



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

**DESARROLLO PRODUCTIVO, CARACTERÍSTICAS DE CANAL, VARIANTES
DEL GEN CASTY SU RELACIÓN CON LA TERNEZA DE LA CARNE EN
CORDEROS PELIBUEY Y DOS CRUZAS**

MIRIAM ROSAS RODRÍGUEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

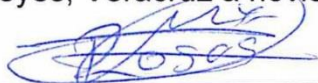
2017

**DESARROLLO PRODUCTIVO, CARACTERÍSTICAS DE CANAL, VARIANTES
DEL GEN *CAS* Y SU RELACIÓN CON LA TERNEZA DE LA CARNE EN
CORDEROS PELIBUEY Y DOS CRUZAS**

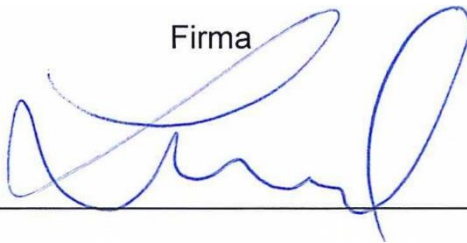
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe **Miriam Rosas Rodríguez**, Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del profesor **Juan Salazar Ortíz**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Desarrollo productivo, características de canal, variantes del gen Cast y su relación con la terneza de la carne en corderos Pelibuey y dos cruzas** Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero(a) o Director(a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Amatlán de los Reyes, Veracruz a noviembre, 2017



Firma



Vo.Bo. del Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Desarrollo productivo, características de canal, variantes del gen *Cast* y su relación con la terneza de la carne en corderos Pelibuey y dos cruza**s, realizada por el alumno: **Miriam Rosas Rodríguez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JUAN SALAZAR ORTIZ

ASESOR: 
DR. FERNANDO CARLOS GÓMEZ MERINO

ASESOR: 
DR. JUAN VALENTE HIDALGO CONTRERAS

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, noviembre de 2017.

DESARROLLO PRODUCTIVO, CARACTERÍSTICAS DE CANAL, POLIMORFISMOS EN EL GEN CAST Y SU RELACIÓN CON LA TERNEZA DE LA CARNE EN CORDEROS PELIBUEY Y DOS CRUZAS

Miriam Rosas Rodríguez, MC.
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

La importancia de la producción ovina en México se debe a la alta demanda de carne, y es necesario generar información que contribuya a una mejor producción de carne de mejor calidad para satisfacer la demanda actual y futura del mercado nacional. Se realizaron dos estudios para evaluar el desarrollo productivo, características de canal, polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) en el gen *Cast* y su relación con la terneza de la carne en corderos Pelibuey (P), Charollais x Pelibuey (ChP) y Dorper x Pelibuey (DP). En el estudio I se utilizaron 39 animales experimentales (ChP=11, DP=10 y P=18) se registró el peso de los corderos cada quince días desde el nacimiento hasta el peso comercial promedio de 45 kg, se sacrificaron los animales y se evaluó las características y clasificación de las canales, también se evaluó temperatura, pH, color de grasa y de carne. Los corderos ChP mostraron mejor ($P < 0.05$) peso al nacimiento, peso al destete y ganancia diaria de peso. Los corderos ChP y DP llegaron al peso comercial 35 y 23 días antes que los corderos P, respectivamente. La raza influyó en la conformación y clasificación de las canales. El rendimiento de lomo y pierna del genotipo ChP fue mayor. El genotipo influyó en temperatura, pH, color de grasa y de carne. En el estudio II se utilizaron 30 muestras (ChP=10, DP=10 y P=10) del músculo *longissimus dorsi* (LD) para estimar capacidad de retención de agua y fuerza de corte por el método de Warner Bratzler y se aisló ADN de muestras de LD y de sangre para la identificación de SNPs. Se encontró un efecto significativo de la raza y edad ($P < 0.05$) sobre la calidad de carne (cra y textura) y se identificaron 5 nuevos SNPs A17T, C24A, A33T, C50A y A71T en el gen *Cast* (exón 6). Tres de estos SNPs codifican para diferente aminoácido: K6M, P17H K24M. El cambio de P-H (Prol-Hist) proporcionó menor fuerza de corte a la carne. Se concluye que los corderos ChP mostraron mejores características de crecimiento y calidad de carne, y este cruzamiento pueden ser considerados para la producción de carne.

Palabras clave: Cordero; Canal; Carne; Calidad; SNP; Fuerza de corte; *Cast*.

GROWTH PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS, POLYMORPHISMS IN THE GEN CAST AND ITS RELATIONSHIP WITH THE TENDERNESS MEAT IN PELIBUEY LAMBS AND CROSSBREEDING

Miriam Rosas Rodríguez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The importance of sheep production in Mexico is due to the high demand for meat, and it is necessary to generate information that contributes to a better production of meat of better quality to satisfy the current and future demand of the national market. Two studies were carried out to evaluate the productive development, channel characteristics, polymorphisms of a single nucleotide (SNPs) in the Cast gene and its relationship with meat tenderness in Pelibuey (P), Charollais x Pelibuey (ChP) and Dorper lambs. x Pelibuey (DP). In study I, 39 experimental animals were used (ChP = 11, DP = 10 and P = 18), the weight of the lambs was recorded every fifteen days from birth to the average commercial weight of 45 kg, the animals were slaughtered and evaluated the characteristics and classification of the carcass, temperature, pH, color of fat and meat were also evaluated. ChP lambs showed better ($P < 0.05$) weight at birth, weight at weaning and daily weight gain. ChP and DP lambs reached commercial weight 35 and 23 days earlier than P lambs, respectively. The genotype influenced the conformation and classification of the carcass. The yield of loin and leg of the ChP genotype was higher. The genotype influenced temperature, pH, color of fat and meat. In the II study, 30 samples (ChP = 10, DP = 10 and P = 10) of the longissimus dorsi (LD) muscle were used to estimate water retention capacity (cra) and shear force by the Warner Bratzler method and DNA was isolated from LD and blood samples for the identification of SNPs. A significant effect of genotype ($P < 0.05$) on meat quality (cra, at and texture) was found and 5 new SNPs A17T, C24A, A33T, C50A and A71T were identified in the Cast gene (exon 6). Three of these SNPs code for different amino acid: K6M, P17H K24M. The change of P-H (Prol-Hist) showed trend towards to confer less shear force of meat. It is concluded that the ChP lambs showed better characteristics of growth and meat quality, and this crossbreeding can be considered for meat production.

Keywords: Lamb; Carcass; Carne; Quality; Shear force; SNP; *Cast*.

A mi abuelita, ¡pueden pasar tres mil años y nunca te olvidaré!

y

A mi mamá Judith Irma Rodríguez mi persona extraordinaria y
ejemplo de vivir.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, por permitirme llevar a cabo mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado.

Al Dr. Juan Salazar-Ortiz gracias por sus enseñanzas, dirigirme y por el apoyo brindado en este trabajo de tesis. Espero que continúe guiando en la investigación y en la formación de talento humano a muchas generaciones más, siempre esté dispuesto a compartir y a ayudar como hasta ahora.

Al Dr. Fernando Carlos Gómez Merino y al Dr. Juan Valente Hidalgo Contreras, gracias por su importante participación para la realización de este trabajo de tesis, y gracias la amistad brindada.

Al Dr. Josafhat Salinas Ruíz, por su valiosa colaboración, apoyo y acertados comentarios para la realización de este trabajo de tesis durante la fase experimental y de redacción.

Al MVZ. Julio Miguel Ayala Rodríguez, por su valiosa colaboración en el trabajo experimental en el Área Experimental de Ovinos del campus.

Al Laboratorio Cordobés de Diagnóstico Pecuario S.C. y al MVZ. Jorge Alberto Escamilla Juárez, por las facilidades otorgadas para la realización de una parte del trabajo experimental realizado en el área de Biología Molecular.

Al MVZ. José Luis Cortez Ortega, por las facilidades otorgadas para trabajar en el rastro municipal de Orizaba, Ver., al Sr. Juan Reyes Rodríguez por la colaboración en el sacrificio de los corderos, al Sr. José Manuel Bringas Lainez por las facilidades otorgadas para trabajar en la carnicería y al Sr. Marcos Ochoa encargado de cuidar los animales del Área Experimental de Ovinos del campus.

A mi familia!

CONTENIDO

PORTADA.....	i
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
CONTENIDO.....	viii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Objetivos	5
3. Hipótesis.....	6
4. Revisión de literatura.....	6
4.1. La ovinocultura en México	6
4.2. La ovinocultura como oportunidad de negocio	9
4.3. Principales razas de ovinos producidas en México	9
4.4. La ovinocultura en el estado de Veracruz.....	10
4.5. Razas utilizadas en el estado de Veracruz	12
4.6. Sistemas de Producción	15
4.7. Características y calidad de canal ovina.....	16
4.7.1. Conformación y clasificación de la canal.....	17
4.8. Calidad de carne.....	20
4.8.1 pH.....	20

4.8.2. Capacidad de retención de agua (CRA)	22
4.8.3. Textura	22
4.8.4. Color	23
5. Literatura citada	25
CAPÍTULO I. GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS CLASSIFICATION OF PURE PELIBUEY AND CROSSBRED LAMBS RAISED UNDER AN INTENSIVE PRODUCTION SYSTEM IN A WARM-HUMID CLIMATE	30
Keywords.....	30
1.1. Introduction	31
1.2. Materials and methods.....	33
2.1 Experimental animals and diet.....	33
2.2 Lamb growth performance	34
2.3 Lamb carcass yield	34
2.4 Lamb carcass conformation-classification and commercial meat cuts.....	35
2.5 Measurements of carcass color, temperature, and pH	36
2.6 Statistical analysis.....	37
1.3. Results and discussion	38
1.3.1 Lamb growth performance	38
1.3.2 Lamb carcass yield	42
1.3.3 Classification, conformation of the carcass, and commercial cuts	44

1.3.4 pH, temperature, and instrumental color of the carcass and meat.....	48
1.4. Conclusion	51
1.5. Bibliography	52
CAPÍTULO II. SNPS EN EL GEN <i>CAST</i> Y SU RELACIÓN CON LA TERNEZA DE LA CARNE DE CORDEROS PELIBUEY PURA Y EN CRUZAMIENTO CON RAZA CHAROLLAIS Y DORPER	58
2.1. Introducción.....	60
2.2. Materiales y métodos	62
2.2.1. Animales experimentales.....	62
2.2.2. CRA y Fuerza de corte	62
2.2.3. Aislamiento de ADN.....	63
2.2.4. Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR).....	64
2.2.5. Secuenciación.....	65
2.2.6. Alineamiento y análisis de secuencias.....	65
2.2.7. Modelo estadístico	65
2.3. Resultados y discusión	66
2.3.1. CRA y Fuerza de corte	66
2.3.3. PCR y Electroforesis.....	68
2.3.4. Alineamiento y análisis de secuencias.....	69
2.3.5. Fuerza de corte y su relación con las variantes del exón 6 del gen <i>Cast</i> .	71

2. 4. Conclusión	73
2. 5. Literatura citada	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	78
Conclusiones	78
Recomendaciones	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios para la evaluación de la canal de corderos de acuerdo a la Norma Mexicana (NMX-FF-106-SCFI-2006, 2006).....	19
Cuadro 2. Productive behavior of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.	39
Cuadro 3. Characteristics of the carcasses of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.	42
Cuadro 4. The average weight of the half carcass and the weight and yield of the commercial cuts of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.	47
Cuadro 5. The pH, temperature, and instrumental color of the rectus abdominis muscle and meat of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.....	49
Cuadro 6. CRA y fuerza de corte de corderos Pelibuey x Charollais (PCh), Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey (P) (Media \pm EE).....	67

