AGOSTO DEL 2011**

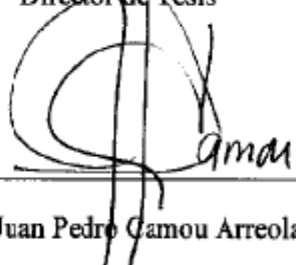
## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Nidia Vanessa Valenzuela Grijalva, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias, dentro del programa de Maestría en Ciencias del Centro de Investigación y Desarrollo A.C.

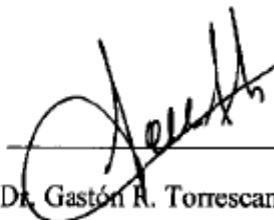


Dr. Humberto González Ríos

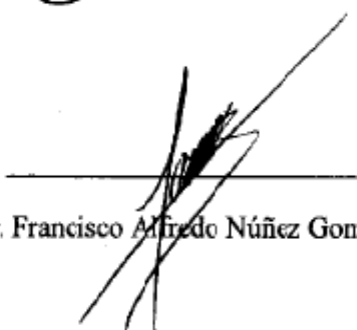
Director de Tesis



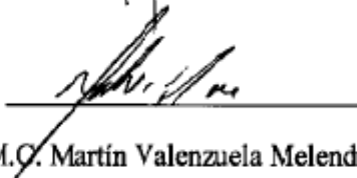
Dr. Juan Pedro Camou Arreola



Dr. Gastón R. Torrescano Urrutia



Dr. Francisco Alfredo Núñez González



M.C. Martín Valenzuela Melendres

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de las tesis con fines académicos, deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. (CIAD, A. C.).

La publicación de comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar créditos al CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Ramón Pacheco Aguilar

**Director General**

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD, A.C.) por brindarme la oportunidad de realizar la Maestría en Ciencias y así cumplir un objetivo más como parte de mi formación profesional, así como el permitirme el uso de sus instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme los recursos económicos indispensables para desarrollo de mis estudios de posgrado.

Al Dr. Francisco A. Núñez González de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua por proporcionar las muestras para que se llevara a cabo el experimental.

Siempre estaré agradecida con mi director de tesis, Dr. Humberto González Ríos, por sus consejos, por ser un gran ejemplo a seguir y por su apoyo académico brindado durante estos dos años, en el cual pude concluir en tiempo y forma. Gracias Dr. Humberto por ser una valiosa persona.

A mis asesores de tesis, Dr. Juan Pedro Camou Arreola, M.C. Martin Valenzuela Melendres, Dr. Gastón Torrescano y Dr. Francisco Núñez por su apoyo y aporte de conocimientos para la realización de este trabajo de investigación.

A la Q.B. Thalia Islava Lagarda por su asesoría, entrenamiento, apoyo y disposición de tiempo en el análisis de perfil de ácidos grasos y colesterol en el cromatógrafo de gases durante mi experimental. Muchísimas gracias a la M.C. Libertad Zamorano y al T.C. Germán Cumplido por toda su ayuda, tanto académica como personal.

Por brindarme su amistad y paciencia, gracias a mis compañeros y amigos de laboratorio, Alberto Miranda, Pedro Serna, Gregorio Polloreña, Thalia Islava, Liliana Carrillo, Elizabeth Cohen, Manuel Torres, Fernanda Morales, Julio López, Rigo Amezcuita, Jeanette Acuña y Antonieta, Isabel y Kandy Pérez, Aristeo Villalobos, Jimena García y David Vargas.

Por estar presentes en momentos inolvidables y por haber compartido tanto tiempo, gracias a mis amigos a mis amigos y compañeros de generación, Vanessa Saracho, Melissa Campa, Gabriel Fuentes, Carlos Sotelo, Sarahí Rangel y Ana Luisa Martínez, quienes convivieron conmigo durante los mejores momentos en esta etapa de mi vida.

Mis sinceros agradecimientos a mis padres por todo su amor y apoyo durante toda mi vida y por darme la oportunidad y dirección para ser lo que soy hoy en día. Los amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Por darme paciencia y fortaleza para seguir adelante en uno más de mis objetivos de vida.

### **A mis padres, Miguel Ángel Valenzuela y Georgina Grijalva Hernández y hermana Beba**

Quienes me dieron la vida, por su gran cariño y apoyo en todas las etapas de mi vida para poder llegar hasta donde estoy ahora. Por aguantar tantos desvelos y estudio, muchísimas gracias. Por creer siempre en mí y apoyarme en cada una de mis locuras.

LOS AMO.

### **A mi amigo y novio, Alberto Miranda**

Por su fortaleza que sirve de ejemplo, por mostrarme el camino para seguir adelante y ser mi apoyo incondicional, por brindarme su amor, confianza, amistad, por alentarme a continuar mis estudios y en momentos difíciles.

TE AMO

## CONTENIDO

<b>SINOPSIS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>CAPÍTULO I. EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE PELO. I. CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE PELO. II. CAMBIOS EN LA TEXTURA DURANTE LA MADURACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO III: CHANGES IN INTRAMUSCULAR FAT, FATTY ACID PROFILE AND CHOLESTEROL CONTENT INDUCED BY ZERANOL IMPLANTATION STRATEGY IN HAIR LAMBS .....</b>	<b>44</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>66</b>

## SINOPSIS

Con el descubrimiento de los efectos benéficos de los implantes hormonales en el comportamiento productivo del animal (mayor tasa de crecimiento y mayor eficiencia alimenticia), la industria farmacéutica, en conjunto con centros de investigación han realizado diferentes estudios para mejorar la respuesta anabolizante de los implantes. Sin embargo, su uso depende de varios factores relacionados con el animal y el implante, razón por la cual el productor se ve en la necesidad de aplicar una estrategia de implantación que se adecúe a su sistema de producción en particular.

No obstante, la calidad de la carne es afectada por la manipulación del crecimiento animal en los que intervienen tanto factores intrínsecos como extrínsecos. Entre los primeros destacan la condición sexual, la edad y el peso; mientras que en los segundos se tiene a la alimentación, el manejo *antemortem* y *postmortem* y el uso de implantes hormonales. Además, al manipular el crecimiento animal con el uso de implantes, se inducen cambios en la composición química y nutrimental de la carne. Este aspecto es de suma importancia desde el punto de vista de su comercialización debido a que el consumidor actual busca alimentos con menor contenido graso.

Desde hace algunos años, el implante zeranol se ha utilizado como promotor del crecimiento principalmente en bovinos productores de carne. Las investigaciones sobre el uso de éste compuesto y su efecto en la calidad de la carne han sido controversiales, ya que algunas indican que no hay un incremento en la dureza de la carne, mientras que otras si lo han observado. Para el caso de la especie ovina, la información es escasa.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se determinó el efecto del implante hormonal zeranol sobre las características de calidad de la carne de corderos. Además, se

evaluaron diferentes estrategias de implantación con el fin de determinar aquella con menor detrimento en la calidad de la carne.

Se utilizó como modelo experimental los músculos *Mm. Longissimus dorsi* (LD) y *Biceps femoris* (BF) de corderos de pelo debido a la importancia comercial de éstos músculos y la experiencia previa del grupo de investigación. La hipótesis del trabajo fue que, al aplicar el zeranol utilizando una estrategia de implantación, empleando dosis doble y reimplantación de zeranol, se producen cambios negativos en la calidad nutricional (un aumento de los ácidos grasos saturados y colesterol); calidad fisicoquímica (aumento de cortes oscuros y el esfuerzo al corte).

Se trabajó en colaboración con la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde se llevó a cabo el confinamiento y evaluación de la prueba de comportamiento productivo (tesis de maestría de un estudiante de la Facultad de Zootecnia). Se utilizaron 32 corderos de pelo distribuidos en cuatro grupos: 1) sin implante, 2) 12 mg de zeranol, 3) 24 mg de zeranol y 4) reimplantados con 24 mg de zeranol en dos aplicaciones de 12 mg. Una vez sacrificados los animales, se obtuvieron los músculos LD y BF de 16 corderos de pelo (n =4, por tratamiento), para evaluar los parámetros químicos como humedad, grasa, colágeno total, colágeno insoluble y sus porcentajes de solubilidad y perfil de ácidos grasos; dentro de las fisicoquímicas, pH, color, esfuerzo al corte; también se realizó un estudio de la maduración del músculo LD durante 14 días de refrigeración, y en él se midió la pérdida de peso por cocinado, índice de fragmentación miofibrilar y el esfuerzo al corte en cocinado.

Para alcanzar los objetivos propuestos se llevaron a cabo los estudios mencionados previamente y los resultados se describen en diferentes capítulos de la tesis. El primer



capítulo consiste de un artículo enviado a la *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Zulia*. En éste se reportan los resultados de los análisis químicos y fisicoquímicos de los músculos LD y BF. Se observó que no existió un detrimento en el color de los dos músculos provenientes de animales implantados a las 24 horas *posmortem*.

Además, se identificó que no existe un efecto negativo al utilizar el implante zeranol sobre el esfuerzo al corte de los dos músculos evaluados. Sin embargo, el empleo de la reimplantación produjo cortes más duros respecto a los 12 mg de zeranol. Por otra parte, se observó que existió un comportamiento diferente en la deposición de colágeno en los dos músculos, obteniendo para el LD un menor porcentaje de insolubilidad al implantar 12 mg de zeranol y mayor insolubilidad para el músculo BF al utilizar la misma dosis. Sin embargo, estos cambios no se reflejaron en la medición del esfuerzo al corte. Llegando a la conclusión de que el incremento en la dosis y la reimplantación con zeranol a corderos, no afectó negativamente las características fisicoquímicas, y a pesar de que puede darse una reducción del contenido de grasa y un incremento del colágeno, la terneza de la carne no se vio afectada.

El segundo capítulo consta de un artículo que también fue enviado a la *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Zulia*. En dicho artículo, se incluyen los resultados del esfuerzo al corte, pérdida de peso por cocinado e índice de fragmentación miofibrilar obtenidos durante el proceso de maduración de la carne durante 14 días a 4° C. En este estudio, se observó que los animales implantados con 12 mg o con reimplantación, fueron los que presentaron menor pérdida de peso por cocinado en el día 0. El índice de fragmentación miofibrilar se vio afectado por la estrategia de

implantación, observándose los valores más altos en los animales del tratamiento Z12. Además la implantación no afectó negativamente el EC, observándose una reducción de sus valores durante la maduración.

Cabe destacar, que en base a los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que el proceso de maduración durante 14 días fue suficiente para obtener carnes con un EC aceptables por el consumidor. Esto, debido a que no se encontró un efecto negativo sobre el índice de fragmentación miofibrilar, es decir, una disminución en el IFM que conlleve a un incremento en el EC.

Finalmente, el tercer capítulo consta de un artículo enviado al *Journal of the Science of Food and Agriculture*. En éste se incluyen los resultados obtenidos del análisis de perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol. Los resultados encontrados indican que es posible provocar cambios favorables en el perfil de ácidos grasos y colesterol al utilizar una estrategia de implantación con zeranol en corderos de pelo. Encontrándose una notable disminución en el contenido de grasa intramuscular al implantar, siendo mayor esta disminución al reimplantar. Se observó un aumento de la sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados y omega 6 y 3, al utilizar el zeranol como promotor del crecimiento. Cabe destacar, que la implantación disminuyó el contenido de colesterol. En conclusión, los resultados obtenidos en el presente capítulo muestran que es posible provocar cambios favorables en el perfil de ácidos grasos y colesterol al utilizar una estrategia de implantación con zeranol en corderos de pelo.

**CAPÍTULO I. EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL  
SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE PELO. I. CAMBIOS EN LAS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS**

**Humberto González-Ríos<sup>1</sup>, Nidia V. Valenzuela-Grijalva<sup>1</sup>, Martín Valenzuela-  
Melendres<sup>1</sup> y Libertad Zamorano-García<sup>1</sup>**

Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en  
Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304.

Preparado conforme el formato de envío de la revista

**Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias**

**FCV-LUZ**

**EFFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL SOBRE  
LA CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE PELO. I. CAMBIOS EN LAS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS**

**Effect of Zeranol Implantation Strategy on Meat Quality in Hair Lamb. I Changes in  
Chemical and Physicochemical Characteristics**

**Humberto González-Rios<sup>1\*</sup>, Nidia V. Valenzuela-Grijalva<sup>1</sup>, Martín Valenzuela-  
Melendres<sup>1</sup> y Libertad Zamorano-García<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304. \*Autor para correspondencia, E-mail: [hugory@ciad.mx](mailto:hugory@ciad.mx), Teléfono +52 (662) 28924 00, EXT 360.

**Título corto:** Efecto del zeranol sobre la calidad de la carne de cordero

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la estrategia de implantación con zeranol sobre las características químicas y fisicoquímicas de la carne, se utilizaron 32 corderos de pelo machos que fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos (n=8) durante su alimentación en confinamiento: C, grupo control sin implante; Z12, implantados con 12 mg de zeranol; Z24, implantados con 24 mg de zeranol; y RZ12, implantados en dos ocasiones con 12 mg de zeranol. Una vez sacrificados los animales, se diseccionaron los músculos *Mm. Longissimus dorsi* (LD) y *Biceps femoris* (BF), para evaluar la composición proximal, pH, capacidad de retención de agua (CRA), color, esfuerzo al corte (EC), colágeno total (CT), insoluble (CINS), y los porcentajes de solubilidad (PSOL) e insolubilidad (PINS). La implantación disminuyó ( $P<0,05$ ) el contenido de grasa en ambos músculos, y ésta disminución fue mayor en el BF al incrementar la dosis de zeranol y al reimplantar que para LD. La CRA del LD fue afectada por los tratamientos siendo mayor en los implantados ( $P<0,05$ ). El EC del LD cambió ( $P<0,05$ ) por la implantación, siendo de 7,53 kgF en el control y de 5,13 kgF en los implantados ( $P<0,01$ ). El contenido de colágeno y sus componentes, se vieron mayormente afectados en el BF. La implantación incrementó el CT, y la reimplantación incrementó el PINS. El incremento en la dosis y la reimplantación de corderos, no afecta negativamente las características fisicoquímicas, y a pesar de que puede darse una reducción del contenido de grasa y un incremento del colágeno, la ternera de la carne no se ve afectada. Lo anterior, sugiere el uso de estos promotores del crecimiento en la producción ovina, sin detrimento de la calidad de la carne.

**Palabras Clave:** Estrategia de implantación, zeranol, corderos, calidad de carne.

## **ABSTRACT**

Dorper x Pelibuey hair lambs (n=32, initial BW = 21,3 ± 1,53 Kg and 60 d old) were used to evaluate the influence of implantation strategy with zeranol on chemical and physicochemical characteristics. Lambs were randomly assigned to four treatments (8 by group). Treatments were: C, control group without implant; Z12, Z24 and RZ12 groups with implant; Z12, 12 mg of zeranol; Z24, 24 mg of zeranol in a single application, and RZ12, 12 mg of zeranol given twice. Upon slaughtered, the muscles *Mm. Longissimus dorsi* (LD) and *Biceps femoris* (BF) were used to evaluate the proximal composition, pH, water holding capacity (WHC), color, shear force (SF), total collagen (TC), insoluble (CINS), and those solubility percentage (PSOL) and insolubility (PINS). A decrease (P <0,05) in intramuscular fat content was observed to implanting, and this decrease was higher in BF increasing zeranol doses and reimplantation. The WHC of LD muscle was affected by treatments, being higher in implanted lambs (P<0,05). The SF of LD changed (P<0,05) by implantation, being 7,53 kgF at control and 5,13 kgF at lamb implanted (P<0,01). The collagen content and their components were mostly affected in BF. The implantation increase TC, and the reimplantation increase PINS. The zeranol doses increase and lambs reimplantation, does not adversely effect on physicochemical characteristics, and even when there may be a fat reduction and a collagen increase, the meat tenderness was not affected. For all that, suggests the use of these growth promoters in sheep production without meat quality detriment.