Cuadro 7. Frecuencia genotípica de las mutaciones no sinónimas identificadas en el gen Cast (exón 6) de corderos Pelibuey (P), Charollais x Pelibuey (ChP) y Dorper x Pelibuey (DP).	70
Cuadro 8. Fuerza de corte (FC) y SNP del exón 6 del gen Cast de corderos Pelibuey x Charollais (PCh), Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey (P) (Media \pm EE).	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Población nacional de ovinos (SIAP, 2016)	7
Figura 2. Producción nacional de cordero en pie (SIAP, 2017)	7
Figura 3. Producción de carne en canal (SIAP, 2017)	8
Figura 4. Precios de cordero (kg) en pie de 2000 a 2017 (SNIIM 2017).....	9
Figura 5. Municipios principales productores de borrego en Veracruz (OEIDRUS, 2016)	11
Figura 6. Escala de color en arreglo de vectores en tres ejes, donde L* (luminosidad) va de claro a oscuro, a* va de verde a rojo y b* va de azul a amarillo (AMSA, 2012)..	24
Figura 7. Change in live weight from birth to 5.5 months of age of Charollais x Pelibuey (ChP, closed circles), Dorper x Pelibuey (DP, open boxes), and Pelibuey (P, closed boxes) lambs. The regression lines are presented for each breed from birth to 5.5 months of age.....	41
Figura 8. Estimated probabilities of achieving specific carcass conformation categories and quality grades for Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs using a cumulative logit model.	45

Figura 9. Lamb carcasses classified according to the Mexican standard NMX-FF-106-SCFI-2006. (A) Charollais x Pelibuey (Good conformation, MEX 1 quality grade); (B) Dorper x Pelibuey (Good conformation, MEX 1 quality grade); and (C) Pelibuey (Deficient conformation, MEX 2 quality grade).	46
Figura 10. Estructura del gen Cast de Ovis aries: 29 exones y 28 intrones, tiene un dominio L y 4 dominios con 3 subdominios cada uno (L, 1, 2, 3 y 40).	61
Figura 11. Electroforesis en gel de agarosa 1%. Visualización de fragmentos amplificados del exón 6 del gen Cast correspondientes a corderos Charollais x Pelibuey (ChP) y Dorper x Pelibuey (DP). Carril 1 (marcador de peso molecular de 100pb; M), carriles 2 al 8 (amplicón de muestras de corderos ChP y DP) y carriles 9 y 10 controles negativos (CN). Tamaño del amplicón de 240-280 pb.....	69
Figura 12. Alineamiento y análisis de 22 secuencias de nucleótidos de exón 6 del gen Cast y SNP's en MEGA 6.	71

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, la importancia de la producción de ovinos se debe a la alta demanda de carne e insuficiente producción nacional (Partida, Vázquez, Rubio, & Méndez, 2012; Ríos et al., 2011). La oveja Pelibuey puede ser utilizada como una raza materna en el cruzamiento con otras razas especializadas en la producción de carne (Partida et al., 2013) para obtener corderos que desarrollen canales con mejor conformación cárnica. En México, para orientar y fortalecer la cadena de producción, transformación, comercialización y consumo de carne de ovino y, definir las características de calidad de las canales para su comercialización nacional, se generó la norma mexicana de clasificación de la carne de ovino en canal, NMX-FF-106-SCFI-2006. Existe escasa información del crecimiento y características de las canales de corderos Pelibuey en raza pura y en cruzamiento con razas de especialidad cárnica (Dorper y Charollais).

La terneza es el atributo más importante de la calidad de la carne (Ouali et al., 2006). La cual puede ser afectada por factores como rasgos de producción, genotipo, edad, género, manipulación durante el sacrificio y después del sacrificio de los animales (Hopkins, 2017). Recientemente, se han reportado polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) en el gen *Cast*, asociados con la terneza de la carne (Aali, Moradi-Shahrbabak, Moradi-Shahrbabak, & Sadeghi, 2014; M. Koohmaraie, Shackelford, & Wheeler, 2005). El exón 6 del gen *Cast* ha sido asociado a la liberación de Ca^{2+} de la calpastatina y a la inhibición de las calpaínas en la proteólisis. Es importante Evaluar el desarrollo productivo, características de canal, variantes del gen *Cast* y su relación con la terneza de la carne en corderos Pelibuey, Charollais x Pelibuey y Dorper x Pelibuey.

1. Planteamiento del problema

En México la ovinocultura es una actividad complementaria y en los últimos años ha iniciado como una actividad empresarial (Hernández et al., 2013). La producción de corderos no satisface la demanda nacional de carne, por ello, la producción de ovinos tiene un potencial para incursionar como actividad empresarial, aunado a esto que el precio del cordero se ha incrementado 2.5 veces en la última década (SAGARPA, 2016; SIAP, 2016).

Veracruz se posiciona en tercer lugar a nivel nacional en la producción de cordero, sin embargo, por su ubicación geográfica tiene un amplio mercado para posicionar el ganado en el mercado (SIAP, 2016; SIPROV, 2012). La raza Pelibuey cuenta con características deseables para la explotación en los climas tropicales por su resistencia a enfermedades parasitarias y su alta prolificidad (P. P. Hernández et al., 2013, 2013; UNO, 2007). Debido a que los productores buscan optimizar la producción el cruzamiento de la raza Pelibuey con razas de mayor habilidad cárnica pueden ser una estrategia para reducir días de engorda y obtener mejor conformación de canales que se convierte en beneficio económico para el ovinocultor.

La calidad de carne es un criterio de ciertos parámetros que le brindan al consumidor confianza para pagar y realizar la compra de carne. La evaluación del consumidor es la principal determinante de la calidad de la carne (Maltin, Balcerzak, Tilley, & Delday, 2003). Los consumidores consideran la terneza también llamada blandura, como el atributo más importante de la calidad de la carne (Ouali et al., 2006). La terneza de carne es muy variable y los consumidores exigen productos homogéneos, por lo tanto,

la predicción y certificación de la ternura de la carne es de gran importancia para la industria cárnica (Iguácel *et al.*, 2013).

Los marcadores moleculares relacionados con ternura y palatabilidad de la carne, son una herramienta que ayuda a identificar animales con características deseables (Cuetia, Posso, Muñoz, Ariza, & Alvarez, 2012b). Recientemente, se han reportado SNPs en el gen *Cast* en ovinos (Aali, Moradi-Shahrbabak, Moradi-Shahrbabak, Sadeghi, & Yousefi, 2017; Zhou, Hickford, & Gong, 2007), asociados con la ternura de la carne; útiles para desarrollar programas de selección, conservación y mejoramiento genético en el ganado ovino (Koochmaraie, Kent, Shackelford, Veiseth, & Wheeler, 2002).

La Calpastatina (*Cast*) tiene gran importancia para la producción, composición y/o calidad sanitaria de la carne, porque posee variantes alélicas relacionadas con estos caracteres (Motter, Corva, Krause, Perez Cenci, & Soria, 2009). La calpastatina inhibe la actividad de la calpaína y, por tanto, regula la proteólisis post-mortem, siendo algunos SNP's asociados a la ternura de la carne (Cuetia, Posso, Muñoz, Ariza, & Alvarez, 2012a). Este trabajo se enfocará a identificar variantes en el exón 6 del gen calpastatina, ya que es en ésta región donde se han identificados SNP's que pueden codificar proteínas que regulan el proceso enzimático post-mortem (Aali *et al.*, 2017; Motter *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2007).

El objetivo de este estudio fue identificar variantes tipo SNPs (Polymorfims Single Nucleotide) en el exón 6 del gen CAST que le proporcionen menor o mayor fuerza de corte, utilizando herramientas de biología molecular, así también, se evaluó la fuerza de corte por el método Warner-Bratzler; para posteriormente correlacionar

características fenotípicas y genotípicas. Las unidades experimentales son razas destinadas a la producción cárnica y que poseen características de habilidad reproductiva, resistencia a parásitos y adaptación a diferentes climas: corderos Pelibuey, cruce Pelibuey-Dorper y Pelibuey-Charollais.

2. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el desarrollo productivo, características de canal, variantes del gen *Cast* y su relación con la terneza de la carne en corderos Pelibuey, Charollais x Pelibuey y Dorper x Pelibuey.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el desarrollo productivo de corderos Pelibuey, Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Charollais.
2. Medir las características de la canal de corderos Pelibuey, Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Charollais.
3. Medir pH, color instrumental y temperatura de la canal y de carne de corderos Pelibuey, Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Charollais.
4. Medir CRA, AT, pH y fuerza de corte a la carne de corderos Pelibuey, Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Charollais
5. Amplificar por PCR el exón 6 del gen *Cast* de corderos Pelibuey, Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Charollais
6. Identificar las variantes del gen *Cast* para identificar polimorfismos.
7. Relacionar la fuerza de corte con los polimorfismos identificados en el gen *Cast*.

3. Hipótesis

El cruzamiento de ovejas Pelibuey con sementales de razas de habilidad cárnica (Charollais y Dorper) le confiere mejores características productivas y de canal a los corderos y que existen SNPs en el exón 6 del gen *Cast* que se relacionan con la terneza de carne proporcionándole menor fuerza de corte.

4. Revisión de literatura

4.1. La ovinocultura en México

La cría de ganado ovino en México es una actividad secundaria de tipo familiar, y fuente de ingreso complementaria, considerada como medio de subsistencia, ahorro y autoconsumo (SIPROV, 2012), aunque en los últimos años ha iniciado como actividad empresarial. En México se registraron 8,575,908 cabezas de producción ovina en el año 2014 y los tres estados principales productores de corderos fueron: Estado de México con el 16% de la población nacional, Hidalgo con 14% y Veracruz con 8% respectivamente (figura 1) lo que representa un incremento de cabezas de ovinos de 19.53% que comprende del año 2000 a 2015 (SIAP, 2016). Los primeros 6 estados (México, Hidalgo, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Guanajuato) aportan 54.46% de la producción nacional total.

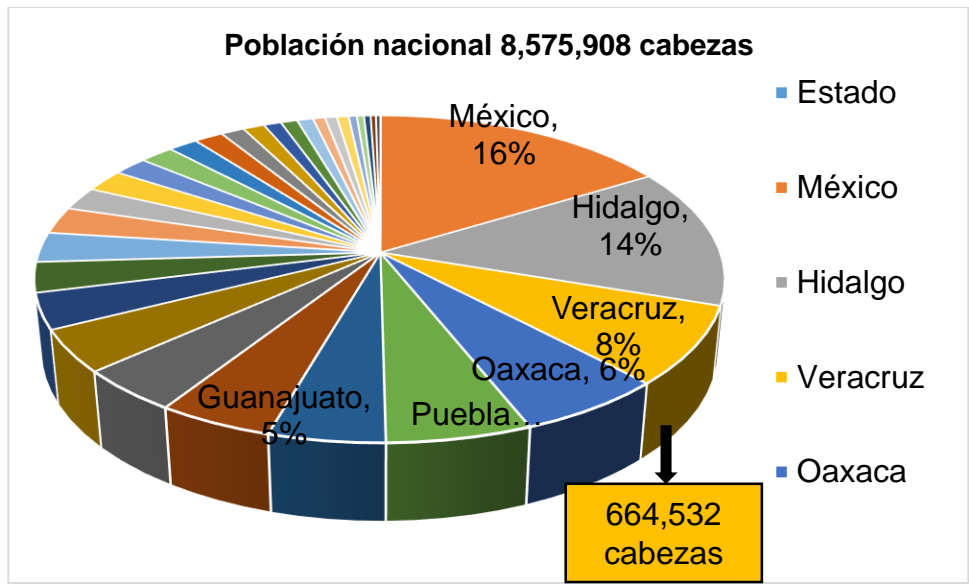


Figura 1. Población nacional de ovinos (SIAP, 2016)

La producción de ovinos en pie (Ton) en el país se ha incrementado en un 22.61% en la década de 2007 a 2016 (figura 2), produciendo para el año 2016: 117,862 Ton de cordero en pie y 60,362 Ton de carne en canal, lo que representa valor de la producción de cordero en pie 3,761,827 en miles de pesos y 3,871,285 en miles de pesos el valor de la producción de carne en canal (SIAP, 2017).

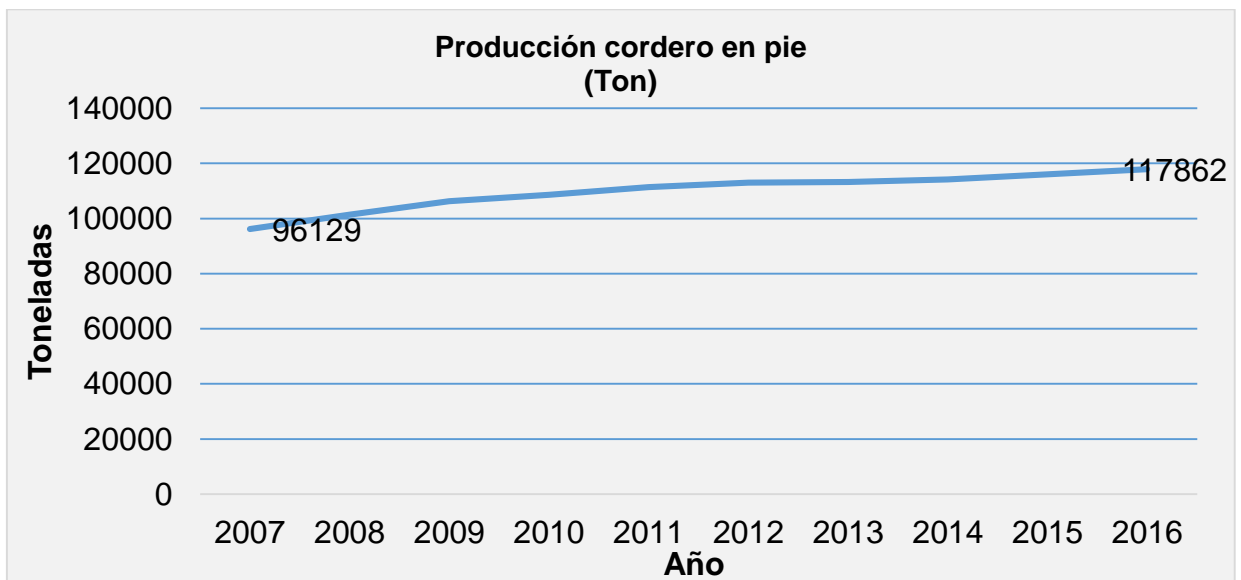


Figura 2. Producción nacional de cordero en pie (SIAP, 2017)

La producción de carne en México en canal (Ton) ha incrementado 24.37% (11,828 Ton) desde el año 2007 a 2016 y el precio ha incrementado 86.49% (1, 795,408 miles de pesos) como se presenta en la figura 3 la producción nacional de carne en canal de ovinos.

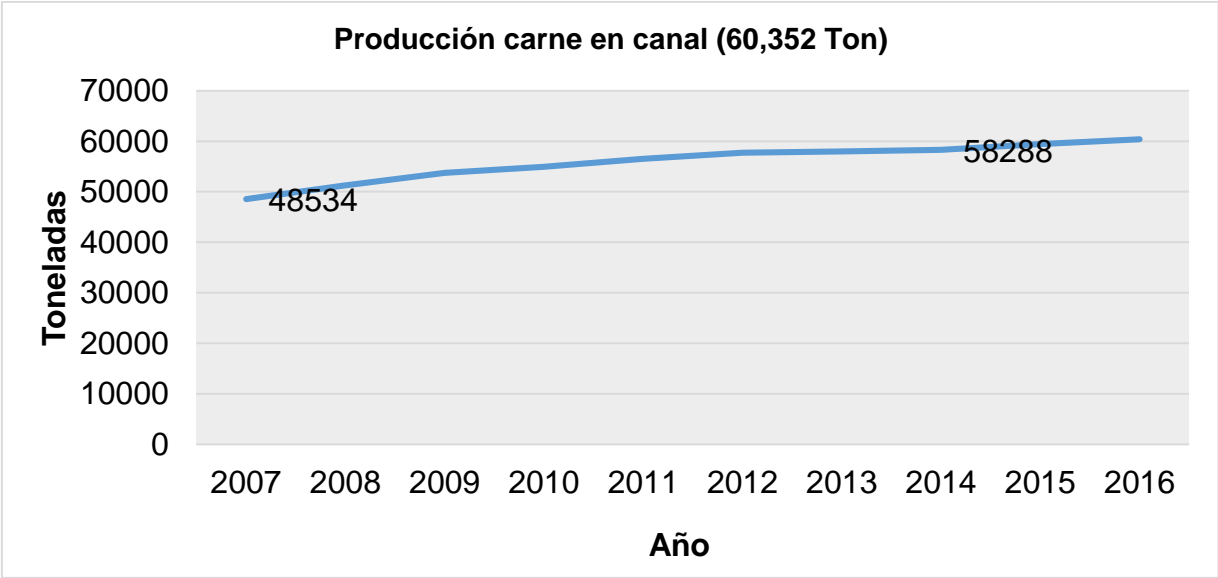


Figura 3. Producción de carne en canal (SIAP, 2017)

La producción ovina en México se centra principalmente en el sur y en el centro del país, y se realiza bajo sistemas tradicionales de pastoreo, con tecnologías limitadas y con ello baja productividad (C. I. Hernández, Rejón, Valencia, & Araujo, 2014; P. P. Hernández et al., 2013)(Hernández et al., 2010, Hernández et al., 2014). A pesar que en la última década se ha trabajado para cubrir la demanda nacional de carne, apenas se logra cubrir el 70% con la producción nacional, los principales estados productores de ovinos son Hidalgo, Estado de México y Veracruz (SAGARPA, 2016).

4.2. La ovinocultura como oportunidad de negocio

La producción nacional de cordero no satisface con la demanda del mercado nacional (Ríos et al., 2011; SAGARPA, 2016) y El precio de cordero en pie (kg) ha incrementado 2.6 veces (figura 4) es decir un 158.82% en la última década (2007-2017), por lo que la producción de ovinos tiene potencial como actividad empresarial, importante para satisfacer la demanda actual y del mercado futuro (SNIIM, 2017).

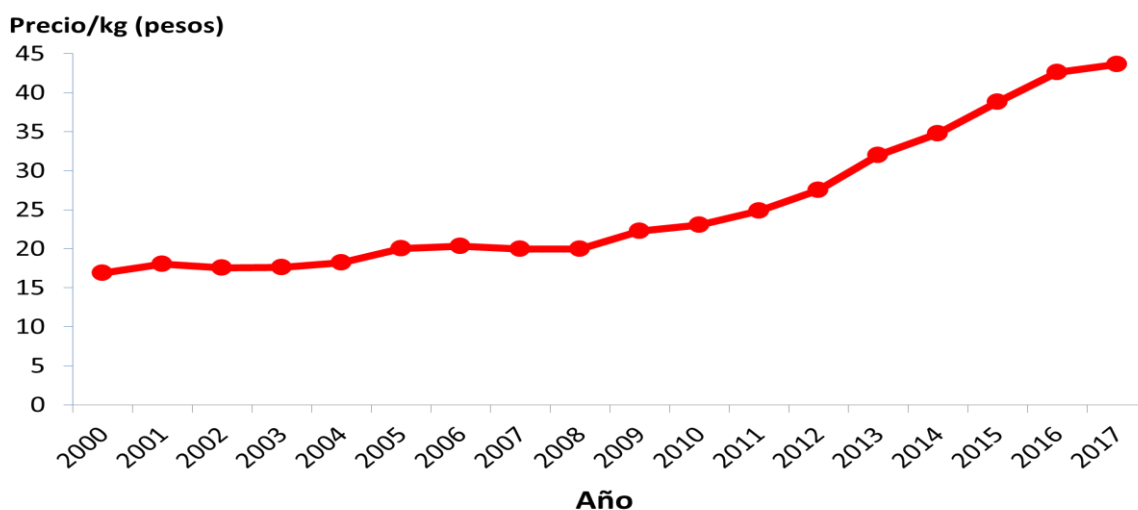


Figura 4. Precios de cordero (kg) en pie de 2000 a 2017 (SNIIM 2017)

En países con zonas tropicales la ovinocultura ha tenido gran importancia utilizando razas de pelo o en cruzamiento que están adaptadas al tipo de clima para evitar riesgos de enfermedades esto con la finalidad de tratar de cubrir con la demanda de carne, y considerando la disponibilidad de forraje en este tipo de zonas, lo que hace que esta actividad tenga potencial (C. I. Hernández et al., 2014).

4.3. Principales razas de ovinos producidas en México

La producción de ovinos en México es principalmente para carne y en menor medida para producción de lana, la ovinocultura es una actividad que se realiza en el centro,

sur-sureste y norte del país. Las razas de cordero que se distribuyen en la zona centro para producción de carne y pieles son Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset (razas de lana), y razas Kathadin, Dorper y Pelibuey (razas de pelo), la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo: Pelibuey, Black Belly, Kathadin y Dorper, también producen lana para uso artesanal y para ello utilizan razas criollas en Oaxaca y en Chiapas (Partida, Braña, Ríos, & Buendía, 2013) también en Veracruz utilizan razas criollas para producir lana para uso artesanal como elaboración de trajes típicos regionales en el municipio de Tlaquilpa, Veracruz. En la zona norte del país se produce la raza Rambouillet y recientemente se han introducido razas de pelo (Pelibuey, Kathadin y Dorper) que son destinadas a la producción de carne (Partida et al., 2013).

4.4. La ovinocultura en el estado de Veracruz

Veracruz se ubica en el tercer lugar en producción de ovinos a nivel nacional con 664,532 cabezas registradas en 2014 (SIAP, 2016) lo cual representa el 8% de la población nacional. La ovinocultura ha crecido paulatinamente en el estado, no muestra una organización por parte de los productores y la información que hay acerca de esta actividad en el estado es limitada y dentro de las ventajas es la ubicación geográfica del estado de Veracruz pues colinda con los estados principales consumidores de carne de cordero, estos estados son el Estado de México, Hidalgo y Puebla (P. P. Hernández et al., 2013; SIAP, 2016).

La producción de corderos en pie en Veracruz para el año 2015 fue de 9,224.90 Ton, el 55% de la producción total se centra en 30 municipios de los 212 municipios que

tiene el estado de Veracruz, los municipios Coscomatepec y Cuitláhuac figuran dentro de los 30 municipios productores con 139.38 Ton y 84.24 Ton que representan 1.5% y 1% de la producción total estatal (OEIDRUS, 2016).