**Key words:** Implantation strategy, zeranol, lambs, meat quality.

## **INTRODUCCIÓN**

Los promotores del crecimiento se utilizan desde hace varias décadas y hoy en día son una práctica común en producción animal, dado que el productor desea obtener los

mayores rendimientos [20]. Dentro de ellos tenemos a los implantes hormonales, los cuales debido a su naturaleza anabolizante incrementan la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia [39]. Sin embargo para obtener sus máximos beneficios, es necesario tener en cuenta varios factores relacionados con el animal (ej. condición sexual) y con el tipo de implante (ej. dosis y compuesto activo), razón por la cual el productor se ve en la necesidad de aplicar una estrategia de implantación que se adecúe a su sistema de producción en particular.

En varias investigaciones [8, 28], se ha observado que la manipulación del crecimiento animal a través del uso de implantes como el acetato de trembolona, puede tener un efecto negativo sobre la calidad final de la carne, siendo afectada principalmente la terneza al ser disminuida. Éstos mismos autores señalan que éste aumento es mayor al implementar estrategias de implantación agresivas. Por consiguiente es un punto importante para la industria cárnica prevenir o solucionar los posibles cambios negativos en la terneza, ya que ésta es la principal característica de calidad de la carne para el consumidor [21].

La terneza de la carne puede estar influida por varios factores, tales como la longitud del sarcómero, el diámetro del fibra muscular, la actividad enzimática *posmortem* y la cantidad y solubilidad del colágeno muscular [17]. Siendo estos últimos los de mayor correlación con la terneza, puesto que se ha encontrado que cualquier incremento en la solubilidad del colágeno puede estar asociado con cambios en la terneza de la carne [4, 36].

Actualmente existe poca información sobre los cambios producidos en las características de calidad de la carne ovina por el uso del implante zeranol. Además, existe escasa o nula evidencia sobre el origen de la disminución de la terneza, así como los cambios en las variables fisicoquímicas y químicas (cantidad y solubilidad del colágeno) que expliquen tal disminución por el uso de implantes en la producción ovina. En

consecuencia, el conocimiento sobre los posibles cambios en las características de calidad será de utilidad para la elección de los factores de implantación (estrategia de implantación), por parte de los productores.

En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto de la estrategia de implantación con zeranol sobre las características químicas y fisicoquímicas de la carne de corderos de pelo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Animales y Tratamientos**

Se utilizaron 32 corderos de pelo, machos enteros de cruza comerciales de Dorper x Pelibuey ( $21,3 \pm 1,53$  kg de peso vivo y 60 d de edad), los cuales fueron asignados al azar dentro de cuatro tratamientos para realizar la prueba de comportamiento productivo (cada tratamiento constituido por 8 animales). Los tratamientos fueron: C (control, 0 mg de zeranol); Z12 (12 mg de zeranol, Ralgro®, Intervet Schering-Plough Animal Health); Z24 (24 mg de zeranol en una sola aplicación), y RZ12 (12 mg de zeranol en dos aplicaciones). Los corderos fueron implantados 12 días previos al inicio de la prueba de comportamiento productivo y los animales del tratamiento RZ12 fueron reimplantados 28 días de iniciado el experimento. Todos los animales, recibieron la misma dieta basal balanceada en base a los requerimientos de nutrientes para obtener una ganancia diaria de 220 g/animal durante toda la etapa de finalización [24]. Durante los 15 días previos a la prueba de comportamiento, los corderos fueron adaptados a una dieta con una relación forraje:concentrado de 20:80. La prueba de comportamiento se realizó en los corrales de producción ovina de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua en México.

De la prueba de comportamiento productivo, sólo 16 animales fueron seleccionados aleatoriamente ( $n= 4$  por tratamiento) para el estudio de calidad de la carne. Los animales



fueron sacrificados a un peso vivo promedio de 40 Kg, siguiendo la Normatividad vigente. A las 24 h *posmortem* las canales se diseccionaron y se separaron los músculos *Mm. Longissimus dorsi* (LD) y *Bíceps femoris* (BF), los cuales fueron empacados al vacío y congelados inmediatamente a -20 °C. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Investigación en Productos Cárnicos localizado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., en Hermosillo, Sonora, México para sus posteriores análisis.

### **Análisis Proximal**

El porcentaje de humedad y grasa intramuscular se obtuvo mediante la metodología 985,14 y 960,39, respectivamente, propuestas por la AOAC [1].

### **Calidad Fisicoquímica**

Para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro digital HANNA portátil con electrodo de penetración y termómetro (modelo HI 98140, GLP pH METER), él cual se introduce en el músculo. Se realizaron tres determinaciones por muestra.

La determinación de color de los músculos LD y BF se llevó a cabo utilizando un colorímetro Minolta (modelo Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan) con el iluminante D65 y 10° en el observador [40]. En la evaluación se midieron los parámetros de color L\*, a\* y b\*. Además se estimó el ángulo de matiz (Hue) utilizando la fórmula  $\tan^{-1}(b^*/a^*) \times 57.29$ . Para cada parámetro de color se realizaron cinco mediciones sobre la superficie de las muestras frías (4-8 ° C).

El análisis de la capacidad de retención de agua (CRA) se llevó a cabo mediante el procedimiento descrito por Sutton *et al.*, [34], el cual se basa en la centrifugación de la muestra de carne. El porcentaje de CRA fue calculado en función de la diferencia de peso de la muestra antes y después de la centrifugación.

Para la evaluación del esfuerzo al corte Warner-Bratzler (EC), se utilizó un texturómetro Texture Analyzer T.A.X.T. Plus. Los músculos LD y BF fueron acondicionados para la posterior medición del EC en carne cocinada y ésta consistió en: obtener cortes de 2,5 cm de grosor, los cuales fueron cocinados en un sartén eléctrico (Cook Master Ester, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canada) hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C, la cual fue monitoreada por un termopar tipo T conectado a un lector de temperatura (Barnant CO. model 692-0000, Barrington Ill, USA). Una vez cocinadas, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente (25 a 30°C) y refrigeradas a 4°C por 24 h. Posteriormente, la carne se cortó en trozos de un centímetro de ancho por tres de largo, en dirección longitudinal a las fibras musculares. El EC se midió perpendicularmente a las fibras musculares, utilizando el accesorio cortador Warner-Bratzler montado en el equipo, el cual fue calibrado a una velocidad de cabezal de 1.6 mm por segundo y una fuerza de compresión de 50 Kg. El valor de EC fue expresado en Kilogramos fuerza (KgF). Se realizaron al menos 6 repeticiones por unidad experimental.

### **Determinación de Colágeno Total e Insoluble**

Para la cuantificación de colágeno total e insoluble se utilizó la metodología descrita por Bonnet y Kopp [7], basada en la medición por espectrofotometría de la concentración de hidroxiprolina. Esta última, es obtenida de la carne después de dos digestiones, la primera con una solución de TRIS a 90°C durante dos horas. Lo anterior con el fin de obtener el colágeno insoluble. La segunda digestión se realiza con ácido perclórico al 70% (colágeno total e insoluble). Después la hidroxiprolina obtenida es oxidada con cloramina T (sal de sodio del p-Tolueno sulfonamida) al ácido pirrol 4-hidroxi-2-carboxílico, éste reacciona con el p-DAB (p-dimetilaminobenzaldehído) reactivo de Erlich para producir un

cromógeno (rosa), el cual es medido a una longitud de onda de 558 nm. El contenido de colágeno total e insoluble fue reportado en mg de hidroxiprolina por g de tejido fresco. En base al contenido de colágeno total (CT) e insoluble (CINS) se calcularon los porcentajes de colágeno insoluble (PINS) y porcentaje de colágeno soluble (PSOL).

### **Análisis Estadístico**

Los valores obtenidos de todas las determinaciones fueron analizados mediante un análisis de varianza de una vía, donde el efecto principal fueron los tratamientos. Se estimaron significancias a un nivel de probabilidad en el error tipo I de 0,05. Cuando existió efecto del tratamiento, se realizó una prueba de comparación de medias a través de contrastes ortogonales. Se probaron los siguientes contrastes ortogonales: contraste C1: C vs Z12+Z24+RZ12; contraste C2: Z12 vs Z24+RZ12; y contraste C3: Z24 vs RZ12. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS [23].

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Calidad Físicoquímica**

Las características físicoquímicas de los músculos LD y BF de corderos de pelo por tratamiento se muestran en la TABLA I y II.

En cuanto al contenido de grasa del músculo LD, se encontró que al implantar a corderos de pelo existió una disminución del 27,14% del contenido de grasa respecto a los animales del grupo control ( $P < 0,05$ , efecto del contraste C1). Así mismo, se observó efecto de la reimplantación ( $P < 0,05$ , efecto de contraste C3), ya que en el grupo RZ12 el contenido de grasa intramuscular disminuyó un 39,06 % respecto al grupo implantado con 24 mg de zeranol en dosis única.

Igualmente el contenido de grasa para el músculo BF fue afectado por los tratamientos ( $P < 0,05$ ). Se encontró una disminución (29,3 %) del contenido de grasa al

utilizar el zeranol respecto al grupo control ( $P < 0,05$ , efecto de contraste C1). En cuanto a la estrategia de implantación, se observó una disminución del contenido de grasa al aumentar la dosis de zeranol ( $P < 0,05$ , efecto de contraste C2), encontrándose un 2,61% de grasa para el grupo implantado con 12 mg de zeranol y un 2,06 % para el grupo con 24 mg de zeranol.

Los porcentajes de grasa intramuscular obtenidos en el presente estudio para los dos músculos evaluados, son similares a los reportados por González-Ríos [13], donde se evaluó el efecto de la implantación con zeranol y la castración a corderos de pelo. De igual forma, están en concordancia con lo encontrado por otros autores [15], quienes observaron una reducción en grasa intramuscular al utilizar el implante zeranol en bovinos para carne.

Duckett *et al.* [9], al evaluar el efecto de la estrategia de implantación sobre el contenido de grasa del músculo LD observaron un efecto similar a nuestro estudio. Ellos encontraron una notable disminución del contenido de grasa intramuscular al implantar a bovinos para carne (3,36 %). Sin embargo sus hallazgos difieren al presente estudio en cuando la evaluación de la estrategia de implantación, ya que no encontraron efecto de la reimplantación y tipo de implante utilizado. Estos investigadores atribuyen tal alteración al efecto de dilución de los componentes del músculo debido al incremento encontrado en el tamaño del corte rib eye.

Otros investigadores, adjudican la disminución del contenido de grasa intramuscular al efecto anabolizante y lipolítico comprobado de los implantes hormonales en los sistemas de producción para carne [25].

Cabe destacar que los valores encontrados de grasa intramuscular en el presente estudio son bajos, no obstante estos se encuentran dentro de los rangos de grasa intramuscular aceptables por el consumidor sin demeritar los atributos sensoriales [38].

El pH del músculo BF no fue afectado por los tratamientos, observándose una media general de 5,76. A diferencia de este, en el LD se observó una disminución ( $P < 0,05$ , efecto del contraste 1) del pH al implantar con zeranol a corderos de pelo (5,69) respecto a los animales del grupo control (5,79). Los valores de pH de los dos músculos se encuentran dentro del rango normal (5,5 – 5,8) reportado para carne fresca ovina [26, 29]. Por otra parte, otros autores [11] no encontraron efecto significativo en el pH por el uso de implantes, y reportan un promedio de 5,7, siendo este valor similar a los encontrados en el presente estudio.

Es importante mencionar que no obstante los resultados obtenidos, es necesario mantener el pH final de la carne dentro de los rangos normales para que otras características de calidad no sean afectadas, pues se señala que a medida que se hace mayor la velocidad de caída del pH y disminuye el pH final de la carne, aumenta su dureza y la cantidad de jugo liberado [5].

Respecto a los parámetros que definen el color, sólo el ángulo de matiz (Hue) del músculo LD fue afectado al implantar zeranol ( $P < 0,05$ , efecto de contraste C1), siendo mayor este valor en la carne proveniente de animales implantados (Z12+Z24+RZ12, 22,46). En cuanto al músculo BF, sólo los parámetros  $L^*$  y  $b^*$  fueron afectados ( $P < 0,05$ ). Se observó, que existió una disminución del parámetro  $L^*$  al implantar zeranol. Contrario a lo sucedido en  $b^*$ , donde se encontró que al emplear el zeranol como agente anabólico, este incrementó tal parámetro de color.

En varias investigaciones se ha coincidido en que el uso de implantes anabólicos incrementa la incidencia de cortes oscuros, encontrando valores de  $L^*$  bajos [8, 33]. Contrario a esto, Reilling y Johnson [27], no encontraron cambios en el parámetro  $L^*$  del corte LD de animales implantados, lo cual es similar a lo encontrado en el presente estudio.

Sin embargo, aun cuando se encontraron valores bajos de  $L^*$ , estos son normales, destacando, que la carne de cordero es más oscura que la de bovino [33].

Adicionalmente, la carne presentó valores de pH altos en los cuales no es posible que se presente una desnaturalización de las proteínas, por lo cual existe una mayor capacidad de retención de agua reduciéndose así la liberación de agua superficial de la carne, provocando con ello una disminución de la luminosidad de la carne [8].

La CRA de los dos músculos fue afectada por los tratamientos ( $P<0,05$ ). En ambos, se observó una mayor CRA en la carne de los animales implantados (LD, 83,75 % y BF, 80,26 %; efecto de contraste 1) respecto a los no implantados (LD, 77,44 % y BF, 77,86 %). Asimismo, se observó el mismo comportamiento al incrementar la dosis de implantación (BF, efecto de C2) y al reimplantar (LD, efecto de C3).

De acuerdo a Barriada [3], el empleo de algunas sustancias anabólicas, aumenta el contenido de agua de la carne lo cual no se traduce en un incremento paralelo de la CRA, pues el agua que se acumula en la carne por “hinchamiento” se expulsa fácilmente. Lo anterior es contrario a lo obtenido en esta investigación, donde se observó que los tratamientos con implante obtuvieron los porcentajes de CRA más altos que los que no lo presentaban. Lo cual conlleva a la suposición de que la carne proveniente de corderos implantados no presentará problemas de pérdidas de agua por goteo y pérdida de peso por cocinado.

El EC del músculo LD fue afectado por los tratamientos ( $P<0,05$ ), observándose valores mayores en el tratamiento control seguido por los tratamientos RZ12, Z12 y por último el tratamiento Z24 (7,53, 5,49, 4,86 y 4,04 KgF, respectivamente). Al separar el efecto de las medias por contrastes ortogonales, se encontró que el contraste C1 fue significativo ( $P<0,05$ ), siendo la media del tratamiento control mayor (7,53 KgF) con

respecto a la media de los tratamientos con zeranol (4,79 KgF). También el contraste C3 fue significativo, obteniéndose un valor medio menor de EC en la carne proveniente de los animales implantados con 24 mg de zeranol en dosis única respecto a los animales reimplantados.

Los valores encontrados en este estudio son mayores a los reportados por otros autores (1,73 a 3,98 KgF) para esta especie [10, 32]. Sin embargo, los valores de EC de la carne proveniente de animales con el implante zeranol presentaron valores por abajo del límite superior de 6 KgF indicado por Shackelford *et al.* [31], quienes clasifican a la carne como tierna si presenta valores por debajo de los 6 KgF. Lo anterior es de importancia comercial ya que el uso del implante no produjo una carne que puede ser clasificada como dura.

Así mismo, los resultados encontrados en el presente estudio, no concuerdan con otras investigaciones, ya que varios autores han coincidido que el empleo de anabolizantes en la producción animal, se traduce en una influencia negativa sobre la ternura de la carne, observándose valores altos de EC. Estos cambios negativos los han atribuidos a ciertas diferencias tales como a la disminución de la grasa intramuscular, aumento del colágeno insoluble, diferencias en el pH que conllevan a una disminución de la actividad del sistema calpaína, así como un aumento de tamaño de las fibras musculares (hipertrofia muscular) [8, 37].

En contra parte, otros estudios [2, 12], no han observado influencia del uso de implantes sobre los valores de EC.