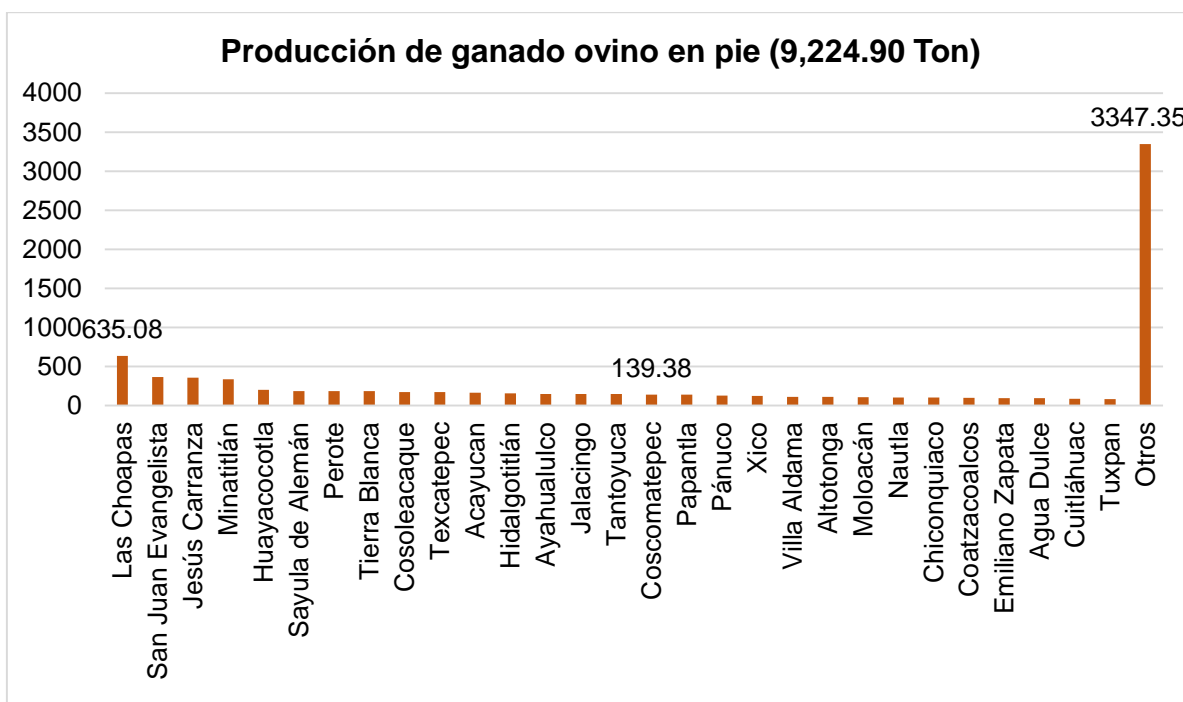


Figura 5. Municipios principales productores de borrego en Veracruz (OEIDRUS, 2016)

Existen tres tipos de sistemas de producción ovina en el estado de Veracruz: el de subsistencia, el de transición de subsistencia a empresarial y sistema empresarial (P. P. Hernández et al., 2013). Considerando la alta demanda de carne de cordero a nivel nacional, la posición geográfica del estado de Veracruz y la disponibilidad de forraje (caña de azúcar y áreas verdes) en la zona, además del precio (kg) de cordero en pie, la ovinocultura tiene un gran potencial en el estado de Veracruz como una actividad empresarial.

4.5. Razas utilizadas en el estado de Veracruz

Existen tres tipos de sistemas de producción ovina en el estado de Veracruz: el de subsistencia, el de transición de subsistencia a empresarial y sistema empresarial, las razas de cordero que se utilizan en cualquiera de los tres sistemas de producción son razas de pelo (Pelibuey y Black Belly) en raza pura y en cruzamiento con razas especializadas como Dorper, Katahdin, Ile de France, Suffolk y Charollais, y en menor proporción razas criollas (Hernández et al., 2010).

Raza Pelibuey; de acuerdo al Organismo de la Unidad Nacional de Ovinocultores (UNO, 2007) representa el mayor inventario de ovinos en México, las principales características de la raza Pelibuey son: animales de con buenas masas musculares, libre de lana permanente, cubiertos de pelo espeso y corto. La cabeza es de tamaño medio, orejas cortas de implante lateral machos y hembras acornes perfil ligeramente convexo con presencia de arrugas. La cara presenta una coloración más clara en algunos casos, nariz triangular con ollares alargados, puede presentar pigmentación oscura. El cuello debe estar bien implantado y es proporcional al tamaño del animal, los hombros son de implante armónico (evitar animales estrechos o de hombros prominentes). El pecho por característica de la raza no es muy amplio, esto sólo se logra por selección. Las patas y piernas con masa muscular, grupa recta y bien redondeada, aplomos rectos evitar cascorvos.

Se aceptan colores del manto:

Canelo: Tonalidad café en cualquier intensidad. Se acepta la punta de la cola blanca y mancha blanca en la coronilla, cualquier otra mancha no es aceptable y se permite un lunar negro siempre y cuando no rebase 2.5 cm de diámetro.

Blanco: Totalmente blanco. Se permites pecas en la caña, en las orejas y en el hocico, el pelo debe cubrir totalmente al animal.

Pinto: Cualquier proporción de manchas café en base blanca o viceversa. No se aceptan manchas negras ni de tipo raza Black Belly.

Raza Katahdin; De acuerdo a la (UNO, 2007) las ovejas Katahdin presentan características económicas deseables como resistencia a parásitos, resistencia a calor. La raza Katahdin es raza de pelo, de fácil mantenimiento son de propósito cárnico. La raza Katahdin es de estatura media y musculosa poseen adaptación a humedad, alimentación fuente de forraje y sistema de manejo, son de reproducción buena y tienen alto instinto materno. Poseen alto potencial de pubertad temprana, fertilidad, y sobre vivencia de la cría, la carne posee bajo contenido de grasa. Puede ser usada la raza para cruzamiento con razas lanares. La talla es superior a las otras razas de pelo. La cabeza es acornee para ambos sexos, orejas gruesas y de longitud media, de implante lateral. Cuello fuerte, de longitud media, ancho en la base de los hombros, en adultos el cuello presenta melena. Los hombros se mezclan con el cuello, son de pecho amplio, de espalda recta, de piernas con buena masa muscular, grupa recta, aplomos rectos, pezuñas claras bicolores o negras.

Raza Dorper; de acuerdo a la (UNO, 2007) la raza Dorper es resultado de la cruce de raza Dorset Horn y Black Head Persian y fue desarrollada para soportar condiciones

áridas, las hembras tienen fuerte instinto maternal, larga vida productiva, facilidad de parto y sus crías tienen peso al nacimiento y peso al destete excelentes y buena ganancia de peso hasta peso al abasto. La raza proporciona carne suave, magra y de un sabor que le ha dado actualmente los primeros lugares en calidad, rendimiento y sabor. Poseen un cuerpo de pelo blanco y cabeza negra o completamente blancos y en algunos casos les crece poca lana, la cual se les cae, son de fácil manutención y bajo costo. En México se ha probado su desempeño en el trópico y en el norte del país en cruzamiento con razas criollas. La raza Dorper dominará en los avances de la genética ovina. Es tolerante a climas extremos inviernos o altas temperaturas en trópico húmedo o seco con alto desempeño. La cabeza es fuerte y larga, bien implantados separados. Nariz ancha y fuerte, el tamaño de las orejas debe ser proporcional al de la cabeza, se permiten tocones o cuernos. El cuello está lleno de carne y ancho de proporciones moderadas y bien implantado en los hombros los cuales deben ser firmes, anchos y fuertes. El pecho es profundo y amplio, pezuñas no muy abiertas. Las patas traseras deben ser fuertes y bien colocadas, grupa ancha.

Raza Charollais; de acuerdo a la (UNO, 2007) la raza Charollais es de origen Francés, de excelente conformación, ganancia de peso y calidad de la canal, han sido líderes en concursos de conformación y calidad cárnica, el peso en hembras es de 90-110 kg y en machos de 120-150 kg.

En cruzamiento Pelibuey x Charollais, los corderos toleran el clima tropical.

Raza Black Belly; las características de la raza según la (UNO, 2007) son ovinos de pelo de áreas tropicales, se encuentra en todo el país desde el trópico hasta zonas templadas. La raza se caracteriza por su rusticidad, prolificidad (dos o tres corderos),

no estacional y con habilidad materna fuerte, resistencia a parásitos y enfermedades. El peso de hembras es de 40-45 kg y de machos 60-80 kg, son de talla media.

Raza Suffolk; de acuerdo a la (UNO, 2007) la raza Suffolk son de talla grande, conformación muscular, cuerpo largo lana blanca y pelo negro en patas y cabeza sin cuernos, las orejas son largas y bien definidas negras de textura fina, ojos brillantes. El cuello es moderadamente largo y bien asentado, los hombros suaves, pecho profundo y definido. La espalda larga musculada, costillas largas y bien extendidas. Las piernas fuertes largas y musculosas. Piel suave y de color rosado.

4.6. Sistemas de Producción

La producción de cordero se centra en el sur y en el centro del país se realiza generalmente con escasa tecnología, en sistema de pastoreo tradicional y con ello la productividad de la actividad como tal es baja; en el trópico la ovinocultura es una actividad complementaria en donde los ovinos se pastorean con otro tipo de ganado o cultivo agrícola y en función a la disponibilidad de recursos económicos y de infraestructura del productor, los sistemas de producción se clasifican en tres tipos: intensivos, semi-intensivos y extensivos (P. P. Hernández et al., 2013)

Extensivo: es un sistema de producción no se tiene un control, es decir, no se lleva registro del hato (nacimientos, vientres gestantes, muertes, etc.), los animales se encuentran en pastoreo sin suplementación adicional de alimento o fuente de proteína, dentro del rebaño se encuentran hembras y machos sin tener un control de montas y consanguinidad y por lo general no hay una persona encargada del cuidado del rebaño.

Semi-intensivo: este tipo de producción se refiere a un manejo del rebaño más controlado, donde el hato sale a pastoreo de 8 a 4 de la tarde y regresa a estabulación por la tarde para suministrarles alimento, este sistema de producción requiere más infraestructura para la semi estabulación y una persona encargada del cuidado y manejo del rebaño, por lo que se obtienen resultados considerables en engordas y ganancias de peso, así como en disminución de mortalidad de corderos y reducción de enfermedades.

Intensivo: consiste en estabulación total de los corderos para engorda, con fines de reducir tiempos de engorda, las reproductoras pueden salir a pastoreo y también se les complementa con alimento para optimizar la producción de corderos, es un sistema organizado, algunos productores lo implementan pastoreando a las borregas con ganado vacuno así mismo para dar mantenimiento a sus cultivos reduciendo costos en mano de obra.

4.7. Características y calidad de canal ovina

En la Norma Mexicana para Productos Pecuarios- Carne de Ovino en Canal-Clasificación (NMX-FF-106-SCFI-2006, 2006) la canal se define como cuerpo del animal desprovisto de piel, cabeza, patas y vísceras excepto los riñones así mismo define a la canal de ovino como: cuerpo del animal sacrificado, desangrado y despojado de la piel, abierto a lo largo de la línea media desde el xisfoides hasta el pubis: separado de la cabeza a nivel de la articulación atlanto-occipital y de los miembros anteriores a nivel de la articulación tarso metatarsiana; eviscerada excepto riñones y grasa perirenal.

La canal es la unidad básica que se emplea en el mundo de la carne para la comercialización (Partida et al., 2013). Debe ser prioridad comercializar canales con buena conformación, proporción de músculo alta y grasa intramuscular adecuada (Sousa et al., 2009). Llevar la producción hasta obtención de canales para comercialización representa mayor beneficio monetario para el productor (Partida et al., 2013). Por lo que es importante difundir información de la agregación de valor a la producción en pie de corderos para beneficio de los productores.

Entre los factores que influyen en la calidad de la canal de cordero, los que son dependientes del animal son: raza, sexo, edad y peso del animal, y factores extrínsecos son: tipos de explotación, ejercicio, condiciones medioambientales, alimentación y otros debido al proceso que sigue al animal desde su transporte al sacrificio, temperatura y maduración de la carne (Torrescano-urrutia, Sánchez-Escalante, Peñúñuri-Molina, Velázquez-Caudillo, & Tineo-Sierra, 2009). Por ello es fundamental la aplicación de normas para trato animal durante la engorda y el proceso al sacrificio para no alterar los parámetros de calidad en la canal lo cuales van a ser reflejados en el precio.

4.7.1. Conformación y clasificación de la canal

La clasificación de canales tiene por objetivo evaluar mediante indicadores que representen valor comercial de la canal (Díaz et al., 2012). Los compradores prefieren canales con una buena conformación; riñonada amplia, piernas cortas con alta conformación muscular, cuello corto y conformado y como otro indicador valoran el rendimiento (Martínez, Núñez, & Rodríguez, 2007). La calidad de la canal se relaciona

directamente con el mercado de cortes finos y con la industria hotelera internacional (Partida et al., 2013).

En México con el propósito de impulsar la ovinocultura se estableció una norma mexicana (no oficial) que establece las características de calidad que debe tener las canales de cordero para su comercialización, tal documento tiene como finalidad la agregación de valor a la cadena de producción de ovinos que va desde la producción primaria hasta el consumo (NMX-FF-106-SCFI-2006, 2006). Para clasificación de canales la norma considera conformación de la canal y grado de calidad.

La conformación de la canal se clasifica en tres:

- **Excelente:** canales con músculos bien conformados y gruesos y amplios, amplio llenado de las piernas y los cuartos delanteros.
- **Buena:** canales con músculos moderados en comparación con la longitud de la misma; piernas y cuartos delanteros moderadamente delgados.
- **Deficiente:** Canales con músculos delgados en comparación con la longitud de la misma; piernas y cuartos delanteros delgados y cóncavos.

Otro factor importante para la clasificación de canales es el espesor de grasa de cobertura: se realiza mediante la utilización de una regla de acero inoxidable o un vernier grado alimentario, se realiza insertando en sentido perpendicular la regla sobre la doceava costilla a 11 cm de la línea media de la canal, puede ser en la media canal derecha o en la izquierda. La clasificación de canal considera la conformación de la canal, edad del animal y espesor de grasa, en el cuadro 1 se muestra el criterio para evaluación de la canal de corderos.

Cuadro 1. Criterios para la evaluación de la canal de corderos de acuerdo a la Norma Mexicana (NMX-FF-106-SCFI-2006, 2006).

CORDERO LIVIANO 38 kg en pie			
Grasa		Conformación	
	Excelente	Buena	Deficiente
1-3 mm	MEX EXT	MEX 1	MEX 2
4-6 mm	MEX 1	MEX 1	MEX 2
7-10 mm	MEX 2	MEX 2	MEX 2
Más de 10 mm	F/C	F/C	F/C
CORDEROS PESADOS más de 38 kg en pie			
Grasa		Conformación	
	Excelente	Buena	Excelente
3-6 mm	MEX EXT	MEX 1	MEX 2
7-10 mm	MEX 1	MEX 1	MEX 2
11-15 mm	MEX 2	MEX 2	MEX 2
Más de 15 mm	F/C	F/C	F/C
BORREGO PRIMAL de 1 a 4 incisivos permanentes			
Grasa		Conformación	
	Excelente	Buena	Deficiente
5-10 mm	MEX 1	MEX 2	F/C
11-15 mm	MEX 2	MEX 2	F/C
Más de 15 mm	F/C	F/C	F/C
BORREGO ADULTO de 5 a 8 incisivos permanentes			
Grasa		Conformación	
	Excelente	Buena	Deficiente
5-15 mm	MEX 2	F/C	F/C
Más de 15 mm	F/C	F/C	F/C

Grado de calidad: MEX EXT: México extra; MEX1: México 1. MEX 2; México 2; F/C: Fuera de clasificación (NMX-FF-106-SCFI-2006, 2006).

La norma no considera características de la raza y se debe considerar que la raza también tiene efecto en las características de la canal. Hay diversidad de genotipos en México y el genotipo influye en la conformación de canal (Partida et al., 2013). Por lo que aún hay mucho por investigar para establecer parámetro de calidad y características de canal de acuerdo a cada tipo de raza de cordero.

4.8. Calidad de carne

Calidad de carne es un término que se utiliza para referirse a atributos de la carne (Maltin et al., 2003). Hay calidad subjetiva y calidad objetiva, la primera se enfoca a atributos visuales como a color, marmoleo, cantidad de grasa y capacidad de retención de agua y la calidad objetiva se refiere a atributos medibles como terneza, sabor y aspectos nutricionales (FAO, 2014). La calidad subjetiva es considerada en primera instancia por los consumidores para realizar su compra, principalmente se basan en el color y seguido de la terneza, a pesar que no pueden corroborar de inmediato, pero infieren a partir del aspecto visual y del tipo de corte que desean adquirir. Dentro de los parámetros de calidad de carne el color, la textura, pH son los criterios de calidad más importantes en la carne de ganado ovino (Torrescano-urrutia et al., 2009).

4.8.1 pH

pH: también conocido como potencial de hidrógeno es el principal indicador de calidad de carne, se mide en una escala de 0 a 14, los valores inferiores a 7 representan acidez, el 7 representa valor neutro y valores superiores a 7 representan alcalinidad, el pH fisiológico de los animales es 7 y disminuye tras la muerte del animal. Los cambios de pH que ocurren en una canal durante las 24 horas *postmortem* son importantes para la calidad de carne (González, 2003).

De acuerdo a (Braña et al., 2011) algunos factores intrínsecos al animal por los que ocurre variación en el pH son: genética, metabolismo, susceptibilidad al estrés, etc., por lo que el manejo ante mortem al animal y 24 h postmortem a la canal es relevante

para lograr carne de calidad por ello dependiendo de la rapidez con la que disminuya el pH y el valor alcanzado se distinguen 3 tipos de carne:

Carne DFD (dark, firm, dry, por sus siglas en inglés); se debe a una caída lenta de pH post-mortem, esto como resultado de un estrés previo al sacrificio en el animal y un ayuno prolongado, por lo que se agotan sus reservas de energía y la maduración de la carne no se lleva a cabo de manera adecuada debido a que se reducen las reservas de glucógeno y el valor de pH tras 24 h postmortem va de 6.0 hasta 6.8 en comparación con el pH de una carne normal (5.4 a 5.9). Una carne clasificada como DFD (Obscura Firme y Seca) es nada apetitosa y castigada en el precio.

Carne PSE (pale, soft, exudative, por sus siglas en inglés); se debe a un acelerado descenso de pH ocurre a una alta temperatura antes de que la canal haya sido enfriada eficazmente, ocurre a temperatura elevada (3°C) ocasiona una desnaturalización anormal de las proteínas musculares generando así una carne pálida, suave y exudativa. Mientras más rápido baje el pH del músculo, sus proteínas se irán acercando a su punto isoeléctrico, por lo que retienen poca agua, y así se reducirá el rendimiento de carne y se afectará el color de la carne, dando una apariencia pálida, el pH está normalmente por debajo de 5.5. las carnes clasificadas como PSE representan pérdidas económicas por su baja capacidad para retener agua y por su apariencia visual.

Normal: la carne con un pH de entre parámetros 5.4-5.8 se considera de calidad, y refleja la trazabilidad en el manejo al sacrificio, adecuado tiempo de ayuno y buen manejo de la canal para la maduración de la carne.

4.8.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

Capacidad De Retención de Agua (CRA): es un importante atributo de calidad de carne que se relaciona directamente con el rendimiento de la carne en fresco y para procesamiento, tiene importancia económica, en la capacidad de retención de agua influyen factores como manejo durante la engorda de los animales en el desarrollo muscular, dieta del animal tiempo de ayuno previo al sacrificio y estrés al manipular a los animales previo a la faena (Cheng & Sun, 2008). La CRA se relaciona con propiedades sensoriales de la carne como lo son el color, la textura, y la firmeza, el resultado de capacidad de retención de agua se expresa como la cantidad en mL de solución de NaCl 0.6M retenidos por 100 g de carne (Braña et al., 2011).

4.8.3. Textura

Textura: es el atributo de calidad mejor considerado y remunerado por el consumidor. Los principales factores que intervienen en la terneza son: manejo de los animales antes del sacrificio, sensibilidad al estrés del animal y su relación con carnes anormales, tipo de raza, estado sexual, madurez fisiológica, tipo de músculo, manejo de canales y conservación postmortem (maduración) de las canales (Teira, 2004).

Se han reportado estudio de factores de genotipo y medio ambiente como principales responsables de la terneza de la carne, para dichos estudios han implementado marcadores moleculares para identificar por medio de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP's) animales con características deseables y así mismo para identificar animales no deseables para la comercialización de carne como de calidad, pues ha estudiado que un solo cambio en un gen puede determinar parámetros de calidad en

la carne como lo es en la terneza (Aali et al., 2017; Warner, Greenwood, Pethick, & Ferguson, 2010; Zhou et al., 2007).

Para medir la fuerza de corte en carne por lo general se utiliza un equipo instrumental (texturómetro) para medir la fuerza aplicada para morder la carne, utiliza la cuchilla de Warner Bratzler y la unidad de medición es en Newtons.

4.8.4. Color

Color de la carne: es uno de los atributos más importantes considerados por el consumidor y tiene mucha influencia a la hora de la compra ya que es el primer contacto que tiene el consumidor al realizar la compra, va a depender de la concentración de la mioglobina (pigmento del músculo) y de la cantidad de grasa infiltrada también conocida como marmoleo de la carne, así como de la estructura del músculo, estando relacionada con el pH (Torrescano-urrutia et al., 2009). Los procesadores de carnes utilizan el color para controlar el proceso y asegurar la calidad y frescura de sus carnes (Hunter Lab, 2017).

Para medir el color instrumental de la carne se utiliza el colorímetro y existen dos escalas de medición uno es el sistema Hunter Lab se basa en un sistema de vectores y la segunda es el sistema CIE $L^*a^*b^*$, en ambos, L se refiere a luminosidad se ubica de manera vertical toma valores de 0 (negro) a 100 (blanco); mientras que a y b, ubicados horizontalmente, no tienen límites, pero sí valores positivos o negativos. La escala de a se mueve de los valores positivos (rojo +) a los negativos (verde -); mientras que la escala de b va del amarillo (+) al azul (-), todos los colores que se pueden percibir de manera visual se muestran en ese espacio rectangular de color

(figura 6). Por ello se debe escribir en la metodología el método utilizado para medir el color instrumental en carne.

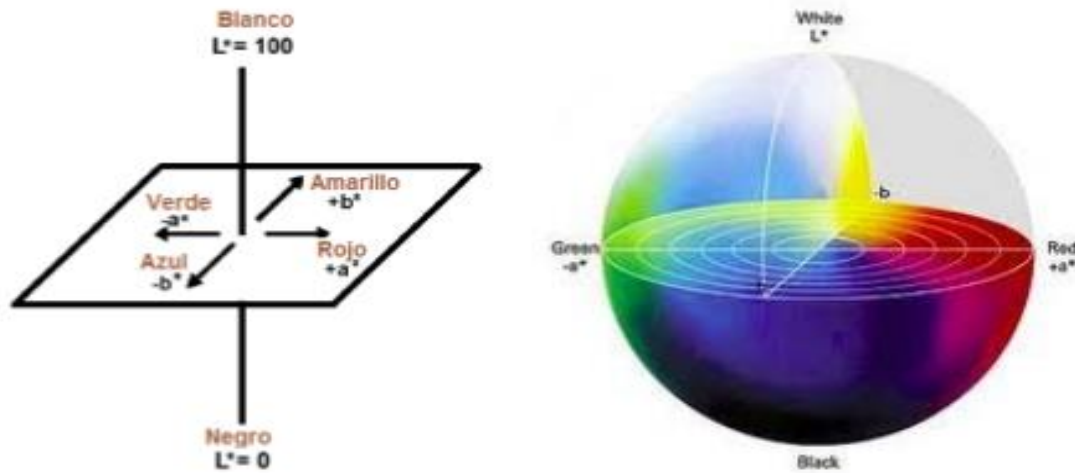


Figura 6. Escala de color en arreglo de vectores en tres ejes, donde L^* (luminosidad) va de claro a oscuro, a^* va de verde a rojo y b^* va de azul a amarillo (AMSA, 2012). En ocasiones, algunos autores prefieren expresar los valores, en términos de Luminosidad (L^*), Croma o saturación (c^*) y Hue o tono (H^*), permite una descripción numérica del color de manera semejante al que los seres humanos comunican verbalmente el color en términos de luminosidad, tonalidad y saturación, los cuales se calculan a partir de a^* y b^* de acuerdo a las siguientes ecuaciones (DeMan, 1992 citado por (Braña et al., 2011)).

$$H^* = \arctang(b^*/a^*) \quad \text{y} \quad c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Aunque similares en organización, un color tendrá valores numéricos diferentes en estos dos espacios (Hunter Lab y CIEL*a*b*), por lo que al momento de realizar la medición deberá indicarse cuál es el la escala y el instrumento que se está utilizando.