En cuanto al uso del implante zeranol en ganado ovino, existe muy poca información acerca del efecto de estos sobre la calidad de la carne. De la información existente se tiene lo encontrado por González-Ríos [13] quien evaluó el efecto de la implantación con zeranol

y la castración a corderos de pelo, y se observó que no hubo un efecto negativo sobre la ternura de la carne (control, 5,18 KgF e implantados, 4,24 KgF), siendo esto similar a los resultados de la presente investigación.

El esfuerzo al corte del músculo BF no presentó cambios ( $P>0,05$ ) al implantar zeranol. El valor medio obtenido del EC para este músculo fue de 5,13 KgF. En el trabajo de González-Ríos [13], no se encontró efecto de la implantación con zeranol sobre el esfuerzo al corte y los valores reportados fueron similares a los de esta investigación. Además, coincidiendo con lo observado en el músculo LD, los valores obtenidos de EC no se encuentran fuera del límite propuesto [31] de 6 KgF para una carne tierna.

#### **Determinación de Colágeno Total e Insoluble**

El contenido de colágeno total, colágeno insoluble y sus porcentajes de solubilidad de los músculos LD y BF se observan en la Tabla III. En el caso del músculo LD se observa que el contenido de colágeno total e insoluble no fue afectado por los tratamientos ( $P>0,05$ ). El contenido de colágeno total del LD presentó valores desde 0,88 a 1,19 mg de hidroxiprolina por g de músculo fresco, mientras que para el colágeno insoluble fueron de 0,55 a 0,92 mg de hidroxiprolina por g de músculo.

El PINS y PSOL fueron afectados por la dosis de implantación (C2,  $P<0,05$ ). El PINS del grupo Z12 fue de 55,02 %, mientras que para los implantados con 24 mg de zeranol (Z24 + RZ12) fue de 76 %. El PSOL fue de 44,97 % para los implantados con 12 mg de zeranol y 24 % para los implantados con 24 mg de zeranol.

En el caso del BF, se observaron mayores cambios en el contenido de colágeno total y sus componentes ( $P<0,05$ ). El CT y CINS se incrementó al aplicar el implante y al aumentar la dosis de implantación (efecto de contraste C1 y C2). Para el caso del PINS y PSOL todos los contrastes probados fueron significativos ( $P<0,05$ ). Destaca en los



resultados que al aplicar una dosis de 24 mg de zeranol se disminuyó el porcentaje de insolubilidad, y por tanto se incrementó el porcentaje de solubilidad (efecto del contraste C2).

Los valores encontrados de colágeno total e insoluble del músculo LD, coinciden con los reportados por Sylvestre *et al.* [35] para ovinos con alta tasa de crecimiento. Por otra parte, Maiorano *et al.* [18] y Nold *et al.* [22], encontraron que la concentración de colágeno total y colágeno insoluble no fueron afectadas por la implantación con zeranol, lo cual es similar a lo observado en el LD del presente estudio. Además, los mismos autores encontraron un cambio en la solubilidad del colágeno, siendo mayores en los animales implantados respecto a los no implantados, estos resultados concuerdan con lo observado en este trabajo para los implantados con 12 mg de zeranol.

El aumento en el contenido y poca solubilidad del colágeno ha sido asociado a la presencia de mayor cantidad de hidroxilisipiridinolina (HLP) en el colágeno intramuscular con una disminución de la terneza de la carne, es decir valores altos de EC [16, 17, 36]. Sin embargo, en nuestro estudio no sucedió tal efecto ya que la cantidad de colágeno total e insoluble del LD, no se vio afectada por el tratamiento y el porcentaje de solubilidad del tratamiento control respecto a la de los tratamientos con zeranol fue similar.

Los valores que se observaron en este estudio concuerdan con los reportados (84,57%) para carne de corderos jóvenes de la raza Manchego [30], mientras que fueron más altos a los reportados por Hufstedler *et al.* [14] y similares a los encontrados por Bianchi [6].

Miller *et al.* [19], menciona que al estimular el crecimiento de corderos mediante implantes anabólicos (dihidrotestosterona y 17- $\beta$  estradiol) produjo un incremento en la deposición de colágeno. Sin embargo, ellos no se observaron una mayor maduración del

colágeno a través del entrecruzamiento en los músculos de animales implantados. Igualmente, se encontró el mismo comportamiento en los dos músculos en nuestro estudio. Adicionalmente, en el caso del tipo de estrategia de implantación, se observaron resultados contrastantes entre músculos, ya que mientras en el LD una dosis baja de zeranol (12 mg) redujo el porcentaje de insolubilidad con respecto a los de dosis doble (24 mg), resultados contrarios sucedieron en el BF. Sin embargo, no se encontró una correlación significativa entre los valores de EC y el PINS.

### **CONCLUSIONES E IMPLICACIONES**

El incremento en el empleo de sustancias anabólicas en producción ovina para el estímulo del crecimiento animal ha llevado consigo la interrogante de cuál será la calidad final de la carne provenientes de estos animales, ya que aun cuando para el productor lo más importante es el incremento de la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia, para otros actores de la cadena productiva de la carne, como los industrializadores y comercializadores esto no lo es del todo, y esperan cierta calidad que se adecue a su tipo de comercio. Aunado a esto, para obtener los resultados deseados en cuanto a calidad de la carne, es necesario tener en cuenta el tipo y dosis del implante. Sin embargo, en esta investigación el uso del implante zeranol (un incremento en la dosis y uso de reimplantación), no afecta negativamente las características fisicoquímicas, y a pesar de que puede darse una reducción del contenido de grasa y un incremento del colágeno, la terneza de la carne no se ve afectada. Lo anterior, sugiere el uso de este promotor del crecimiento en la producción ovina, sin detrimento de la calidad de la carne.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] AOAC. Official Methods of Analysis. Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington D. C. 1990.

- [2] BARHAM, J.C.; BROOKS, B.L.; BLANTON, J.R.; HERRING, A.D.; CARR, M.A.; KERTH C.R.; MILLER M.F. Effects of growth implants on consumer perceptions of meat tenderness in beef steers. **J. Anim. Sci.** 81:3052-3056. 2003.
- [3] BARRIADA, M.; CASTRO, P.; MARTINEZ, A.; OSORO, K. Efecto del sistema de alimentación y del peso de sacrificio sobre las características de la canal de añajos de raza asturiana de los valles. **ITEA**, Vol. Extra, Nº 12, 631-636. 1993.
- [4] BAYLE, A.J.; LIGTH N.D. In a A. J. Bayle & N. D. Ligth (Eds.), *Connective tissue in meat and meat products* (pp. 170-194). London and New York: **Elsevier Applied Science**. 1989.
- [5] BERIAIN, M.J.; LIZASO, G. Calidad de la carne de vacuno. En *Vacuno de carne: aspectos clave* (ed. C. Buxadé), pp. 493-510. Mundi Prensa, Madrid. 1997.
- [6] BIANCHI, G.; GARIBOTTO, G.; FEED, O.; BENTANCUR, O.; FRANCO, J. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. **Arch. Med. Vet.** 38, Nº 2. 2006.
- [7] BONNET, M.; KOPP, J. Dosage du collagene dans les tissus conjonctifs de la viande et les produits carnés. *Viandes Prod. Carnés* 7: 263-266. 1986.
- [8] DIKEMAN, M.E. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. **Meat Sci.** 77: 121–1351. 2007.
- [9] DUCKETT, S.K.; WAGNER D.G.; OWENS F.N.; DOLEZAL, H.G.; GILL, D.R. Effect of anabolic implants on beef intramuscular lipid content. **J. Anim. Sci.** 77:1100-1104. 1999.
- [10] DUCKETT, S.K.; ANDRAE, J.G.; OWENS, F.N. Effect of highoil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. **J. Anim. Sci.** 80:3353–3360. 2002.
- [11] FOUTZ, C.P.; DOLEZAL, H.G.; GARDNER, T.L.; GILL, D.R.; HENSLEY, J.L.; MORGAN, J.B. Anabolic implant effects on steer performance, carcass traits, subprimal yields, and longissimus muscle properties. **J. Anim. Sci.** 75:1256-1265. 1997.
- [12] GERKIN, C.L.; TATUM, J.D.; MORGAN, J.B.; SMITH, G.C. Use of genetically identical (clone) steers to determine the effects of estrogenic and androgenic implants on beef quality and palatability characteristics. **J. Anim. Sci.** 73:3317–3324. 1995.

- [13] GONZALEZ-RIOS, H. Manipulación del comportamiento productivo, la calidad de la canal y la carne de corderos de pelo en confinamiento, mediante la castración y un promotor del crecimiento. [DPh thesis]. Chihuahua, Chihuahua México. Universidad Autónoma de Chihuahua. 197 p. available from: Universidad Autónoma de Chihuahua. 2009.
- [14] HUFSTEDLER, G.D.; GILLMAN, P.L.; CARSTENS, G.E.; GREENE, L.W.; TURNER, N.D. Physiological and hormonal responses of lambs repeatedly implanted with zeranol and provided two levels of feed intake. **J. Anim. Sci.** 74:2376-2384. 1996.
- [15] LEMIEUX, P.G.; BYERS, F.M.; SCHELLING, G.T. Relationship of anabolic status and phase and rate of growth to priorities for protein and fat deposition in steers. **J. Anim. Sci.** 68:1702. 1990.
- [16] LEPETIT, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. **Meat Sci.** 76:147-159. 2007.
- [17] LISTRAT, A.; HOCQUETTE J.F. Analytical limits of total and insoluble collagen content measurements and type I and III collagen analysis by electrophoresis in bovine muscles. **Meat Sci.** 68: 127-136. 2004.
- [18] MAIORANO, G.; MCCORMICK, R.J.; FIELD, R.A.; SNOWDER, G. Intramuscular collagen characteristics of ram, wether, and zeranol-implanted ram lambs. **J. Anim. Sci.** 71:1817-1822. 1993.
- [19] MILLER, L.F.; JUDGE, M.D.; SCHANBACHER, B.D. Intramuscular collagen and serum hydroxyproline as related to implanted testosterone, dihydrotestosterone and estradiol-17 beta in growing wethers. **J. Anim. Sci.** 68:1044-1048. 1990.
- [20] MONSON, F.; SAÑUDO, C.; BIANCHI, G.; ALBERTI, P.; HERRERA, A.; ARIÑO A. Carcass and meat quality of yearling bulls as affected by the use of clenbuterol and steroid hormones combined with dexamethasone. **Journal of Muscle Foods.** 18: 173–185. 2007.
- [21] MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P.E.; HUGO, A.; RAATS, J.G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health. **Food Chem.** 112:279–289. 2009.

- [22] NOLD, R.A.; UNRUH, J.A.; SPAETH, C.W.; HUNT, M.C. Effects of implanting ram and wether lambs with zeranol at birth and weaning on palatability and muscle collagen characteristics. **J. Anim. Sci.** 70: 2752-2757. 1992.
- [23] NCSS. Number Cruncher Statical System. **Users Guide.** N.C, USA. 2001.
- [24] NRC. Nutrient Requirements of Sheep. 6th ed. Nat. Acad. Press. Washington. D.C. 1985.
- [25] PLATTER, W.J.; TATUM, J.D.; BELK, K.E.; ENGLE, T.E.; SMITH, G.C. Effects of repetitive use of hormonal implants on beef carcass quality and consumer ratings of beef palatability. **Final Report to the National Cattlemen's Beef Association.** Meat Science Program, Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO. p 1-56. 2001.
- [26] PURCHAS, R.W. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. **Meat Sci.** 27: 129-140. 1990.
- [27] REILING, B.A.; JOHNSON, D.D. Effects of implant regimens (trenbolone acetate-estradiol administered alone or in combination with zeranol) and vitamin D 3 on fresh beef color and quality. **J. Anim. Sci.** 81:135-142. 2003.
- [28] ROEBER, D.C.; CANELL, R.C.; BELK, K.E.; MILLER, R.K.; TATUM, J.D.; SMITH, G.C. Implant strategies during feeding: impact on carcass grades and consumer acceptability. **J. Anim. Sci.** 78:1867-1874. 2000.
- [29] SAÑUDO, C.; SANTOLARIA, P.; MARIA, G.; OSORIO, M.; SIERRA, I. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive productions systems. **Meat Sci.** 42:195-202. 1996.
- [20] SAÑUDO, C.M.; CAMPO, I.; SIERRA, G.A.; MARIA, J.L.; OLLETA, P.; SANTOLARIA, P. Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. **Meat Sci.** 4:357-365. 1997.
- [31] SHACKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M. Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef longissimus shear force at 1 or 2 days post mortem as a predictor of aged beef tenderness. **J. Anim. Sci.** 75: 2417-2422. 1997.
- [32] SHACKELFORD, S.D.; LEYMASTER, K.A.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M. Lamb Meat Quality Progress Report Number 1. Preliminary results of an evaluation of

effects of breed of sire on carcass composition and sensory traits of lamb. Available online: <http://sol.marc.usda.gov>. 2003.

[33] SCHILLING, B.J. 2005. Performance evaluation, carcass characterization and palatability assessment of hair sheep. **Thesis of Master Science**. Texas Tech University. U.S.A.

[34] SUTTON, D.S.; ELLIS, M.; LAN, Y.; MCKEITH, F.K.; WILSON, E.R. Influence of Slaughter Weight and Stress Gene Genotype on the Water-holding Capacity and Protein Gel Characteristics of Three Porcine Muscles. **Meat Sci.** 46:173-180. 1997.

[35] SYLVESTRE, M.N.; BALCERZAK, D.; FEIDT, C.; BARACOS, V.E.; BRUN BELLUT, V.E. Elevated rate of collagen solubilization and postmortem degradation in muscles of lambs with high growth rates: Possible relationship with activity of matrix metalloproteinases. **J Anim. Sci.** 80:1871–1878. 2002.

[36] TORRESCANO, G.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; JIMÉNEZ, B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J.A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. **Meat Sci.** 64: 85-91. 2003.

[37] VERGARA, H.; GALLEGO, L. Effect of electrical stunning on meat quality of lamb. **Meat Sci.** 56:345-349.

[38] TROY D.J; KERRY J.P. Consumer Perception and the Role of Science in the Meat Industry. **Meat Sci.** 86:214–26. 2010

[39] WATSON, R. Meta-analysis of the published effects of HGP use on beef palatability in steers as measured by objective and sensory testing. **Aust. J Exp. Agric.** 48: 1425–1433. 2008.

[40] YOUNG, S.K.; SEOK, K.Y.; YOUNG, H.S.; SPING, K.L. Effect of season on color of hanwoo (Korean native cattle) beef. **Meat Sci.** 63: 509. 2003.

**TABLA I**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MÚSCULO *m. Longissimus dorsi* DE**  
**CORDEROS DE PELO IMPLANTADOS CON ZERANOL**

Variable <sup>b</sup>	Tratamientos <sup>a</sup>					Nivel de Significancia <sup>c</sup>		
	C	Z12	Z24	RZ12	EEM <sup>e</sup>	Contrastes <sup>d</sup>		
						C1	C2	C3
Grasa (%)	3,93	3,07	3,43	2,09	0,21	***	NS	***
pH	5,79	5,67	5,75	5,65	0,03	**	NS	NS
L*	37,00	39,10	35,04	37,56	2,37	NS	NS	NS
a*	11,36	14,58	13,51	14,73	1,18	NS	NS	NS
b*	6,49	7,13	6,11	7,06	0,78	NS	NS	NS
Hue <sup>o</sup>	17,92	22,16	22,27	22,85	1,02	**	NS	NS
CRA	77,44	82,29	81,23	87,66	1,06	***	NS	***
EC	7,53	4,86	4,04	5,49	0,42	***	NS	***

<sup>a</sup> C, Control; Z12, implantados con 12 mg de Zeranol; Z24, implantados con 24 de Zeranol; RZ12, Implantados reimplantados con 12 mg de Zeranol.

<sup>b</sup> L\*, a\* y b\*: parámetros de color, Hue<sup>o</sup>: ángulo de matiz, CRA: capacidad de retención de agua, EC: esfuerzo al corte en KgF.

<sup>c</sup> ns, P > 0,05; \*, P < 0,05; \*\*, P < 0,01; \*\*\*, P < 0,001

<sup>d</sup> C1 = C vs Z12+Z24 + ZR12, C2 = Z12 vs Z24 + ZR12, C3 = Z24 vs RZ12

<sup>e</sup> EEM, error estándar de la media.

**TABLA II**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MÚSCULO *m. Biceps femoris* DE**  
**CORDEROS DE PELO IMPLANTADOS CON ZERANOL**

Variable <sup>b</sup>	Tratamientos <sup>a</sup>					Nivel de Significancia <sup>c</sup>		
	C	Z12	Z24	RZ12	EEM <sup>e</sup>	Contrastes <sup>d</sup>		
						C1	C2	C3
Grasa (%)	3,17	2,61	2,01	2,11	0,15	***	***	NS
pH	5,77	5,78	5,74	5,75	0,02	NS	NS	NS
L*	35,23	32,69	32,51	29,53	0,95	**	NS	NS
a*	25,15	18,46	20,78	19,17	2,85	NS	NS	NS
b*	8,76	8,61	11,01	9,89	0,37	***	***	NS
Hue°	41,04	32,98	37,20	37,76	4,17	NS	NS	NS
CRA	77,83	81,46	79,43	79,89	0,59	***	**	NS
EC	5,75	5,31	4,94	5,99	0,64	NS	NS	NS

<sup>a</sup> C, Control; Z12, implantados con 12 mg de Zeranol; Z24, implantados con 24 de Zeranol; RZ12, Implantados reimplantados con 12 mg de Zeranol.

<sup>b</sup> L\*, a\* y b\*: parámetros de color, Hue°: ángulo de matiz, CRA: capacidad de retención de agua, EC: esfuerzo al corte en KgF.

<sup>c</sup> ns, P > 0,05; \*, P < 0,05; \*\*, P < 0,01; \*\*\*, P < 0,001

<sup>d</sup> C1 = C vs Z12+Z24 + ZR12, C2 = Z12 vs Z24 + ZR12, C3 = Z24 vs RZ12

<sup>e</sup> EEM, error estándar de la media.



**TABLA III**  
**CONTENIDO DE COLÁGENO TOTAL E INSOLUBLE Y SUS PORCENTAJES DE SOLUBILIDAD PARA LOS**  
**MÚSCULOS *Mm. Longissimus dorsi* Y *Biceps femoris* DE CORDEROS DE PELO.**

Variable <sup>b</sup>	Tratamientos <sup>a</sup>					Nivel de Significancia <sup>c</sup>		
	C	Z12	Z24	RZ12	EEM <sup>e</sup>	Contrastes <sup>d</sup>		
						C1	C2	C3
<i>Longissimus dorsi</i>								
CT	0,88	0,99	0,87	1,19	0,11	NS	NS	NS
CINS	0,64	0,55	0,64	0,92	0,10	NS	NS	NS
PINS (%)	73,04	55,02	75,22	76,85	3,67	NS	**	NS
PSOL (%)	26,95	44,97	24,77	23,14	3,67	NS	**	NS
<i>Biceps femoris</i>								
CT	0,95	1,02	1,62	1,53	0,05	***	***	NS
CINS	0,75	0,83	1,13	1,18	0,04	***	***	NS
PINS (%)	78,79	81,32	69,96	77,04	0,81	**	***	***
PSOL (%)	21,20	18,67	30,03	22,95	0,81	**	***	***

<sup>a</sup> C, Control; Z12, implantados con 12 mg de Zeranol; Z24, implantados con 24 de Zeranol; RZ12, Implantados y reimplantados con 12 mg de Zeranol.

<sup>b</sup> CT: Colágeno total (mg de hidroxiprolina /g de carne fresca), CINS: Colágeno insoluble (mg de hidroxiprolina /g de carne fresca), PINS: Porcentaje de insolubilidad, PSOL: Porcentaje de solubilidad.

<sup>c</sup> ns, P > 0,05; \*, P < 0,05; \*\*, P < 0,01; \*\*\*, P < 0,001

<sup>d</sup> C1 = C vs Z12+Z24 + ZR12, C2 = Z12 vs Z24 + ZR12, C3 = Z24 vs RZ12.

<sup>e</sup> EEM, error estándar de la media.

**CAPÍTULO II. EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL  
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE  
PELO. II. CAMBIOS EN LA TEXTURA DURANTE LA MADURACIÓN**

**Humberto González-Ríos<sup>1</sup>, Nidia V. Valenzuela-Grijalva<sup>1</sup>, Martín Valenzuela-  
Melendres<sup>1</sup> y Gastón Torrescano<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en  
Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304.

Preparado conforme el formato de envío de la revista

**Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias**

**FCV-LUZ**

**EFFECTO DE LA ESTRATEGIA DE IMPLANTACIÓN CON ZERANOL SOBRE  
LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS DE  
PELO. II. CAMBIOS EN LA TEXTURA DURANTE LA MADURACIÓN**

**Effect of Zeranol Implantation Strategy on Meat Quality in Hair Lambs. II. Changes  
in Texture During Ageing**

**Humberto González-Rios<sup>1\*</sup>, Nidia V. Valenzuela-Grijalva<sup>1</sup>, Martín  
Valenzuela-Melendres<sup>1</sup> y Gastón Torrescano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304. \*Autor para correspondencia, E-mail: [hugory@ciad.mx](mailto:hugory@ciad.mx), Teléfono (662) 28924 00, EXT 360.

**Título corto:** Efecto del zeranol sobre la maduración de la carne de cordero.

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la estrategia de implantación con zeranol sobre la maduración de la carne, se utilizaron 32 corderos de pelo machos que fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos (n=8) durante su alimentación en confinamiento: C, grupo control sin implante; Z12, implantados con 12 mg de zeranol; Z24, implantados con 24 mg de zeranol; y RZ12, implantados en dos ocasiones con 12 mg de zeranol. Fueron sacrificados y se obtuvo el músculo *m. Longissimus dorsi* (LD) de 4 animales por tratamientos, para evaluar durante el almacenamiento a 4° C (0, 7 y 14 días) la pérdida de peso por cocinado (PPC), esfuerzo al corte (EC) e índice de fragmentación miofibrilar (IFM). Se realizó un análisis factorial 4x3: implantación (IMP) y días de maduración (MAD). La PPC fue afectada ( $P<0,05$ ) por la interacción IMP x MAD, observándose que Z12 y RZ12 fueron los que perdieron menor peso en el día 0, mientras que para el tratamiento Z12 se observó una disminución al día 14. El IFM fue afectado por IMP y MAD ( $P<0,05$ ). El tiempo de maduración aumentó este índice de 73,41 a 81,16, y debido a la implantación, se observaron los valores más altos en la carne de C y Z12 (89,15 y 85,98). El EC sufrió cambios debidos a IMP y MAD ( $P<0,05$ ). A través de los días de maduración, se encontró que disminuyó un 70 % al día 7. El tratamiento C presentó el valor más alto (5,78 KgF), y Z12 el más bajo (4,19 KgF). El implante zeranol no afectó negativamente la textura, observándose una mejora de la terneza de la carne durante su maduración, y estos cambios fueron confirmados con los incrementos en el IFM. La implantación hormonal, puede ser una herramienta útil para aumentar el comportamiento productivo de corderos, sin menoscabo de la terneza de la carne.

## **ABSTRACT**

Dorper x Pelibuey hair lambs (n=32, initial BW = 21,3 ± 1,53 Kg and 60 d old) were used to evaluate the influence of implantation strategy with zeranol on tenderization process. Lambs were randomly assigned to four treatments (8 by group). Treatments were: C, control group without implant; Z12, Z24 and RZ12 groups with implant; Z12, 12 mg of zeranol; Z24, 24 mg of zeranol in a single application, and RZ12, 12 mg of zeranol given twice. Upon slaughtered, the muscle *m. Longissimus dorsi* (LD) of four animals per treatment were used to evaluate during storage at 4° (0, 7 y 14 days) the cooking losses (CL), shear force (SF) and myofibrillar fragmentation index (MFI). The factorial arrangement 4x3 was used, implantation (IMP) and tenderization days (TEN), respectively. The CL was affected by IMP x TEN interaction, observed that Z12 and RZ12 treatments lost less weight on day 0, while that at 14 days Z12 decreased. The IFM was effected by IMP and TEN (P<0.05). The tenderization time increased this index (73,41 to 81,16) and to implantation the highest values were of the treatments C and Z12 (89,15 y 85,98), being the lower value of treatment Z12. By the same way, the SF was affected. During the tenderization time the SF decreased 70 % at 7 day, keeping constant until 14 day. The treatment C obtained the highest value of SF (5,78 KgF), being the lower value the Z12 (4,19 KgF). The zeranol implant was not negatively affected the texture, proving the tenderness during the tenderization time, and these changes were confirm with the increased of MFI. The hormonal implantation can be a useful tool to increase lamb performance, without decrease meat tenderness.

## **INTRODUCCIÓN**

En producción animal, actualmente es una práctica común implantar al ganado, siendo mayor su aplicación en ganado bovino para carne. A través del empleo de estas

sustancias se obtiene un mayor rendimiento de las variables que más preocupan al productor, la tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia [16, 29]. Por otra parte, en cuanto a la calidad de la carne proveniente de animales implantados, existe controversia ya que se ha encontrado que existe una notable disminución de la ternera [4, 23], contrario a lo observado en otras investigaciones [5, 8]. Además, varios autores mencionan [4, 20, 26], que al aplicar estrategias de implantación agresivas como la utilización de dosis altas, reimplantaciones o la aplicación de ciertos compuestos, la disminución de la ternera es mayor. Con todo esto, la calidad total de la carne puede verse demeritada, ya que la ternera es una de las características de mayor preocupación para el consumidor, teniendo una mayor preferencia por aquellas carnes que son “tiernas” [27].

Sin embargo, el aumento de la dureza de la carne provocado por el sistema de producción utilizado, puede ser disminuida por procesos naturales en la carne durante su almacenamiento. Estos procesos son conocidos como maduración o “tenderización”, en el cual los sistemas enzimáticos proteolíticos actúan sobre las estructuras musculares para provocar un aumento en la ternera [12].

Actualmente existe poca información sobre los cambios producidos en las características de calidad de la carne ovina por el uso del implante zeranol, además hay escasa o nula evidencia sobre el origen del aumento o disminución de la ternera. Igualmente hay poca información sobre los posibles cambios durante su almacenamiento. En consecuencia, el conocimiento sobre la maduración de la carne de animales implantados será de utilidad para la elección de la estrategia de implantación por parte de los productores y si la maduración es una opción para la industria frigorífica para mejorar la ternera.

En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto de la estrategia de implantación con zeranol sobre la calidad de la carne de corderos de pelo durante su maduración.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Animales y Tratamientos**

Se utilizaron 32 corderos de pelo, machos enteros de cruza comerciales de Dorper x Pelibuey ( $21.3 \pm 1.53$  kg de peso vivo y 60 d de edad), los cuales fueron asignados al azar dentro de cuatro tratamientos para realizar la prueba de comportamiento productivo (cada tratamiento constituido por 8 animales). Los tratamientos fueron: C (control, 0 mg de zeranol); Z12 (12 mg de zeranol, Ralgro®, Intervet Schering-Plough Animal Health); Z24 (24 mg de zeranol en una sola aplicación), y RZ12 (12 mg de zeranol en dos aplicaciones). Los corderos fueron implantados a los 12 días antes de iniciar la prueba de comportamiento productivo y los animales del tratamiento RZ12 fueron reimplantados 28 días de iniciado el experimento. Todos los animales, recibieron la misma dieta basal balanceada en base a los requerimientos de nutrientes para obtener una ganancia diaria de 220 g/animal durante toda la etapa de finalización [19]. Durante los 15 días previos a la prueba experimental, los corderos fueron adaptados a una dieta con una relación forraje:concentrado de 20:80. La prueba de comportamiento se realizó en los corrales de producción ovina de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua en México.

De la prueba de comportamiento productivo sólo 16 animales fueron seleccionados aleatoriamente ( $n= 4$  por tratamiento) para el estudio de calidad de la carne. Los animales fueron sacrificados a un peso vivo promedio de 40 Kg, siguiendo la Normatividad vigente. A las 24 h *posmortem* las canales se diseccionaron y se separó el músculo *m. Longissimus dorsi* (LD), el cual fue empacado al vacío y congelado inmediatamente a  $-20$  °C. Las

muestras se trasladaron al Laboratorio de Investigación en Productos Cárnicos localizado en el Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., en Hermosillo, Sonora, México para sus posteriores análisis. Para llevar a cabo la maduración del músculo LD, éste se almacenó (empacado al vacío) en una cámara de refrigeración con temperatura controlada a 4° C por 14 días. Cada 7 días de almacenamiento se realizaron los análisis de pérdida de peso por cocinado, índice de fragmentación miofibrilar y esfuerzo al corte en cocinado.

### **Pérdida de Peso por Cocinado (PPC)**

La pérdida de peso por cocinado fue determinada calculando la diferencia de los cortes del músculo LD antes y después de ser cocinados en un sartén eléctrico (Cook Master Ester, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canada) hasta alcanzar una temperatura interna de 71° C [1]. La pérdida de peso por cocinado es un parámetro utilizado para medir la estabilidad de la carne a la cocción. Cuando es alta la liberación de fluido (agua: componentes solubles y grasa), la estabilidad es baja y la PPC es alta.

### **Índice de Fragmentación Miofibrilar (IFM)**

El análisis de IFM se realizó mediante la metodología descrita por Culler *et al.* [3]. Ésta determinación consistió en homogenizar 100 g de carne para obtener una muestra de 4 g y someterla a dos lavados procedida de una centrifugación con solución buffer a un pH de 7 (100 mM KCl, 20 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> y K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1 mM EGTA, 1 mM MgCl<sub>2</sub> y 1mM NaN<sub>3</sub>. A la solución obtenida se le cuantificó la concentración de proteína por el método de Biuret [3] para estandarizar la relación de proteína en todas las muestras (0.5 mg de proteína/ mL de solución buffer). Una vez obtenida la concentración de proteína, se realiza la cuantificación de IFM a través de la absorbancia de la muestra en un espectrofotómetro una longitud de onda de 545 nm. Para obtener el valor de IFM, el valor de absorbancia obtenida



se multiplicó por 200. Adicionalmente, se obtuvieron las imágenes de la suspensión obtenida para la cuantificación del IFM. Para obtener las imágenes que ilustran la fragmentación miofibrilar, se prepararon unas laminillas conteniendo unas gotas de la suspensión con una relación 1:4 (suspensión: buffer IFM). Las laminillas fueron montadas para su observación en un microscopio óptico marca OLYMPUS modelo CX31 (Tokio, Japón), utilizando el objetivo de inmersión (1000X) y con iluminación de contrastes de fases. El microscopio estuvo provisto de una cámara digital (marca MediaCybernetics modelo CoolSNAP-Pro-cf Color, Bethesda, MD. USA) conectada a una computadora conteniendo los software procesadores de imágenes R. S. Image (Photometrics, Tucson AZ, USA) e Image Pro Plus 7.0 (MediaCybernetics, Bethesda, MD. USA). Una vez que las suspensiones fueron enfocadas en el microscopio, se tomó y registró la fotografía de la imagen con ayuda del software R. S. Image. Se tomaron fotografías representativas de los tratamientos a cada tiempo de maduración.

### **Evaluación del Esfuerzo al Corte Warner-Bratzler (EC)**

Para la evaluación del esfuerzo al corte Warner-Bratzler (EC), se utilizó un texturómetro Texture Analyzer T.A.X.T. Plus. Los músculos LD y BF fueron acondicionados para la posterior medición del EC en carne cocinada y ésta consistió en: obtener cortes de 2,5 cm de grosor, los cuales fueron cocinados en un sartén eléctrico (Cook Master Ester, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canada) hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C, la cual fue monitoreada por un termopar tipo T conectado a un lector de temperatura (Barnant CO. model 692-0000, Barrington Ill, USA). Una vez cocinadas, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente (25 a 30°C) y refrigeradas a 4°C por 24 h. Posteriormente, la carne se cortó en trozos de un centímetro de ancho por

tres de largo, en dirección longitudinal a las fibras musculares. El EC se midió perpendicularmente a las fibras musculares, utilizando el accesorio cortador Warner-Bratzler montado en el equipo, el cual fue calibrado a una velocidad de cabezal de 1.6 mm por segundo y una fuerza de compresión de 50 Kg. El valor de EC fue expresado en kilogramos fuerza (KgF). Se realizaron al menos 6 repeticiones por unidad experimental.