Acidez Titulable: es un parámetro de calidad higiénica, para identificar contaminación y crecimiento bacteriano (Guerrero, Ponce, & Pérez, 2002).

5. Literatura citada

Aali, M., Moradi-Shahrbabak, H., Moradi-Shahrbabak, M., Sadeghi, M., & Yousefi, A. R. (2017). Association of the calpastatin genotypes, haplotypes, and SNPs with meat quality and fatty acid composition in two Iranian fat- and thin-tailed sheep breeds. *Small Ruminant Research*, 149, 40-51.

AMSA. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. American Meat Science Association.

Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M. de la S., Sánchez, E. A., Torrescano-urrutia, G., Arenas, de M. M. L., Ríos, R. F. G. (2011, octubre). Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne.

Cheng, Q., & Sun, D.-W. (2008). Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 137-159.

Cuetia, J., Posso, A., Muñoz, J. E., Ariza, F., & Alvarez, L. A. (2012a). ALLELIC AND GENOTYPIC FREQUENCIES OF CALPAIN, CALPASTATIN AND LEPTIN IN COLOMBIAN CREOLE CATTLE. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal - AICA*.

Cuetia, J., Posso, A., Muñoz, J. E., Ariza, F., & Alvarez, L. A. (2012b). Tipificación de las frecuencias de los genes calpaina, calpastatina y leptina en bovinos criollos colombianos. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal - AICA*, 2, 231-234.

- FAO. (2014). Meat Quality. Recuperado 15 de julio de 2017, a partir de http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/quality_meat.html
- González, T. R. (2003). *Propiedades fisicoquímicas de textura del músculo brachiocephalicus de bovino marinado con cloruro de calcio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo. Recuperado a partir de https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icap/maestria/documentos/Propiedades%20fisicoquimicas.pdf
- Guerrero, L. I., Ponce, A. E., & Pérez, C. M. de L. (2002). *Curso práctico de tecnología de carnes y pescados*. México, D.F.
- Hernández, C. I., Rejón, Á. M., Valencia, H. E., & Araujo, A. L. (2014). ANÁLISIS DE INVERSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE OVINOS EN EL MUNICIPIO DE TZUACAB, YUCATÁN, MÉXICO. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, 667-67.
- Hernández, P. P., González, A. A., Martínez, M. B. C., Sánchez, O. A., Ortiz, S. L., Molina, M. H. C., ... Aguirre, C. del C. A. (2010). *CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTO OVINO EN EL ESTADO DE VERACRUZ* (p. 53).
- Hernández, P. P., González, A. A., Martínez, M. B. C., Sánchez, O. A., Ortiz, S. L., Molina, M. H. C., ... Aguirre, C. del C. A. (2013). *Caracterización del sistema productivo ovino en el estado de Veracruz* (p. 53). Veracruz, México: Colegio de Postgraduados.
- Hunter Lab. (2017). Medición de color de carnes: espectrofotómetro para carnes | HunterLab.

- Koohmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E., & Wheeler, T. L. (2002). Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat science*, 62(3), 345–352.
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., & Delday, M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(02), 337-347. <https://doi.org/10.1079/PNS2003248>
- Martínez, D. E., Núñez, G. F. A., & Rodríguez, A. F. A. (2007). *Manual para la evaluación de corderos en pie y en canal*. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Motter, M. M., Corva, P., Krause, M., Perez Cenci, M., & Soria, L. (2009). Rol de la calpastatina en la variabilidad de la terneza de la carne bovina. *BAG. Journal of Basic and Applied Genetics*, 20(1), 0-0.
- NMX-FF-106-SCFI-2006. (2006). NMX-FF-106-SCFI-2006 Productos Pecuarios- Carne de Ovinos en Canal-Clasificación.
- OEIDRUS. (2016). OEIDRUS Veracruz. Oficina Estatal para el Desarrollo Rural Sustentable.
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C. H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., & Sentandreu, M. A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74(1), 44-58.
- Partida, de la P. J., Braña, V. D., Ríos, R. F. G., & Buendía, R. G. (2013). *Producción de Carne Ovina (Primera)*. Querétaro, México.
- Ríos, F., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J., García-López, J., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., & Portillo, J. (2011). Effect of breed on performance

- and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *South African Journal of Animal Science*, 41(3). <https://doi.org/10.4314/sajas.v41i3.10>
- SAGARPA. (2016). Se inseminarán este año 120 mil corderos para mejorar el rebaño nacional: SAGARPA.
- SIAP, S. de I. A. y P. (2016). Población ganadera: Ovino.
- SIAP-SAGARPA, SIAVI-SE. (2014). *Panorama de la Carne y Lana de Ovino*.
- SIPROV. (2012). SISTEMA PRODUCTO ESPECIE OVINO VERACRUZANO AC.
- SNIIM. (2017, julio 20). SNIIM - Sistema Nacional de Información de Mercados. Secretaría de Economía Precios de Frutas, Hortalizas, Vegetales, Carnes, Pescados, Pecuarios, Pesqueros.
- Sousa, W. H. de, Brito, E. de A., Medeiros, A. N. de, Cartaxo, F. Q., Cezar, M. F., & Cunha, M. das G. G. (2009). Morphometric and carcass characteristics of kid goats and lambs finished in feedlots. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(7), 1340-1346.
- Teira, G. (2004). Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la terneza. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 15(28), 215-244.
- Torrescano-urrutia, G. R., Sánchez-Escalante, A., Peñúñuri-Molina, F. J., Velázquez-Caudillo, J., & Tineo-Sierra, R. (2009). CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE OVINOS Pelibuey, ENGORDADOS EN HERMOSILLO, SONORA. *Biotecnia*, 11(1), 41–50.
- UNO. (2007). Catálogo de razas. Asociación Mexicana de Criaderos de Ovinos.

- Warner, R. D., Greenwood, P. L., Pethick, D. W., & Ferguson, D. M. (2010). Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science*, 86(1), 171-183.
- Zhou, H., Hickford, J. G. H., & Gong, H. (2007). Polymorphism of the ovine calpastatin gene. *Molecular and Cellular Probes*, 21(3), 242-244.

CAPÍTULO I. GROWTH PERFORMANCE AND CARCASS CLASSIFICATION OF PURE PELIBUEY AND CROSSBRED LAMBS RAISED UNDER AN INTENSIVE PRODUCTION SYSTEM IN A WARM-HUMID CLIMATE

Miriam Rosas-Rodríguez^a, Josafhat Salinas-Ruíz^a, Benjamín Alfredo Piña-Cárdenas^b, Julio Miguel Ayala-Rodríguez^a, Juan Valente Hidalgo-Contreras^a, Fernando Carlos Gómez-Merino^a, J. Salazar-Ortiz^{a*}

^aColegio de Postgraduados Campus Córdoba. Department of Sustainable Agri-Food Innovation Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, Mexico. C. P. 94946

^bInstituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental La Posta. Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 22.5, Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México. C. P. 94277.

* Corresponding author

E-mail address: salazar@colpos.mx (J. Salazar-Ortiz)

Abstract

The effect of breed on growth, characteristics, and carcass classification was investigated using 11 Charollais x Pelibuey (ChP) lambs, 10 Dorper x Pelibuey (DP) lambs, and 18 Pelibuey (P) lambs in an intensive production system in a warm-humid climate. A significant effect of genotype ($P < 0.05$) was observed on birth weight (BW), weaning weight (WW), and daily weight gain (DWG), all of which were higher in the ChP genotype. ChP and DP lambs reached commercial weight 35 and 23 days earlier, respectively, than P lambs. Genotype did not have a marked influence on the carcass characteristics but did affect carcass conformation and classification. The probability of obtaining a carcass with good conformation and MEX 1 classification (good, MEX 1) is 72% higher for the ChP genotype than for the P genotype. The loin and leg yields of the ChP genotype were higher than those of the other genotypes. The pH, temperature, and instrumental color of the carcass, meat, and subcutaneous fat were affected by genotype. ChP lambs showed better growth, characteristics, and carcass classification than lambs of the DP and P genotypes.

Keywords

Lamb, Hair sheep, Carcass, Commercial cuts, Meat.

1.1. Introduction

In Mexico, sheep production is important due to the high demand for and insufficient domestic production of meat (Partida, Vázquez, Rubio, & Méndez, 2012; Ríos et al., 2011). In warm-humid regions, local forage production is favorable, and sheep meat production could be improved year-round to meet domestic demand. In local sheep production systems, including those in warm-humid regions, meat production can be improved by the use of specific technologies and management strategies (Muñoz-Osorio, Aguilar-Caballero, Sarmiento-Franco, Wurzinger, & Cámara-Sarmiento, 2016). One of these strategies is the crossing of local breeds such as the Pelibuey breed of sheep with large wool breeds to produce crossbred lambs, since the animals resulting from these crosses present greater daily weight gain (Pineda, Palma, Haenlein, & Galina, 1998).

The Pelibuey is a medium-sized hair breed and is distributed throughout a large portion of the Mexican territory (Partida, Braña, & Martínez, 2009). It is a breed that is used for meat production because it possesses hardiness characteristics that allow it to adapt to different climates (Gutiérrez, Rubio, & Méndez, 2005; Partida, Braña, Jiménez, Ríos, & Buendía, 2013). It has low reproductive seasonality, high prolificacy, and resistance to parasites, although fattening animals have lower growth rates than the traditional wool breeds (Wildeus, 1997). Due to their specific characteristics and under the conditions of the production systems in use in Mexico, Pelibuey sheep can be used as a maternal breed for crossing with other breeds specialized for meat production (Partida et al., 2013) to obtain lambs that develop carcasses with better meat conformation. However, the productive performance and carcass characteristics of the

Pelibuey breed have been less satisfactory than those of other breeds with better meat conformation (Partida et al., 2009), and sometimes these carcass characteristics are not improved by crossing with certain specialized wool breeds (Gutiérrez et al., 2005). Due to the recent introduction into Mexico of new breeds of sheep with greater specialization for meat production (for example, the Charollais and Dorper breeds) and the possibility that these breeds may be of potential use in crossing with the Pelibuey breed, it is necessary to evaluate the productive performance (birth weight, weaning weight, daily weight gain, and fattening days) and the carcass meat characteristics of lambs that result from crossing with the Pelibuey breed.