### **Análisis Estadístico**

Los valores obtenidos de todas las determinaciones fueron analizadas mediante un análisis de varianza de dos vías, donde los efectos principales fueron: factor implante (IMP) con 4 niveles (C, Z12, Z24 y RZ12) y el factor tiempo de maduración (MAD) con 3 niveles (0, 7 y 14 días). Se estimaron significancias a un nivel de probabilidad en el error tipo I de 0,05. Cuando existió efecto de los factores o de su interacción, se realizaron comparaciones de medias a través de la prueba de rango múltiple de Tukey Kramer. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS [18].

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

La pérdida de peso por cocinado, el esfuerzo al corte y el índice de fragmentación miofibrilar se muestra en la TABLA I.

La pérdida de peso por cocinado fue afectado por los tratamientos, encontrándose efecto de la interacción IMP x MAD ( $P < 0,05$ ). Al día 0 se observó que la carne proveniente de los tratamientos C y Z24 perdieron mayor porcentaje de peso (22,75 % y 25,11 %, respectivamente) y los de menor pérdida fueron los tratamientos Z12 y RZ12. Sin embargo, durante el tiempo de maduración las posteriores mediciones se mantuvieron constantes en la carne de los tratamientos C, Z24 y RZ12, encontrándose una pérdida promedio de 17,34 %. Para el caso del tratamiento Z12 se observó una disminución de la PPC, presentando un valor de 13,48 % a los 14 días de almacenamiento. Así mismo, los valores de PPC

observados son bajos y similares a lo reportado por Sañudo *et al.*, [23] y González-Ríos [6]. Además, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de PPC para mantener las características de calidad de la carne [17].

El IFM sólo fue afectado por los factores principales IMP y la MAD ( $P < 0,05$ ). El tiempo de maduración aumentó este índice de un 73,41 en el día 0 a un 81,16 en el día 14. Se encontró que al día 7 la carne presentó un aumento del 3 % en el IFM. En el caso del factor implantación, se observaron los valores más altos y similares entre sí en los músculos de los tratamientos C y Z12 (89,15 y 85,98). El tratamiento Z24 presentó un valor de 75,99 el cual fue diferente ( $P < 0,05$ ) a todos los tratamientos y en la carne del grupo RZ12 se encontraron los valores más bajos con un índice de 55,44, el cual fue diferente ( $P < 0,05$ ) a todos los tratamientos.

Con respecto a las observaciones microscópicas de las miofibrillas apoyadas en el método de Culler *et al.*, [3], se realizó un patrón fotográfico con las imágenes más representativas de los tratamientos a cada tiempo de maduración (FIGURA 1). En este patrón fotográfico se observa que durante el tiempo de maduración hay una mayor fragmentación miofibrilar, ya que se encontró en el campo visual fragmentos menores a 5 sarcómeros [25] respecto a lo encontrado en todos los tratamientos en el día 0. Por otra parte, en cuanto la implantación, los mayores cambios se observaron al día 14. En estas fotografías se observa que los tratamientos C, Z12 y Z24 presentaron mayor fragmentación, contrario al tratamiento RZ12. Lo anterior, concuerda con los resultados encontrados en la medición del IFM, donde el tratamiento RZ12 obtuvo el menor índice.

Para el EC, se encontró efecto de los factores principales MAD y IMP ( $P < 0,05$ ). En el caso de lo observado a través de los días de maduración, se encontró que el EC disminuyó

30 % en los primeros 7 días, estos valores se mantuvieron constantes hasta el día 14 de maduración en refrigeración.

Por otro lado, en cuanto al uso de la implantación, las diferencias se presentaron entre la carne de los tratamientos C y Z12 (5,78 KgF y 4,19 KgF), obteniendo valores similares de EC en los tratamientos Z24 y RZ12 (media, 4,49 KgF).

Durante el tiempo de maduración o añejamiento de la carne ocurren dos procesos diferenciados. Por un lado ocurre el fenómeno bioquímico identificado como proteólisis *posmortem* el cual está regulado principalmente por el sistema enzimático de las calpaínas-calpastatinas [27]. Al mismo tiempo ocurren fenómenos físicos estructurales, los cuales están asociados con la pérdida de humedad, la cual puede ser acrecentada durante el cocinado de la carne dependiendo del método utilizado [21]. Ambos procesos, pueden tener efectos sobre la calidad final de la carne.

La proteólisis *posmortem* es conocida como un factor clave durante la maduración de la carne bajo condiciones de refrigeración [12]. Este sistema enzimático involucrado con la degradación de miofibrillas se correlaciona positivamente con el índice de fragmentación miofibrilar [30].

En tal sentido, la carne de los animales implantados de este experimental no presentó un efecto negativo sobre el IFM. En el estudio realizado por Kerth *et al.*, [9], no se observaron cambios en el IFM al utilizar dos implantes en la producción de bovinos (benzoato de estradiol más progesterona), reportándose una media más baja de IFM (67,14) a los 14 días de maduración respecto a los resultados encontrados para el mismo día en el presente estudio (81.16).

El almacenamiento *posmortem* de la carne a temperaturas por arriba del punto de congelación para mejorar la terneza de la carne ha sido establecido. En este sentido

Lorenzen *et al.*, [14], menciona que 14 días de maduración *posmortem* maximizan la ternura de la carne para su comercialización. Sin embargo, para el presente estudio a partir de 7 días de maduración fueron suficientes para mejorar la ternura de la carne. Además, se observó que en general a los 7 días de almacenamiento se obtuvo un valor medio de 4,03 KgF. Tal como lo afirman Miller *et al.*, [15] en su evaluación nacional de consumidores de carne de Estados Unidos para conocer la ternura de la carne de res clasificada, este valor corresponde a carnes que tienen entre el 86 y 94 % de aceptación por parte del consumidor. Estos mismos autores reportan valores de EC de 3 a 4,3 KgF para carnes con 7 días de maduración, los cuales son similares a los encontrados en nuestro estudio para el mismo día de almacenamiento. Barham *et al.*, [2], en un estudio para conocer la influencia de los implantes hormonales sobre la percepción de ternura de los consumidores de carne, reportaron que no hubo efectos en el esfuerzo al corte a los 21 días de maduración al utilizar estrategias de implantación moderadas. Por otro lado, cabe destacar que la implantación no fue un factor perjudicial en el EC de la carne, ya que la media de los grupos con implante fue menor respecto a la carne del grupo control.

En el estudio realizado por Kerth *et al.*, [9], se encontró que los cortes provenientes de animales implantados tendieron a ser menos “tiernos”, lo cual no concuerda con el presente trabajo. Así mismo, ellos hipotetizan que el mecanismo por el cual la implantación incrementa la musculatura del animal, es causado por una disminución de la degradación proteica. Ésta degradación *antemortem* puede reducir el efecto de la proteólisis *posmortem* durante la maduración.

En el caso del presente estudio, la proteólisis *posmortem*, evaluada a través del EC e IFM no se vio disminuida. Por lo que una posible explicación de los efectos observados es lo que sucede en los animales *Belgian Blue* doble musculatura [20], donde la doble

musculatura es debida a mutación del gen miostatina. Esta, se encarga de la regulación de las células satélites (producción de nuevas miofibrillas), al verse afectada la expresión de la miostatina, su regulación se interrumpe existiendo un incremento en la producción y tamaño de nuevas células musculares (hiperplasia e hipertrofia muscular, respectivamente). Además, estos cambios se han asociado con una disminución del esfuerzo al corte en los músculos provenientes de animales con la mutación del gen miostatina. En este sentido, lo observado por los autores Thomas *et al.*, [28], quienes evaluaron la influencia del zeranol en la síntesis y secreción de la hormona del crecimiento por la glándula pituitaria, encontraron que la implantación de zeranol a corderos en diferentes periodos produjo un aumento en la síntesis y secreción de la hormona del crecimiento, así como una mayor producción del factor del crecimiento IgF-I. Siendo este último causante también de la formación y crecimiento de nuevas miofibrillas [24]. De la misma forma, Kitts [11] observó resultados similares en cuanto a síntesis y secreción de la hormona del crecimiento al implantar a novillos.

Debido a que no se presentó un efecto negativo sobre el IFM, se puede descartar los fenómenos observados por Kemp *et al.*, [10]. Estos autores mencionan, que en ovinos se ha observado una disminución en la ternura (aumento de la dureza) de la carne atribuidas a la presencia del gen *callipyge* (o conocidos como animales de doble musculatura), y que este incremento en la dureza se atribuye a la alta actividad de la enzima calpastatina en el músculo del animal con gen *callipyge*. Lo anterior altera la tasa y extensión de la proteólisis *posmortem* producida por el sistema calpaína. Debido a esto, existe una reducción en la degradación miofibrilar *posmortem*, ya que el sistema calpastatina regula la actividad de las calpaínas [8].

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La inconsistencia en la terneza de la carne es la mayor causa de rechazo por parte del consumidor, resultando por lo tanto en un aspecto importante para la investigación y mejoramiento de la misma. Sin embargo existen muchos factores que producen tal variación. Un ejemplo de esto es la manipulación del crecimiento a través de implantes hormonales, si bien se obtienen efectos positivos en la tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia, y eficiencia alimenticia, varios autores señalan su efecto negativo sobre el esfuerzo al corte. Por otra parte, en base a los resultados del presente trabajo, se llegó a la conclusión de que el implante zeranol no afectó negativamente la terneza de la carne, existiendo una tendencia similar en el índice de fragmentación miofibrilar. Lo cual indica, que la carne proveniente de animales implantados con zeranol, durante su maduración tiene un comportamiento similar a los animales no implantados, por lo que no se presentaron problemas de pérdida de la calidad. En cuanto a la estrategia de implantación, la mejor fue el empleo de 12 mg de zeranol. Por lo anterior se recomienda el uso de estas tecnologías para el sistema de producción ovina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMSA. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. American Meat Science Association. U. S. A. 1995.
- [2] BARHAM, J.C.; BROOKS, B.L.; BLANTON, J.R.; HERRING, A.D.; CARR, M.A.; KERTH C.R.; MILLER M.F. Effects of growth implants on consumer perceptions of meat tenderness in beef steers. **J. Anim. Sci.** 81:3052-3056. 2003.

- [3] CULLER, R.D.; PARRISH, F.C.; SMITH, JR.G.C.; CROSS, H.R. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine *longissimus* muscle. **J. Food Sci.** 43:1177–1180. 1978.
- [4] DIKEMAN, M.E. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. **Meat Sci.** 77: 121–1351. 2007.
- [5] FOUTZ, C.P.; DOLEZAL, H.G.; GARDNER, T.L.; GILL, D.R.; HENSLEY, J.L.; MORGAN, J.B. Anabolic implant effects on steer performance, carcass traits, subprimal yields, and longissimus muscle properties. **J. Anim. Sci.** 75:1256-1265. 1997.
- [6] GONZALEZ-RIOS, H. Manipulación del comportamiento productivo, la calidad de la canal y la carne de corderos de pelo en confinamiento, mediante la castración y un promotor del crecimiento. [DPh thesis]. Chihuahua, Chihuahua México. Universidad Autónoma de Chihuahua. 197 p. available from: Universidad autónoma de Chihuahua. 2009.
- [7] GERKEN, C.L; TATUM, J.D.; MORGAN, J.B.; SMITH, G.C. Use of genetically identical (clone) steers to determine the effects of estrogenic and androgenic implants on beef quality and palatability characteristics. **J. Anim. Sci.** 73:3317–3324. 1995.
- [8] HARPER, G. S.; MCKAY, M. E.; TAYLOR, M.; REVERTER-GOMEZ, T.; ALLINGHAM, P. G.; SEYMOUR, R. Fascicular structure as a quantitative trait for bovine and ovine skeletal muscles. **J. Anim. Sci.** 87: 136. 2004.
- [9] KERTH, C.R.; MONTGOMERY, J.L.; MORROW, K.J.; GALYEAN, M.L.; MILLER, M.F. Protein turnover and sensory traits of *longissimus* muscle from implanted and nonimplanted heifers. **J. Anim Sci.** 81:1728-1735. 2003.
- [10] KEMP, C.M.; KING, D.A.; SHACKELFORD, S.D.; WHEELER T.L.; KOOHMARAIE, M. The caspase proteolytic system in callipyge and normal lambs in



longissimus, semimembranosus, and infraspinatus muscles during postmortem storage. **J. Anim. Sci.** 87:2943-2951. 2009.

[11] KITTS, S.E. Effects of adipogenic compounds on growth performance and fat deposition in finishing beef steers. [Doctoral Dissertations]. Lexington, Kentucky, USA. University of Kentucky. 136 p. [http://uknowledge.uky.edu/gradschool\\_diss/136](http://uknowledge.uky.edu/gradschool_diss/136). 2011. 2011.

[12] KOOHMARAIE, M. Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle mu-Calpain. **J. Anim. Sci.** 70: 3071-3080. 1992.

[13] LISTRAT, A.; HOCQUETTE J.F. Analytical limits of total and insoluble collagen content measurements and type I and III collagen analysis by electrophoresis in bovine muscles. **Meat Sci.** 68: 127-136. 2004.

[14] LORENZEN, C. L.; WEATHERLY, B.H.; SAVELL, J.W. 1998. Determination of an aging index. A final report to the Texas Beef Council, Austin, from the Meat Science Section, Department of Animal Science, Texas A&M University, College Station.

[15] MILLER, M.F.; CARR, M.A.; RAMSEY, C.B.; CROCKETT, K.L.; HOOVER, L.C. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. **J. Anim. Sci.** 79:3062-3068. 2001.

[16] MONSON, F.; SAÑUDO, C.; BIANCHI, G.; ALBERTI, P.; HERRERA, A.; ARIÑO A. Carcass and meat quality of yearling bulls as affected by the use of clenbuterol and steroid hormones combined with dexamethasone. **Journal of Muscle Foods.** 18: 173–185. 2007.

- [17] MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P.E.; HUGO, A.; RAATS, J.G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health. **Food Chem.** 112:279–289. 2009.
- [18] NCSS. Number Cruncher Statical System. **Users Guide**. N.C, USA. 2001.
- [19] NRC. Nutrient Requirements of Sheep. 6th ed. Nat. Acad. Press. Washington. D.C. 1985.
- [20] OLIVAN, M.; MARTINEZ, A.; KOLDO, O.; SAÑUDO, C.; PANEA, B.; OLLETA, J.L.; CAMPO, M.M.; OLIVER, M.A.; SERRA, J.; GIL, M.; PIEDRAFITA, J. Effect of muscular hypertrophy on physico-chemical, biochemical and texture traits of meat from yearling bulls. **Meat Sci.** 68: 567-575. 2004.
- [21] RESURRECCIÓN, A.V.A. Cookery of Muscle Foods. En: Muscle Foods. Meat Poultry and Seafood Technology. Eds. D.M. Kinsman, A.W. Kotula, B.C. Breidenstein. Chapman & Hall, New York. 1994.
- [22] ROEBER, D.C.; CANELL, R.C.; BELK, K.E.; MILLER, R.K.; TATUM, J.D.; SMITH, G.C. Implant strategies during feeding: impact on carcass grades and consumer acceptability. **J. Anim. Sci.** 78:1867-1874. 2000.
- [23] SAÑUDO, C.; SANTOLARIA, P.; MARIA, G.; OSORIO, M.; SIERRA, I. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive productions systems. **Meat Sci.** 42:195-202. 1996.
- [24] SCANES, C.G. 2003. Biology of growth of domestic animals 4ta edition. Iowa State press, 2003. ISBN:978-0-8138-2906-7.
- [25] SHIMADA K; TAKAHASHI, K. Relationship Between Fragmentation of Myofibrils and Liberation of Phospholipids from Z-Disks Induced by Calcium Ions at 0.1 mM:

Mechanism of Tenderization of Pork and Beef during Postmortem Aging. **J. Food Sci.** 68: 2623-2629.

[26] STINE, H.; THERKILDSEN, M.; BYRNE, D.V. Effects of a compensatory growth strategy on sensory and physical properties of meat from young bulls. **Meat Sci.** 74: 628–643. 2006.

[27] TE PASS, M.F.W.; EVERST, M.; HAAGSMAN, H.P. Post-mortem muscle proteolysis and meat tenderness. Chapter 17. In: Hopkins, L.D. and Taylor, R.G. (Eds) Muscle Development of Livestock Animals. **Physiology, Genetic and Meat Quality**, Ed. CABI publishing, Cambridge, MA. Pp 363-381. 2004.

[28] THOMAS, M.G.; CARROLL, J.A.; RAYMOND, S.R.; MATTERI, R.L.; KEISLER, D.H. Transcriptional regulation of pituitary synthesis and secretion of growth hormone in growing wethers and the influence of zeranol on these mechanisms. **Domest. Anim. Endocrinol.** 18:309–324. 2003.

[29] WATSON, R. Meta-analysis of the published effects of HGP use on beef palatability in steers as measured by objective and sensory testing. **Aust. J Exp. Agric.** 48: 1425–1433. 2008.

[30] WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.F.; CROUSE, HUNT, M.C.; KLEMM, R.D. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in Bos Taurus and Bos indicus cattle. **J. Anim. Sci.** 68: 2716-2728. 1990.

**TABLA I**  
**PÉRDIDA DE PESO POR COCINADO, ESFUERZO AL CORTE E ÍNDICE DE**  
**FRAGMENTACION MIOFIBRILAR DEL MÚSCULO *m. Longissimus dorsi* DE**  
**CORDEROS DURANTE LA MADURACIÓN**

Variables	Día	Tratamientos <sup>1</sup>				EEM <sup>2</sup>
		C	Z12	Z24	RZ12	
PPC <sup>3</sup>	0	22,73 <sup>bc</sup>	16,84 <sup>abc</sup>	25,11 <sup>c</sup>	13,65 <sup>a</sup>	1,66
	7	19,81 <sup>abc</sup>	17,98 <sup>abc</sup>	17,95 <sup>abc</sup>	17,56 <sup>abc</sup>	1,66
	14	19,81 <sup>abc</sup>	13,48 <sup>a</sup>	16,84 <sup>abc</sup>	15,10 <sup>ab</sup>	1,66
IFM <sup>4</sup>	0	84,43 <sup>c</sup>	81,83 <sup>c</sup>	74,68 <sup>b</sup>	52,70 <sup>a</sup>	3,73
	7	89,11	82,85	75,2	54,25	3,73
	14	93,91	93,27	78,1	59,38	3,73
EC <sup>5</sup>	0	7,53 <sup>a</sup>	4,86 <sup>b</sup>	5,08 <sup>ab</sup>	5,49 <sup>ab</sup>	0,74
	7	5,37	3,66	3,98	3,11	0,74
	14	4,45	4,06	4,54	4,74	0,74

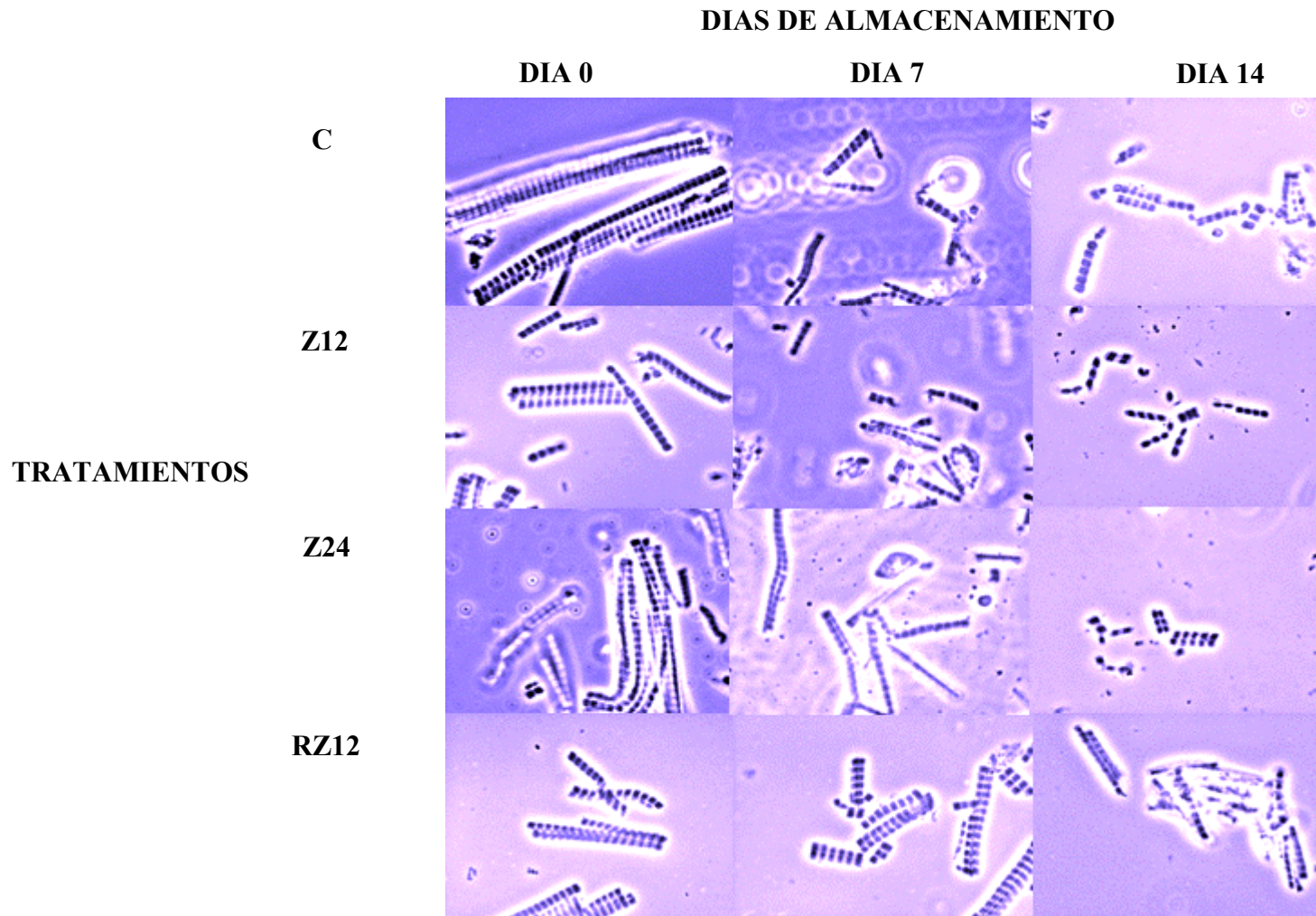
<sup>1</sup> C, Control; Z12, implantados con 12 mg de Zeranol; Z24, implantados con 24 de Zeranol; RZ12, Implantados y reimplantados con 12 mg de Zeranol.

<sup>2</sup> EEM, error estándar de la media.

<sup>3</sup> PPC, pérdida de peso por cocinado expresado en %; <sup>abc</sup>, diferente literal en columna y fila indica diferencia significativa de la interacción (P < 0,05).

<sup>4</sup> IFM, índice de fragmentación miofibrilar; <sup>abc</sup>, diferente literal en fila, indica diferencia significativa de solo el factor implante.

<sup>5</sup> EC, esfuerzo al corte expresado en KgF; <sup>abc</sup>, diferente literal en fila, indica diferencia significativa de solo el factor implante.



**FIGURA 1.** FOTOGRAFIAS CAPTURADAS DURANTE EL TIEMPO DE MADURACIÓN DEL MUSCULO *m. Longissimus dorsi* DE CORDEROS DE PELO POR TRATAMIENTO (MICROSCOPIO DE CONTRASTE DE FASES, 1000x).

**CAPÍTULO III: CHANGES IN INTRAMUSCULAR FAT, FATTY ACID PROFILE  
AND CHOLESTEROL CONTENT INDUCED BY ZERANOL IMPLANTATION  
STRATEGY IN HAIR LAMBS**

Nidia V Valenzuela-Grijalva<sup>a</sup>, Humberto González-Rios<sup>a</sup>, Thalia Y. Islava<sup>a</sup>, Martin Valenzuela<sup>a</sup>, Gastón Torrescano<sup>a</sup>, Juan P Camou<sup>a</sup>, and Francisco A Núñez-González<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304.

<sup>b</sup>Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México.

85000

Preparado conforme el formato de envío de la revista

**Journal of the Science of Food and Agriculture**

**Changes in intramuscular fat, fatty acid profile and cholesterol content induced by zeranol implantation strategy in hair lambs**

**Running Title: Zeranol Implant on fatty acid profile in lambs**

Nidia V Valenzuela-Grijalva<sup>a</sup>, Humberto González-Ríos<sup>a,\*</sup>, Thalia Y. Islava<sup>a</sup>, Martin Valenzuela<sup>a</sup>, Gastón Torrescano<sup>a</sup>, Juan P Camou<sup>a</sup>, and Francisco A Núñez-González<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo Sonora, México. 83304.

<sup>b</sup>Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México. 85000.

\*Correspondence to: Humberto González-Ríos, Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México. 83304.

E-mail: hugory@ciad.mx

Area: Agricultural Production

## **Abstract**

**BACKGROUND:** The effect of zeranol implantation strategy on intramuscular fat, fatty acid profile and cholesterol content of the *Longissimus dorsi* muscle of hair lambs was studied. Four treatments were tested: C - control group; Z12 - 12 mg of zeranol; Z24 - 24 mg of zeranol in a single application and RZ12 - 12 mg of zeranol given twice. One-way ANOVA was employed to estimate the effect of treatments ( $P < 0.05$ ). To separate the effect of the mean, orthogonal contrasts were tested: C1, C vs. Z12 + Z24 + RZ12; C2, Z12 vs. Z24 + RZ12 and C3, Z24 vs. RZ12.

**RESULTS:** A decrease ( $P < 0.05$ ) in intramuscular fat content was observed from implanting (C1 effect) and zeranol reimplantation (C3 effect). Implanted lambs exhibited an increase ( $P < 0.05$ ) in MUFA compared with control group (40.60% vs. 35.35%). All contrasts were significant for the sum of n-6 and n-3, with values lower ( $P < 0.05$ ) in the control (n-6: 0.84% and n-3: 1.38%) and higher in the RZ12 treatment (n-6: 7.55% and n-3: 14.9%). The cholesterol decreased by 78% with the implantation and increasing the dose.

**CONCLUSION:** The results indicate that it is possible to induce favorable changes in the fatty acid profile and cholesterol content using a zeranol implantation strategy on hair lambs.

**Keywords:** zeranol, implantation strategy, fatty acid profile, cholesterol and lamb meat.

## **INTRODUCTION**

An important segment of meat consumers not only consider the meat's taste, but now seek to consume low-fat meat with a high content of poly- and monounsaturated fatty acids (PUFA and MUFA, respectively), in particular, the omega-3 (n-3) fatty acids.<sup>1</sup> These fatty



acids, because of their PUFA and MUFA components, are beneficial for human health. On the other hand, the high consumption of saturated fatty acids (SFA) in the diet has been associated with the development of cardiovascular diseases.<sup>2</sup> Therefore, the London Department of Health evaluated the fat in foodstuffs by the nutrient ratios of PUFA/SFA and n-6/n-3 (the omega ratio) and suggests values of 0.45 to 0.65 for the first ratio and values not exceeding 4.0 for the second ratio.<sup>3</sup>

Unfortunately, the meat of ruminants has been criticized for its high content of saturated fatty acids and low level of MUFA and PUFA.<sup>4</sup> Therefore, beginning approximately two decades ago, the meat industry has investigated new technologies derived from animal production that promote a decrease in the content of fat and cholesterol and an increase in the intramuscular deposition of poly- and monounsaturated fatty acids.<sup>1</sup> An example of this is the change in animal diet regimen that caused a greater proportion of PUFA and MUFA to appear in the intramuscular fat of grain-fed beef than in that of grass-fed beef.<sup>5-6</sup>

In addition to changes in the feeding system, there are other technologies, such as hormonal implants, which are used in animal production with the dual purpose of both increasing growth rates and feed efficiency and decreasing levels of intramuscular fat.<sup>7</sup> Hormonal implants are commonly employed by beef producers to promote growth and improve feed efficiency by up to 30%.<sup>8-9</sup>

In the system of beef cattle production, significant research has been conducted to improve the animals' anabolic responses and, thus, increase the animals' growth and feed efficiency. The meat industry is currently investigating this improvement and has recently begun to optimize the quality characteristics of the carcass through the establishment of implantation strategies,<sup>10-11</sup> as applying hormonal implants in animal production causes a decrease of

more than 8% in the carcass's value.<sup>12</sup> This result may have consequences for the commercial value of meat due to changes in the meat's sensory characteristics such as taste and tenderness.<sup>13</sup>

The few available reports on the influence of growth-promoting implants on the fatty acid profile of meat are largely inconclusive. In beef, prior studies have found that implantation with zeranol causes some changes in the fatty acid profile and the content of intramuscular cholesterol.<sup>14-15</sup> For lambs, a single report<sup>16</sup> evaluated the effect of sexual condition and zeranol implantation, noting that major changes were due to sexual class, not to zeranol.

Therefore, to address these gaps in the literature, this research aims to evaluate the effect of the strategy of implantation with zeranol (at various dosages) on the intramuscular fat content, fatty acid profile and cholesterol content in the *longissimus dorsi* muscle of hair lambs.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Animals and experimental treatments**

Thirty-two weaned, intact, commercial crossbred (Dorper x Blackbelly) hair lambs with initial weights of  $21.3 \pm 1.53$  kg and ages of 60 d were randomly assigned to one of four treatments (each treatment including 8 animals) for the performance trial. Treatments were C (control, 0 mg of zeranol); Z12 (12 mg of zeranol, Ralgro®, Intervet Schering-Plough Animal Health); Z24 (24 mg of zeranol in a single application), and RZ12 (12 mg of zeranol given twice). Lambs were implanted 12 d before the start of the experiment, and animals of the RZ12 group underwent reimplantation 28 d after starting the experiment. All animals received the same diet, which was composed of a 20:80 forage:concentrate ratio and balanced for a daily gain of 220 g/animal in each of the growth stages. During the 15 d of the adaptation period, lambs were slowly adapted to the diet. The performance trial was

conducted in sheep production pens of the Animal Science School of the Universidad Autónoma de Chihuahua.

Upon reaching the slaughter weight endpoint (40 kg), the animals were slaughtered at the meat lab of the Animal Science School of the Universidad Autónoma de Chihuahua following the conventional procedures. At 24 h *postmortem*, *m. longissimus dorsi* (LD) were removed from the left side of 16 carcasses (randomized, n= 4 carcass per treatment), frozen-dried at -20° C under vacuum and ground for further analysis in the Research Laboratory of Meat Products located in CIAD A.C. (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.) at Hermosillo, Sonora, México.

#### **Intramuscular fat content**

The intramuscular fat content was obtained following method 960.39 of AOAC.<sup>17</sup>

#### **Lipid extraction for fatty acid determination**

The lipid fractions of each sample were recovered using an adaptation of the method described by Bligh and Dyer.<sup>18</sup> Approximately 20 g (rounded to the nearest 1 mg) of freeze-dried and milled meat samples were added to a beaker with 40 ml of a 2:1 (v/v) chloroform:methanol solution. The mixture was then filtered through a sheet of Whatman No. 541 paper, and the filtrate was recovered in a 100 ml graduated cylinder. The extraction procedure was repeated, and the two filtrates were combined. Next, 20 ml of 0.37% KCl was added to the pooled filtrates. After 8 h, the top (aqueous) layer was decanted, and the organic layer was transferred to a volumetric flask. The chloroform:methanol solution was added to the organic layer to reach a final volume of 100 ml.