Standards for the evaluation of the quality of sheep carcass meat vary worldwide. To guide and strengthen the chain of production, processing, marketing, and consumption of sheep meat and to define the quality characteristics of sheep carcasses for national commercialization in Mexico, the Mexican standard for the classification of sheep carcass meat, NMX-FF-106-SCFI-2006, was created. However, there are few reports of its application in the evaluation of sheep carcass meat. Likewise, there is little information on the growth and characteristics of either purebred Pelibuey lambs or lambs obtained by crossing this breed with breeds such as Dorper and Charollais. To meet the current and future demand of the domestic market, it is important to determine the effect of breed on the growth of lambs, their age at slaughter, and the quality of the carcass meat for breeds currently in use in Mexico and thereby to generate information that contributes to the commercialization of quality carcass meat. The objective of the present study was to evaluate the effect of breed on the growth, characteristics, and

carcass classification of purebred Pelibuey lambs and lambs obtained by crossing the Pelibuey breed with the Dorper and Charollais breeds.

1.2. Materials and methods

The research was conducted from 2015 to 2017 at the facilities of the Ovine Experimental Area of the Córdoba Campus Postgraduate School located on the Córdoba-Veracruz federal highway at km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. The geographic location is 18°51'20"N and 96°51'37"W, at an altitude of 650 MASL (meters above sea level). The climate is warm-humid with abundant rains in summer; the average annual temperature is 22°C, and the annual rainfall is 2,000 mm (García, 2004). The experiment was conducted according to the criteria set forth in the Official Mexican Standard on technical specifications for the production, care, and use of laboratory animals (NOM-062-ZOO-1999) and in accordance with the Regulations for the Use and Care of Animals Intended for Research of the Graduate School.

2.1 Experimental animals and diet

Thirty-nine male lambs from an experimental herd (Charollais x Pelibuey (n = 11), Dorper x Pelibuey (n = 10), and Pelibuey (n = 18)) were reared by their mothers. In the first week of lactation, the lambs stayed with their mothers; after this period, the ewes went out to pasture from 10:00 to 14:00 h, returning to nurse their young and to stay all night. The lambs were provided with a commercial diet (Agribands Purina Mexico creep feeding) from birth to weaning in feeders with restricted access for mothers. After weaning, the lambs were fed a diet of mechanically minced sugarcane forage with an approximate particle size of 3.0 cm and a commercial feed concentrate (Agribands Purina Mexico) containing 15% crude protein (CP) and consisting mainly of ground

cereals, a combination of oilseed pastes, cereal by-products, molasses, coconut paste, and vegetable oil. This food was offered freely to the lambs only once daily (7:00 to 8:00 a.m.). Water was available ad libitum in cup drinkers.

2.2 Lamb growth performance

The weight of the lambs was measured at birth (within the first 24 h of life, BW) and every 15 d thereafter until they reached slaughter weight (approximately 45 kg). The lambs' weaning weights (WW) were also recorded (approximately 75 d). The fattening days (FD) were determined as the number of days between weaning and slaughter. The daily weight gain (DWG) was determined from the difference in the slaughter weight and the WW divided by the FD. The lambs were slaughtered at similar average live weights.

2.3 Lamb carcass yield

The slaughter of the animals was conducted in the municipal slaughterhouse of Orizaba, Veracruz, Mexico, at a distance of 18 km from the facilities of the Graduate School under the specifications established in standard NOM-033-SAG/ZOO-2014. Each lamb was individually carried, and the animals were transported at a population density of 0.2 m²/lamb to minimize the likelihood of injury. Prior to slaughter (12:00 h), food availability to the lambs was reduced, and they were fasted for 4 hours and transported to the slaughterhouse on the day of the slaughter. The live weight (LW) of the lambs was recorded at the slaughterhouse. They were then stunned using a captive bolt pistol, and exsanguination was performed through a cut in the carotid artery and the jugular vein. The animals were then skinned and eviscerated. Non-carcass components such as the head and hooves were removed and weighed separately. The

weights of the blood, skin, full and empty green viscera, red viscera, and bile were also recorded. The hot carcass weight (HCW) was recorded immediately to determine the hot carcass yield ($HCW/LW*100$).

When the carcasses reached room temperature, they were stored in a cold room at 4°C for 24 h, where they were hung by both Achilles tendons. Subsequently, the following measurements were made: cold carcass weight (CCW) for determining the cold carcass yield (CCW/LW), weight loss ($HCW-CCW$), dorsal fat thickness, and rib eye perimeter. To determine the fat thickness and the area of the rib eye of the *longissimus dorsi*, a cut was made between the 12th and 13th ribs, the thickness of the dorsal fat was measured with a digital caliper, and the perimeter of the rib eye was drawn on acetate paper. The rib eye area was estimated from the perimeter using an LI 3100 leaf area meter (LICOR®, Lincoln, NE, USA).

2.4 Lamb carcass conformation-classification and commercial meat cuts

The carcasses were evaluated by five trained evaluators. The training of the evaluators consisted of several training sessions in ovine carcass quality. The photographic standards used for the evaluation of the carcasses obtained in this experiment are shown in Figure 3. The evaluation of the carcasses was based on the criteria of the Mexican standard for the classification of lamb carcasses (NMX-FF-106-SCFI-2006) (Secretaría de Economía, 2006). This standard describes three carcass conformation categories (excellent, good, and deficient) and four quality grade categories for the complete carcass; in order of decreasing quality, the latter are Mexico Extra (MEX EXT), Mexico 1 (MEX 1), Mexico 2 (MEX 2), and Out of Classification (O/C). The criteria for classification include the age of the animal, the slaughter weight, the carcass

conformation, and the dorsal fat thickness in the *longissimus dorsi* muscle at the height of the 12th rib (fat/conformation ratio).

The carcasses were divided longitudinally along the dorsal spine. The right half was divided into six commercial sections in a modification of the procedure described by Martínez, Núñez, & Rodríguez (2007): *cuello* (neck, 1st to 5th cervical vertebrae); *hombro* (shoulder, bone base: scapula and humerus including the first 5 ribs in a perpendicular section located under this); *brazuelo* (foreshank and breast, including the radius, from the 2nd to the 11th rib in a perpendicular section with the flank); *costillar* (ribs, 5th to 12th thoracic vertebrae); *lomo* (loin, *longissimus lumborum* from the 13th thoracic vertebra to the 7th lumbar vertebra); and *pierna* (leg, the section between the last lumbar vertebra and the first sacral vertebra). The sections were weighed individually, and the yield (%) was determined with respect to the weight of the right half of the carcass.

2.5 Measurements of carcass color, temperature, and pH

The instrumental color, temperature, and pH of the carcasses were measured at 30 min and 24 h after slaughter. The instrumental color was measured according to the CIE L*a*b* scale. For the color_{30min} of the carcass, the reading was made of the *rectus abdominis* muscle (Colomer-Rocher, Delfa, & Sierra, 1988); for the color_{24h}, the reading was made of the *longissimus dorsi*, and for the fat color, the reading was made of the fat coverage of the leg. A portable colorimeter was used to measure this variable (Mod CR-300/410, Minolta, Tokyo, Japan). Illuminant D65 was used as an observation standard at a visual angle of 10° and an 8-mm aperture. The temperature of the hot carcass (HC) and that of the cold carcass (CC) were measured by inserting a food-

grade punch thermometer into the muscle mass (leg). The pH_{30min} was measured using a potentiometer equipped with a puncture electrode (pH meter Mod HI 99163, Hanna, TX, USA) after calibration of the equipment using buffer solutions at pH 4.0 and 7.0, choosing the same point for all the carcasses. The pH_{24h} of the meat (*longissimus dorsi*) was measured according to the methodology described by Guerrero, Ponce, & Pérez (2002) using a potentiometer (Mod pH 1100, Oaklon, Eutech Instruments, Singapore) previously calibrated with pH 4.0, 7.0, and 10.0 buffer solutions. All measurements were performed in triplicate.

2.6 Statistical analysis

The data were analyzed using the GLIMMIX procedure in SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The type of breed was considered as the main effect in the model.

For the DWG and FD variables, the following covariance model was used:

$$y_{ij} = \mu + \mathit{breed}_i + (\beta + \delta_i)X_{ij} + \mathit{animal}_j + \varepsilon_{ij};$$

where $i = 1,2,3$; $j = 1, \dots, 39$, y_{ij} are the FD of breed i in animal j , μ is the general mean, breed_i is the fixed effect due to genotype i , $(\beta + \delta_i)X_{ij}$, β is the intercept of the covariate X_{ij} weaning weight, δ_i is the slope of the genotype, animal_j is the random effect due to the animal, assuming $\mathit{animal}_j \sim IIDN(0, \sigma_{\mathit{animal}}^2)$, and ε_{ij} is the experimental error with $\varepsilon_{ijk} \sim IIDN(0, \sigma^2)$.

To analyze the variables of productive development, carcass characteristics, commercial cuts, and carcass and meat quality, the following mixed model was used:

$$y_{ij} = \mu + \mathit{breed}_i + \mathit{animal}_j + \varepsilon_{ij};$$

where $i = 1,2,3; j = 1, \dots, 39$, y_{ij} is the variable of the response of the type of cross i , in animal j , μ is the general mean, $breed_i$ is the fixed effect due to breed, $animal_j$ is the random effect due to the animal, assuming $animal_j \sim IIDN(0, \sigma_{animal}^2)$, and ϵ_{ij} is the experimental error, assuming, $\epsilon_{ijk} \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Fisher's LSD method and Satterthwaite's degrees of freedom correction method were used to compare means (Satterthwaite, 1946).

The cumulative logit model was used to compare the carcass conformation and the quality grade of the genotypes. The linear predictor is $\eta_{ci} = \eta_c + \tau_i$, where η_{ci} is the linear predictor in category c th ($c = 0, 1$) for the i th genotype ($i = 1,2,3$), η_c is the intercept for the c th category, and τ_i is the i th fixed effect of the genotype. The Mexican standard for the classification of lamb carcasses establishes three categories for the conformation of the carcass (excellent, good, and deficient) and four categories for the quality grade of the whole carcass (in decreasing order of quality, these categories are MEX EXT, MEX 1, MEX 2, and O/C). In this study, only two categories for conformation (good and deficient) and two categories for quality grade (MEX 1 and MEX 2) were obtained and considered in the model for the analysis.

1.3. Results and discussion

1.3.1 Lamb growth performance

The productive behavior of the lambs according to genotype is shown in Table 2. The analysis of variance showed that there is a highly significant effect ($P = 0.0001$) of genotype on the variables BW, WW, and DWG. The average BW and WW were significantly greater in the Charollais x Pelibuey (ChP) genotype than in the Dorper x

Pelibuey (DP) genotype (by 0.47 kg and 2.94 kg, respectively) and in the Pelibuey (P) genotype (by 0.69 kg and 4.05 kg, respectively). There was a significant effect of genotype ($P = 0.0020$) and covariate weaning weight ($P = 0.0073$) on the number of FD. The number of FD required for the lambs to reach commercial weight was not significantly different in ChP and DP lambs, but FD in those groups differed significantly from that in P lambs. ChP and DP lambs reached commercial weight 35 and 23 days earlier than P lambs, respectively. The average daily weight gain (DWG) from weaning to slaughter differed significantly in the three groups; ChP and DP lambs showed higher DWG than P lambs (Figure 1). DWG was greater in the ChP genotype than in the DP genotype.

Cuadro 2. Productive behavior of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.

Variable	ChP (n = 11)	DP (n = 10)	P (n = 18)
BW (kg)	3.93 ± 0.24^a	3.46 ± 0.24^{ab}	3.24 ± 0.16^b
WW (kg)	19.39 ± 0.91^a	16.45 ± 0.92^b	15.34 ± 0.60^b
FD (weaning to slaughter)	106.87 ± 7.07^b	118.01 ± 6.76^b	141.35 ± 5.36^a
DWG, kg/d (weaning to slaughter)	0.278 ± 0.01^a	0.235 ± 0.01^b	0.207 ± 0.01^c

Means within the same row marked with different letters are significantly different ($P < 0.05$). BW: Birth weight; WW: Weaning weight; DWG: Daily weight gain; FD: Fattening days. The data are reported as the mean \pm the standard error (SE).