#### **Methylation of fatty acids**

The analysis of fatty acid methylation was performed according to the method of Park and Goins.<sup>19</sup> First, 5 to 10 ml of the lipid extraction was dried at 40 °C in a rotary evaporator

under a vacuum. The lipid residue was washed in a glass vial with 10 ml of heptane, and 0.5 ml of 2 M  $\text{dm}^{-3}$  methanolic KOH solution was added. The vial was gently mixed and allowed to stand for approximately 4 min. The upper layer was then removed for fatty acid determination by gas chromatography. The fatty acid proportions of phospholipids and triglycerides were not measured as separate fractions. Only the upper phase was removed by pipette for fatty acids methyl esters (FAME) extraction and immediately analyzed or frozen for further analysis.

### **Fatty acids profile analysis**

The FAME fatty acids composition was analyzed by gas chromatography using a Hewlett Packard 6890 Series machine with a flame ionization detector (FID) and a 6890 auto-sampler. A Supelco SP2560 (0.25 mm x 100 m, 0.20  $\mu\text{m}$  film width) melted-capillary, silicon-based column was used. The oven temperature was programmed from an initial temperature of 150°C (20 min) to a final temperature of 220°C at the rate of 5°C/min. Injector temperature was set at 250°C, and flame ionization detector temperature was adjusted to 300°C. The chromatograms were recorded and downloaded using the ChemStation software. Tridecanoic acid (13:0 Sigma-Aldrich, Missouri, USA) was used as the internal standard. The identification of fatty acids was performed according to their retention times and the elution patterns. The total amounts of SFA, MUFA, PUFA, TFA (*trans* fatty acids) and CFA (*cis* fatty acids) were calculated, as well as the PUFA/SFA and the n-6/n-3 ratios.

### **Cholesterol extraction**

A technique originally reported by Thompson and Merola<sup>20</sup> was used to extract and quantify cholesterol. First, 5 to 8 ml of the lipid extract was vaporized in a water bath at a

temperature below 40 °C. The residue was weighed until it reached  $100 \pm 0.05$  mg of fat. Then, 200  $\mu$ l of a 1 mg/ml coprostane internal standard (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) in ethanol was added to the residue, followed by 8 ml of 3% ethanol pyrogagol and 0.5 ml of KOH (1.5 g/ml). The samples were then placed in a water bath at 80 °C for 8 min. After cooling to room temperature, 12 ml of water and 20 ml of cyclohexane were added to the samples. Then, 17 ml of supernatant was removed and dissolved in 500 ml of a derivatizing agent (bis-trimethylsilyl-trifluoride acetamide, Sigma-Aldrich, Missouri, USA), and 100- $\mu$ l aliquots were removed. To obtain a diluted sample (with a 2.5 dilution factor) for further analysis, 150  $\mu$ l of cyclohexane was added.

#### **Cholesterol determination**

Cholesterol content was quantified by gas chromatography using a Hewlett Packard 6890 Series chromatographer with an FID and a 6890 auto-sampler. A cyano-propyl-phenyl-methyl-polysiloxane capillary silicon-based column was used at 6% (Hewlett Packard 19091; 0.25 mm x 30 m, 0.15  $\mu$ m film). The oven was set at 260 °C, and the temperature of the injection port and detector were maintained at 330 °C. The chromatograms were recorded using the ChemStation software.

A standard curve was constructed to quantify the concentration of cholesterol using a 1 mg/ml stock solution of cholesterol in ethanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA); 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 or 1.2 ml were added to tubes that were placed in a water bath at a temperature between 35 °C and 40 °C. Then, 0.5 ml of derivatizing agent and 150  $\mu$ l of cyclohexane were added to each sample. The samples were then injected into the chromatograph. Chromatograms for each dilution were obtained, and the cholesterol content was reported as cholesterol mg g<sup>-1</sup> fresh tissue.

## **Statistical analysis**

Intramuscular fat, fatty acid profile and cholesterol content data were analyzed by one-way ANOVA in which the treatment (dose and reimplantation) was the main effect. Significance was estimated at a 0.05 probability level in error type I. Mean comparisons were performed by orthogonal contrast. The following orthogonal contrasts were tested: C1 (contrast 1): C vs. Z12 + Z24 + RZ12; C2 (contrast 2): Z12 vs. Z24 + RZ12 and C3 (contrast 3): Z24 vs. RZ12. All data were analyzed using the statistical package NCSS.<sup>21</sup>

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Intramuscular fat content**

The intramuscular fat content (Table 1) was affected by the treatments ( $P < 0.05$ ). The C1 and C3 contrasts were significant ( $P < 0.05$ ), as the meat from group C presented a higher content of fat ( $39.3 \text{ g kg}^{-1}$ ) compared with the implanted animals ( $28.6 \text{ g kg}^{-1}$ ). Furthermore, the administration of 24 mg of zeranol in two doses caused a decrease of 37% in the intramuscular fat of lambs with respect to the animals that received a single dose of 24 mg of zeranol.

The intramuscular fat contents obtained in this study are similar to those reported in the study by Gonzalez-Rios,<sup>16</sup> which evaluated the effects of zeranol implantation and castration on hair lambs. Similarly, these results are consistent with those obtained by Lemieux *et al.*<sup>22</sup> who noted a reduction in intramuscular fat from using the zeranol implantation on beef cattle. This result is due to the anabolic and lipolytic effects of the hormonal implants employed in beef production systems.<sup>10</sup> Values of intramuscular fat are low, but these values are within acceptable ranges of intramuscular fat without damaging the meat's sensory attributes for the consumer.<sup>1</sup>

### **Intramuscular fatty acids profile**

The LD muscle fatty acid profile (expressed as g kg<sup>-1</sup> FA determined) for each experimental group are shown in Table 1. The sum of identified fatty acids (81%) is similar to the 83% reported by Alfaia *et al.*<sup>23</sup>

In general, the predominant fatty acids were the SFA, palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) with values of 254.3 g kg<sup>-1</sup> and 158.7 g kg<sup>-1</sup>, respectively, which were not affected by the implantation strategy (P > 0.05). The highest detected monounsaturated fatty acid was oleic acid (C18:1n9c, 314.5 g kg<sup>-1</sup>), and linoleic acid (18:2n-6, 75.5 g kg<sup>-1</sup>) was the predominant PUFA.

A decrease (P <0.05) in the content of oleic acid was observed when the dose was increased from 12 to 24 mg of zeranol (305.4 g kg<sup>-1</sup>) and when reimplantation was employed (280.6 g kg<sup>-1</sup>) (contrasts C2 and C3, respectively). However, the values determined for this fatty acid are similar to those observed in other studies.<sup>23-24</sup> On the other hand, it is important to note that we recommend the presence of a higher content of MUFA with *cis* configuration in the human diet because MUFA exhibit hypocholesterolemic effects and do not reduce the concentration in the blood of HDL-cholesterol, which protects against heart disease.<sup>25</sup>

Implantation of zeranol in lambs caused an increase (C1, P<0.05) in the intramuscular deposition of the *trans* fatty acid elaidic acid (C18:1 n-9trans), with an average of 51.7 g kg<sup>-1</sup> in the implanted lambs compared with a value of 3.5 g kg<sup>-1</sup> in the lambs of group C. Moreover, by increasing the implantation dose from 12 to 24 mg of zeranol (effect of C2), there was an increase of 60% (P <0.05) in levels of eicosapentenoic acid (C20:5n-3). The increase of this fatty acid can be beneficial to the human diet as a precursor of the prostaglandins of series 1 and 3, which enhances their ability to dilate blood vessels, lowering LDL-cholesterol (lower-density lipoprotein cholesterol) and raise HDL-

cholesterol (high-density lipoprotein cholesterol), besides mediating anti-inflammatory activities.<sup>2</sup>

The relative proportions of SFA, PUFA and CFA were not modified by the implantation strategy ( $P > 0.05$ ), presenting mean values of 471.3 g kg<sup>-1</sup>, 113.3 g kg<sup>-1</sup> and 398.6 g kg<sup>-1</sup>, respectively. In contrast to these results, Ibrahim *et al.*<sup>14</sup>, evaluating zeranol implants, and Dixon,<sup>26</sup> working with the estradiol benzoate implantation in steers, observed an increase in the relative proportion of SFA. Moreover, the observed values of SFA and PUFA in this study are higher than those reported by González-Rios,<sup>16</sup> who evaluated the effects of implantation and castration on hair lambs.

The effect of the treatments on the content of MUFA ( $P < 0.05$ ), which was significant only in the C1 contrast, presented a lower value than the control group (353.5 g kg<sup>-1</sup>) compared with the lambs implanted with zeranol (406.0 g kg<sup>-1</sup>). This value is comparable to that reported by Nudda *et al.*<sup>24</sup> for lambs with highly concentrated diets and lower than the value reported by Gonzalez-Rios.<sup>16</sup>

TFA values were lower ( $P < 0.05$ ) in meat from the control group (6.6 g kg<sup>-1</sup>) compared with that of implanted animals (54.5 g kg<sup>-1</sup>). Furthermore, applying a double dose of zeranol (Z24) caused a greater deposition (58.9 g kg<sup>-1</sup>) of TFA than in the reimplanted treatment, which obtained a value of 48.0 g kg<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ). Fritsche *et al.*<sup>15</sup> observed that cattle implanted with zeranol exhibited an increase of TFA content in meat, which was a similar finding to that of our study. However, despite this increase in *trans* fatty acid deposition, the values are similar to those reported in other researchers' lambs.<sup>27</sup>

The proportions relatives of n-6 and n-3 fatty acids in the meat were affected by the treatments, with the significance ( $P < 0.05$ ) of three contrasts tested and obtaining lower values in the control treatment (75.5 g kg<sup>-1</sup> and 8.4 g kg<sup>-1</sup>, respectively) and higher values in



RZ12 (149.4 g kg<sup>-1</sup> and 13.8 g kg<sup>-1</sup>, respectively). This result is similar to that reported by Ibrahim *et al.*<sup>14</sup> who observed that steers implanted with zeranol exhibited increases in omega-3 and -6 fatty acids.

### **Nutritional value of intramuscular fat**

The ratios of n-6/n-3 and PUFA/SFA are shown in Table 2. These ratios are widely used to assess the nutritional value of fat consumed by humans. Institutions related with human health recommend that the ratio of PUFA/SFA in the human diet be between 0.45 and 0.65 and that the n-6/n-3 ratio not exceed 4.0.<sup>3</sup> The importance of these ratios is that low values of the PUFA/SFA ratio in the diet may increase the risk of cardiovascular disease.

The PUFA/SFA ratio was not affected ( $P > 0.05$ ) by the treatments, with an overall average of 0.25. This value is similar to that found in lambs (0.20) and bulls.<sup>23, 28</sup> The values of the PUFA/SFA ratio in this study are outside the ranges proposed by the Department of Health.<sup>3</sup> However, all PUFA/SFA values in our study are higher than those reported by Hoffman *et al.*<sup>29</sup>, who suggested that 0.12 is the minimum value of this ratio to be considered healthy. The presence of low levels of the PUFA/SFA ratio in ruminants' meat is mainly from unsaturated fatty acids from the diet that are hydrogenated by rumen microorganisms.<sup>4</sup>

The ratio of omega fatty acids (n-6/n-3) was affected by the treatments ( $P < 0.05$ ), with a decline (C1 contrast effect,  $P < 0.05$ ) in this ratio being observed in the meat of lambs implanted with zeranol relative to animals in the control group (9.80 vs. 14.76, respectively). However, although the implantation decreased the values of this ratio, these values are still above the value of 4.0 recommended by the Department of Health.<sup>3</sup> Alfaia *et al.*<sup>23</sup> reported values of the omega-ratio in lamb that were similar to those observed in this study.

The high values of the n-6/n-3 ratio observed here are caused by the presence of a high content of C18:2n-6 and C20:3n-6 in the intramuscular fat of the animals in the study. Polyunsaturated fatty acid is beneficial for health because it plays an important role in the formation of prostaglandins, which are involved in processes of thrombosis prevention, increased blood pressure and the proper functioning of the immune system.<sup>25</sup> On the other hand, increased n-6/n-3 ratios have been observed in lambs fed with highly concentrate diets.<sup>2, 30</sup>

Enser *et al.*<sup>2</sup> stated that, from the standpoint of human nutrition, the n-6/n-3 ratio and its effect on health is probably more important than the PUFA/SFA ratio because the two types of PUFA and n-6 and n-3 compete for the same metabolic enzymes of desaturation and elongation. This balance between the fatty acids plays an important role in the preservation and treatment of coronary heart disease, hypertension, diabetes and other conditions.

Overall, using zeranol implantation in lambs caused a decrease in intramuscular fat content and an increase in the sum of MUFA and omega-6 fatty acids. In particular, a rise in oleic acid and eicosapentenoic acid was observed. These changes were represented by the effect of contrast C3, which may be due to the reimplantation on day 28 of the trial, which could cause an additive effect with the residual zeranol from the first implantation of 12 mg because the average half-life of hormonal implants is about 70 d.<sup>9</sup> On the other hand, there are reports<sup>6</sup> that associate changes in fatty acid profile with variations of intramuscular fat content.

### **Cholesterol content**

Cholesterol content is presented in Table 1 as mg of cholesterol per g<sup>-1</sup> muscle. A treatment effect was observed (P <0.05) and were significant the three contrasts tested. Implantation

strategy affected ( $P < 0.05$ ) the intramuscular cholesterol content, indicating that the implantation of zeranol into lambs caused a decrease of 78% (C1 contrast effect) in this variable, compared with the control lamb group. In the case of contrast C2, a lower cholesterol content in meat from animals on the Z24 and Z12 treatments was observed relative to the RZ12 treatment (0.458 vs. 0.532 mg g<sup>-1</sup> muscle). Additionally, the use of two doses of 12 mg of zeranol (RZ12) resulted in a 82% decrease of cholesterol content compared with Z24 treatment (C3 contrast effect).

Wood *et al.*<sup>31</sup> conducted an extensive review of fatty acid profiles in meat, and they recommended that consumers decrease their intake of red meat rich in saturated fatty acids and cholesterol to reduce the risk of cancer, obesity and cardiovascular disease. The previous recommendation is of utmost importance to our investigation, as implanting the lambs by two implantation strategies (increased dose and reimplantation), resulted in a decrease in cholesterol content. This reduction may help to prevent the risk of diseases mentioned by Wood *et al.*<sup>31</sup> In a similar sense, Jimenez-Colmenero<sup>32</sup> noted that, in humans, diets high in cholesterol are strongly associated with heart disease and atherosclerosis.

Costa *et al.*<sup>33</sup> evaluated the genotype and diet (at various energy levels) of lambs. These researchers found cholesterol contents of 0.655 mg g<sup>-1</sup> muscle to 0.678 mg g<sup>-1</sup> muscle and noted that these values are within the normal range for this species. However, these values are similar to those observed in the control group in our study but are higher than those detected in animals that were implanted with zeranol (0.483 mg g<sup>-1</sup> muscle). On the other hand, González-Rios,<sup>16</sup> in his research with hair lambs implanted with zeranol, reported much higher values of cholesterol (1.43 mg g<sup>-1</sup> muscle) than those observed in this investigation.

In conclusion, the results obtained in this study indicate that it is possible to induce favorable changes in fatty acid profile and cholesterol content with an implantation strategy with zeranol into hair lambs. Among these changes are increases in oleic acid and eicosapentenoic acid and the relative proportions of MUFA and n-6, as well as a decrease in cholesterol. These changes in the lipid profile are favorable for the meat industry, as it may be possible to offer consumers a meat that is beneficial from a health standpoint, which may increase its general acceptance accordingly. Therefore, it will be necessary to pursue research that explores the effects of growth promoters and novel production strategies on the lipid profile and cholesterol content of lamb meat.

#### REFERENCES

- 1 Troy DJ, Kerry JP, Consumer Perception and the Role of Science in the Meat Industry. *Meat Sci* **86**:214–26 (2010).
- 2 Enser M, Hallet B, Hewitt G, Fursey J, Wood D, Harrington G, Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci* **49**: 329-41 (1998).
- 3 Department of Health, Report on health and social subjects No.46. Nutritional aspects of cardiovascular disease. London. H M Stationary office. (1994).
- 4 Choi, NJ, Enser M, Wood JD, Scollan ND, Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids. *J Anim Sci* **71**: 509–519 (2000).
- 5 Cooper SL, Sinclair LA, Wilkinson RG, Hallett KG, Enser M, Wood JD, Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *J Anim Sci* **82**:1461-1470 (2004).

- 6 Daley C, Abbott A, Doyle P, Nader G, Larson S, A review of fatty acid profile and antioxidant content in grass-feed and grain-feed beef. *Nutrition Journal* **9**:10-19 (2010).
- 7 Monson F, Sañudo C, Bianchi G, Alberti P, Herrera A, Ariño A, Carcass and meat quality of yearling bulls as affected by the use of clenbuterol and steroid hormones combined with dexamethasone. *J Muscle Foods* **18**: 173–185 (2007).
- 8 Bruns KW, Pritchard RH, Boggs DL, The effect of stage of growth and implant exposure on performance and carcass composition in steers. *J Anim Sci* **83**:108-116.
- 9 Preston RL, Hormone containing growth promoting implants in farmed livestock. *Adv Drug Delivery Rev* **38**: 123–138 (1999).
- 10 Platter WJ, Tatum JD, Belk KE, Scanga JA, Smith GC, Effects of repetitive use of hormonal implants on beef carcass quality, tenderness, and consumer ratings of beef palatability. *J Anim Sci* **81**:984-996 (2003).
- 11 Watson R, Meta-analysis of the published effects of HGP use on beef palatability in steers as measured by objective and sensory testing. *Aust J Exp Agric* **48**: 1425–1433 (2008).
- 12 Therkildsen M, Riis B, Karlsson A, Kristense L, Ertbjerg P, Purslow P, Aaslyng MD, Oksbjerg N, Compensatory growth response in pigs, muscle protein turn-over and meat texture: effects of restriction/realimentation period. *J Anim Sci* **75**:367–377 (2002).
- 13 Duckett SK, Owens FN, Andrae JG, Effects of implants on performance and carcass traits of feedlot steers and heifers. Pages 63–82 in *Impact of Implants on Performance and Carcass Value of Beef Cattle Symposium*. Oklahoma Agric Exp Stn P-957. Tulsa, OK. (1997).

- 14 Ibrahim RM, Marchelo JA, Duff GC, Effects of implanting beef steers with zeranol on fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular fat. *The Professional Animal Scientist* **22**:301–6 (2006).
- 15 Fritsche S, Rumsey TS, Yurawecz MP, Ku Y, Fritscher J, Influence of growth promoting implants on fatty acid composition including conjugated linoleic acid isomers in beef fat. *Eur Food Res Technol* **212**:621-629 (2001).
- 16 González-Rios H, Manipulación del comportamiento productivo, la calidad de la canal y la carne de corderos de pelo en confinamiento, mediante la castración y un promotor del crecimiento. [DPh thesis]. Chihuahua, Chihuahua México. Universidad Autónoma de Chihuahua. 197 p. available from: Universidad autónoma de Chihuahua (2009).
- 17 AOAC, Official Methods of Analysis. *Assoc. Offic. Anal. Chem*, Washington D. C. (1990).
- 18 Bligh EG, Dyer WJ, A rapid method of total lipids extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* **37**:911-9177 (1959).
- 19 Park PW and Goins RE, In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty composition in foods. *J Food Sci* **59**:1262-6 (1994).
- 20 Thompsom RH, Merola GV, A simple alternative to the AOAC oficial method for cholesterol in multicomponents foods. *J AOAC Int* **76**:1057-1068 (1993).
- 21 NCSS, Number Cruncher Statical System. Users Guide. N.C, USA (2001).
- 22 Lemieux PG, Byers FM, Schelling GT, Relationship of anabolic status and phase and rate of growth to priorities for protein and fat deposition in steers. *J Anim Sci* **68**:1702-1709 (1990).

- 23 Alfaia CM, Ribeiro PJ, Trigo MJ, Alfaia AJ, Castro ML, Fontes CM, Bessa RJ, Prates J, Irradiation effect on fatty acid composition and conjugated linoleic acid isomers in frozen lamb meat. *Meat Sci* **77**: 689–695 (2007).
- 24 Nudda A, Mele M, Serra A, Manca MG, Boel R, Secchiari P, Comparison of fatty acid profile in lamb meat and baby food based on lamb meat. *Ital J Anim Sci* **8**: 525-527 (2009).
- 25 Simopoulos AP, Essential fatty acids in health and chronic disease. *Am J Clin Nutr* **70**:560-69 (1999).
- 26 Dixon SN, The efficacy, mode of action and safety of non-steroidal non-antimicrobial growth promoters. *Vet Res Commun* **7**:51 (1983).
- 27 Ponnampalam EN, Warner RD, Kitessa S, McDonagh MB, Pethick DW, Allen D, Hopkins D, Influence of finishing systems and sampling site on fatty acid composition and retail shelf-life of lamb. *Anim Prod Sci* **50**: 775–781 (2010).
- 28 Padre RG, Aricetti JA, Moreira FB, Mizubuti IY, do Prado IN, Visentainer JV, de Souza NE, Matsushita M, Fatty acid profile, and chemical composition of Longissimus muscle of bovine steer and bulls finished in pasture system. *Meat Sci* **74**:242-248 (2006).
- 29 Hoffman LC, Muller M, Cloete SW, Comparison of six crossbreed lamb types: sensory, physical and nutritional meat quality characteristics. *Meat Sci* **65**:1265-1274 (2003).
- 30 Bolte MR, Hess, BW, Means WJ, Moss GE, Rule DC, Feeding lambs high-oleate or high-linoleate safflower seeds differentially influences carcass fatty acid composition. *J Anim Sci* **80**:609-616 (2002).

- 31 Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM, Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci* **78**:343–358 (2008).
- 32 Jiménez-Colmenero F, Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends Food Sci Technol* **18**: 567- 578 (2007).
- 33 Costa RG, Malveira BAS, Azevedo PS, Cássia REQ, Madruga MS, Araújo FJT, Lipid profile of lamb meat from different genotypes submitted to diets with different energy levels. *R Bras Zootec* **38**: 532-538 (2009).



**Table 1.** Intramuscular fat ( $\text{g kg}^{-1}$  muscle), fatty acids profile ( $\text{g kg}^{-1}$  FA determined) and cholesterol content ( $\text{mg g}^{-1}$  muscle) of *Longissimus dorsi* muscle from hair lambs per treatment.

Item	Treatment					Significance		
	C	Z12	Z24	RZ12	SEM	Contrasts		
						C1	C2	C3
Intramuscular fat	39.3	30.7	34.3	20.9	2.1	**	NS	**
Fatty acid								
C10:0	0.7	1.8	2.6	4.1	0.7	**	*	NS
C12:0	1.32	2.26	2.54	3.15	0.7	NS	NS	NS
C13:0	0.81	1.75	3.24	3.42	0.8	*	*	NS
C14:0	24.2	29.5	28.5	39.2	3.7	NS	NS	NS
C14:1	1.4	1.3	0.8	2.0	0.4	NS	NS	***
C15:0	3.1	3.6	3.6	4.5	1.0	NS	NS	NS
C15:1	1.2	1.6	1.3	3.2	0.6	**	*	***
C16:0	262.2	253.9	245.3	256.0	67.8	NS	NS	NS
C16:1	14.6	15.1	13.1	25.9	5.3	*	*	***
C17:0	11.9	11.9	13.7	13.7	3.7	NS	NS	NS
C17:1	5.3	5.3	4.9	1.6	1.2	***	***	***
C18:0	168.5	154.3	161.4	150.9	8.9	NS	NS	NS
C18:1 n-9 <i>trans</i>	3.5	55.4	54.0	45.9	11.3	***	NS	NS
C18:1 n-9 <i>cis</i>	313.8	333.4	330.2	280.6	8.99	NS	*	**
C18:2 n-6 <i>trans</i>	3.8	3.4	11.5	3.1	0.18	NS	NS	**
C18:2 n-6 <i>cis</i>	55.0	68.1	78.5	101.8	21.6	NS	NS	NS
C18:3 n-6	3.8	3.2	4.9	5.1	1.2	NS	***	NS
C18:3 n-3	3.1	5.0	3.5	4.2	1.2	NS	NS	NS

C20:1	4.1	0.7	1.1	1.6	0.6	**	NS	NS
C20:0	4.6	1.6	5.9	2.2	1.3	NS	*	**
C20:3 n-3	1.9	2.0	1.5	2.9	0.7	NS	NS	NS
C20:3 n-6	21.8	14.9	15.5	17.1	6.3	NS	NS	NS
C20:4 n-6	0.7	0.9	0.9	1.5	0.4	NS	NS	NS
C20:5 n-3	1.6	1.7	3.2	5.2	0.10	**	***	**
C21:0	3.3	1.6	1.8	2.7	0.9	NS	NS	NS
Cholesterol	0.654	0.532	0.504	0.413	0.01	***	***	***

C: Control, Z12: implanted with 12 mg of zeranol, Z24: implanted with 24 of zeranol, RZ12: implanted and reimplanted with 12 mg of zeranol.  
 Contrasts: C1 = C vs. Z12+Z24 + ZR12, C2 = Z12 vs. Z24 + ZR12, C3 = Z24 vs. RZ12.  
 NS, P > 0.05; \*, P < 0.05; \*\*, P < 0.01; \*\*\*, P < 0.001  
 SEM: standard error of mean

**Table 2.** Partial sums of fatty acid (g kg<sup>-1</sup> FA determined) and nutritional value of intramuscular fat from *Longissimus dorsi* muscle of hair lambs per treatment.

Item	Treatment					Significance		
	C	Z12	Z24	RZ12	SEM	Contrasts		
						C1	C2	C3
<i>Partial Sums</i>								
∑ SFA	482.2	482.5	469.8	450.7	14.50	NS	NS	NS
∑ MUFA	353.5	412.5	404.9	384.6	11.11	**	NS	NS
∑ PUFA	91.0	104.9	114.8	142.6	3.48	NS	NS	NS
∑ TFA	6.6	56.8	58.9	48.0	1.31	***	NS	*
∑ CFA	401.8	401.6	408.7	382.4	10.6	NS	NS	NS
∑ n - 6	75.5	86.4	105.7	149.4	3.79	**	**	**
∑ n - 3	8.4	8.6	9.1	13.8	0.36	*	*	**
<i>Ratios</i>								
∑PUFA/∑SFA	0.26	0.19	0.26	0.31	0.08	NS	NS	NS
n - 6 / n - 3	14.76	10.18	10.89	8.35	3.68	**	NS	NS

C: Control, Z12: implanted with 12 mg of zeranol, Z24: implanted with 24 of zeranol, RZ12: implanted and reimplemented with 12 mg of zeranol.

ns: P > 0.05, \*: P < 0.05, \*\*: P < 0.01, \*\*\*: P < 0.001

Contrsts: C1: C vs. Z12+Z24 + ZR12, C2: Z12 vs. Z24 + ZR12, C3: Z24 vs. RZ12.G

SEM: standard error of mean

The symbols are defined as follows: SFA = saturated fatty acids, MUFA = monounsaturated fatty acids, PUFA = polyunsaturated fatty acids, TFA = *trans* fatty acids, CFA = *cis* fatty acids, n - 6 = *omega*-6 fatty acids, n - 3 = *omega*-3 fatty acids.

∑ SFA= C:10, C:12, C:13, C:14, C:15, C:16, C:17, C:18, C:20,C:21, C:22, C:23 and C:24.

∑ MUFA= C14:1, C15:1, C17:1, C18:1*n*-9*trans*, C20:1, C22:1*n*-9, C24:1 and C18:1*n*-9*cis*.

∑ PUFA= C18:2*n*-6*trans*, C18:2*n*-6*cis*, C18:3*n*-6, C18:3*n*-3, C20:2, C20:3*n*-3, C20:3*n*-6, C20:4*n*-6, C22:2, C20:5*n*-3 and C22:6*n*-3.

∑ TFA= C18:1*n*-9*trans* and C18:2*n*-6*trans*.

∑ CFA= C18:1*n*-9*cis* and C18:2*n*-6*cis*.

∑ n - 6= C18: 2*n*-6*trans*, C18:2*n*-6*cis*, C18:3*n*-6, C20:4*n*-6 and C20:3*n*-6.

∑ n - 3= C18:3*n*-3, C20:3*n*-3, C20:5*n*-3 and C22:6*n*-3.

∑ PUFA / ∑ SFA= polyunsaturated/saturated ratio

n - 6/n - 3= *omega* ratio (C18: 2*n*6*t*, C18:2*n*6*c*, C18:3*n*6, C20:4*n*6 and C20:3*n*6) / (C18:3*n*3, C20:3*n*3, C20:5*n*3 and C22:6*n*3)

## CONCLUSIONES GENERALES

La demanda de carne por los consumidores y la constante búsqueda de la ampliación del mercado de la industria cárnica, ha llevado consigo al incremento en el empleo sustancias anabólicas en producción animal. Sin embargo, de acuerdo a varias investigaciones el uso de estas sustancias, ha producido un detrimento en la calidad de la carne, encontrándose un mayor porcentaje de cortes duros y oscuros. Lo anterior es de suma importancia, ya que aun cuando para el productor lo más importante es el incremento de la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia, para otros actores de la cadena productiva de la carne, como los industrializadores y comercializadores esto no lo es del todo, y esperan cierta calidad que se adecue a su tipo de comercio.

Aunado a esto, para obtener los resultados deseados en cuanto a calidad de la carne, es necesario tener en cuenta el tipo y dosis del implante. En este sentido, la característica de calidad de la carne que más se ha visto afectado por el uso de implantes es la ternera, observándose en la mayoría de los casos una disminución. La inconsistencia en la ternera de la carne es la mayor causa de rechazo por parte del consumidor, resultando por lo tanto en un aspecto importante para la investigación y mejoramiento de la misma.

Sin embargo, en esta investigación el uso del implante zeranol (un incremento en la dosis y uso de reimplantación), no afecta negativamente las características fisicoquímicas, y a pesar de que puede darse una reducción del contenido de grasa y un incremento del colágeno, la ternera de la carne no se ve afectada. El implante zeranol no afectó negativamente la textura, observándose una mejora de la ternera de la carne durante su maduración, y estos cambios fueron confirmados con los incrementos en el IFM. La implantación hormonal, puede ser una herramienta útil para aumentar el comportamiento productivo de corderos, sin menoscabo de la ternera de la carne.

Por otra parte, en el presente trabajo de investigación se llegó a la conclusión de que en base a los resultados, el implante zeranol no afectó negativamente la ternera de la carne, existiendo una tendencia similar en el índice de fragmentación miofibrilar. Lo cual indica, que la carne proveniente de animales implantados con zeranol, durante su maduración tiene un comportamiento similar a los animales no implantados, por lo que no se presentaron problemas de pérdida de la calidad.

Por otro lado, en cuanto a las características nutricionales de la carne, el presente estudio muestra que es posible inducir cambios favorables en el perfil de ácidos grasos y colesterol al utilizar una estrategia de implantación con zeranol en corderos de pelo. Dentro de estos cambios, se encuentran un aumento de los ácidos oleico y eicosapentanoico, y en las sumatorias de MUFA y n-6, así como una disminución del contenido de colesterol. Estas modificaciones en el perfil de lípidos, son convenientes para la industria cárnica, ya que puede ser posible ofrecer a los consumidores una carne más benéfica desde el punto de vista de la salud y con ello aumentar su aceptación general.

Es necesario continuar con investigaciones que exploren el efecto de los promotores del crecimiento en conjunto con otras estrategias productivas las características fisicoquímicas (principalmente la ternesa), los cambios durante la maduración, el perfil de lípidos y contenido de colesterol de la carne ovina. Lo precedente, debido a que existe una gran controversia en cuanto a los efectos de los implantes hormonales en la calidad final de la carne.