The present study showed that crossing of Pelibuey ewes with Charollais rams results in better productive development (BW, WW, FD and DWG) of lambs raised in

conditions of high temperature and humidity. In a study conducted by Soria et al. (2011) of lambs from ewes with meat suitability (Katahdin) and rams of four breeds (Charollais, Dorper, Suffolk, and Textel) under better environmental conditions for the production of sheep (dry temperate climate at 1,962 MASL), it was reported that the best productive behavior was found in lambs from the Katahdin x Charollais crossing. The production values cited in that study are similar to the values found in the present study. The BW values found in this study are superior to those reported in other studies (Bores, Velázquez, & Heredia, 2002; Macías-Cruz, Álvarez-Valenzuela, Olguín-Arredondo, Molina-Ramírez, & Avendaño-Reyes, 2012) in lambs from Blackbelly x Pelibuey ewes and rams of three different breeds (Dorset, Hampshire, and Suffolk) and lambs from Pelibuey ewes and hair breed rams (Pelibuey, Katahdin, and Dorper), with average reported values of 3.18 ± 0.34 and 2.9 ± 0.09 kg, respectively.

The DWG (kg/d) in the present study for the three genotypes was higher than the values reported by Bores et al. (2002) and Partida et al. (2009) in P (0.181 ± 0.02), Pelibuey x Suffolk (0.206 ± 0.03), DP (0.222 ± 0.03), F1 x Dorset (0.217 ± 0.05), F1 x Hampshire (0.219 ± 0.05), and F1 x Suffolk (0.222 ± 0.04) lambs. These differences may be due to the breeds used in the crossbreeding and to the management of the lambs during fattening. It is important to mention that no BW, WW, FD, or DWG values have previously been reported for the Charollais x Pelibuey (ChP) crossing. For the first time, we showed that the performance of ChP lambs with respect to the aforementioned variables is better than that of other crosses, even under stressful climatic conditions (high temperature and humidity). Thus, this crossing is a good alternative for the production of sheep in the tropics.

Figure 7 shows the change in live weight from birth to 5.5 months according to genotype. The graph shows that at the age of 5.5 months, lambs of the ChP and DP genotypes showed a higher growth rate, with average monthly weight gains of 6.71 and 5.42 kg, respectively, than lambs of the P genotype (5.02 kg), despite the fact that the initial weights of the lambs of the three genotypes were very similar. ChP lambs reached the commercial weight for slaughter 35 and 12 days before lambs of the P and DP genotypes, respectively. The Dorper breed has been recommended for the production of lambs with meat suitability in crossbreeding (da Silva et al., 2014; Soria et al., 2011). However, the results obtained in this investigation show that crossing of Charollais rams with Pelibuey ewes results in lambs that are more suitable for the production of meat due to their better growth rate.

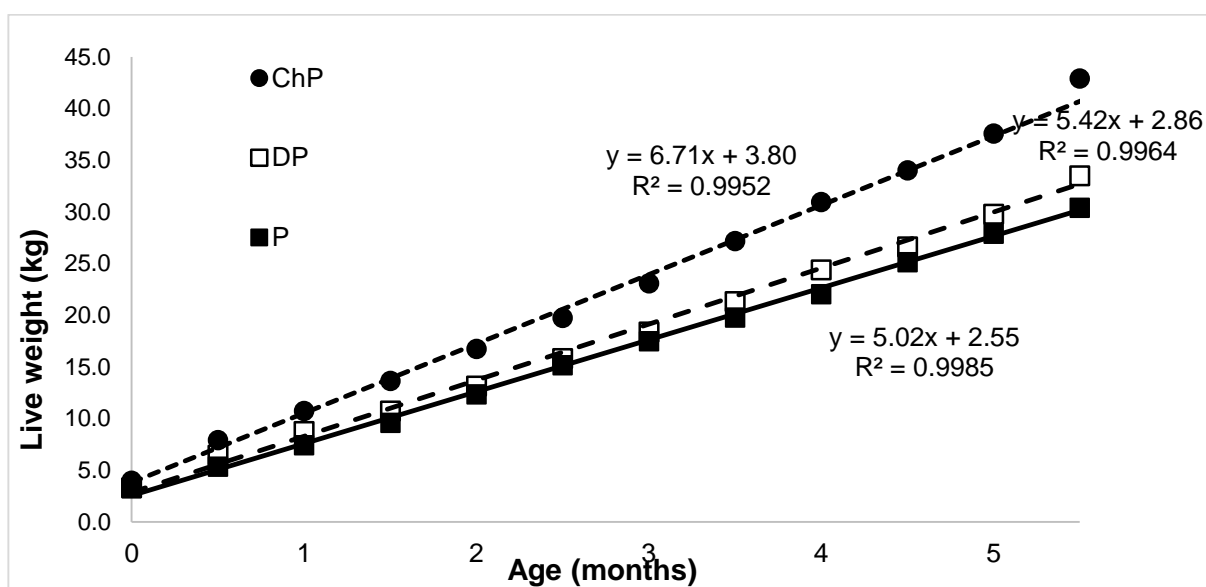


Figura 7. Change in live weight from birth to 5.5 months of age of Charollais x Pelibuey (ChP, closed circles), Dorper x Pelibuey (DP, open boxes), and Pelibuey (P, closed boxes) lambs. The regression lines are presented for each breed from birth to 5.5 months of age.

1.3.2 Lamb carcass yield

The analysis of variance showed a highly significant effect of genotype on carcass weight loss ($P = 0.0072$) and on the weight of empty green viscera ($P = 0.0001$). There was no significant effect of genotype on the remaining variables (Table 3). Weight loss between hot and cold carcasses was lower in the ChP genotype; the weight of empty green viscera was significantly different among the three breeds and was higher in the hair breeds (P and DP). Lambs of the three genotypes showed similar average cold carcass yield (CCY) values because the weight of the animals at slaughter was standardized.

Cuadro 3. Characteristics of the carcasses of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.

Variable	ChP	DP	P
	(n = 11)	(n = 10)	(n = 18)
LW (kg)	44.85 ± 0.85	42.96 ± 0.89	43.17 ± 0.66
HCW (kg)	22.21 ± 0.47	21.45 ± 0.49	21.40 ± 0.36
CCW (kg)	21.86 ± 0.46	21.03 ± 0.49	20.91 ± 0.36
HCY (%)	49.53 ± 0.44	49.89 ± 0.46	49.53 ± 0.34
CCY (%)	48.74 ± 0.43	48.90 ± 0.45	48.46 ± 0.33
Loss of weight (kg)	0.35 ± 0.03 ^b	0.42 ± 0.03 ^{ab}	0.50 ± 0.02 ^a
Dorsal fat thickness (mm)	1.51 ± 0.17	1.63 ± 0.18	1.56 ± 0.13
Area of the rib (cm²)	14.66 ± 0.69	15.43 ± 0.81	15.83 ± 1.33
Red viscera (kg)	1.98 ± 0.39	1.98 ± 0.41	2.39 ± 0.30
Empty green viscera (kg)	3.84 ± 0.13 ^c	4.31 ± 0.13 ^b	4.87 ± 0.10 ^a

Means within a row marked with different letters are significantly different ($P < 0.05$). LW: Empty live weight; HCW: Hot carcass weight; CCW: Cold carcass weight; HCY: Hot carcass yield; CCY: Cold carcass yield. The data are reported as the mean \pm the standard error (SE).

In this study, genotype was not found to affect the CCY, consistent with the results obtained by Bores et al. (2002) and Gutiérrez et al. (2005) in lambs with standardized weights at slaughter and from hair sheep ewes and rams of the Dorset, Hampshire, Suffolk, Pelibuey, and Rambouillet breeds. Those authors showed that there were no significant differences in CCY among the genotypes studied, but the values reported for CCY were lower than those obtained in this investigation. Carcass yield can be affected by factors such as the age of the lamb, wool growth, nutrition, and breed (Gardner et al., 2015). Our results showed no effect of breed on the CCY. In this sense, Gutiérrez et al. (2005) state that with the standardization of the weight at slaughter, the carcass yield is not affected. In our study, ChP lamb carcasses lost less weight at 24 h after slaughter (0.15 kg) than P and DP carcasses. In contrast, in the crossing of Pelibuey with Rambouillet and Suffolk breeds, no differences were found in this variable (Gutiérrez et al., 2005).

Another important characteristic of the carcass is dorsal fat thickness. Low values of this parameter are an indicator of lean meat, which is preferred in the Mexican market (Gutiérrez et al., 2005). The average dorsal fat thickness values in this study were very low (ChP = 1.51 ± 0.17 mm, DP = 1.63 ± 0.18 mm, P = 1.56 ± 0.13 mm) despite the high slaughter weight of the animals. Similar values have been reported for Pelibuey (1.2), Pelibuey x Katadhin (1.8 mm), DP (1.8 mm), Pelibuey x Rambouillet (1.7 mm), and Pelibuey x Suffolk (1.4 mm) lambs (Estrada et al., 2012; Gutiérrez et al., 2005; Ríos et al., 2011). On the other hand, higher values of dorsal fat thickness (6.33 ± 1.22

mm) have been reported in lambs obtained by crossing Katahdin ewes with Charollais rams (Soria et al., 2011). This may be because the Katahdin and Charollais breeds undergo rapid growth and accumulate dorsal fat at a young age compared to the Pelibuey breed, which is slower-growing and tends to accumulate more visceral fat than dorsal fat (Muñoz-Osorio et al., 2016).

The rib eye area is an indicator of the muscle conformation of the carcass (Hopkins, Wotton, Gamble, & Atkinson, 1995); the greater the rib eye area, the better is the muscle conformation. In this study, genotype did not influence the rib eye area or the area of the *longissimus dorsi* muscle (ChP = 14.66 ± 0.69 cm², DP = 15.43 ± 0.81 cm², and P = 15.83 ± 1.33 cm²). Lower values have been reported in DP (11.01 cm²), Pelibuey, Pelibuey x Rambouillet and Pelibuey x Suffolk (5.16 ± 0.13 cm²) and Black Belly (10.89 cm²) lambs (Estrada et al., 2012; Gutiérrez et al., 2005; Ríos et al., 2011; Salinas-Ríos et al., 2014). The highest rib eye area values (19.8 ± 0.5 cm²) were found in Katahdin x Charollais and Katahdin x Dorper lambs treated with β -adrenergic agonists during fattening (Partida, Cesaya, Rubio, & Méndez, 2015). Breed, diet, and hormonal treatment affect muscle development (Ferreira, Rossi, Coelho, Fucilini, & Benedetti, 2012).

1.3.3 Classification, conformation of the carcass, and commercial cuts

The estimated probabilities of carcass conformation and quality grade according to genotype are shown in Figure 2. The *f* analysis showed a statistically significant effect among genotypes ($P = 0.0382$) on the carcass conformation and quality grade. Of the carcasses evaluated according to the NMX-FF-106-SCFI-2006 standard, the ChP genotype showed better carcass conformation and quality grade than the DP and P

genotypes. The lambs obtained from the crossing of Pelibuey ewes with the Charollais breed showed better carcass conformation and quality grade than the other animals, as shown by the fact that the probability of obtaining good conformation and MEX 1 quality grade in the ChP genotype is 0.10 and 0.72 units higher, respectively, than that for the DP and P genotypes. The P genotype showed the highest percentage (72%) of carcasses with deficient conformation and MEX 2 quality grade, whereas 10% of the carcasses of the DP genotype and none of the carcasses of the ChP genotype displayed deficient quality and conformation. In general, crossbreeding DP and ChP resulted in better classification, better carcass conformation, and better quality grade than were obtained with genotype P (Figura 8).

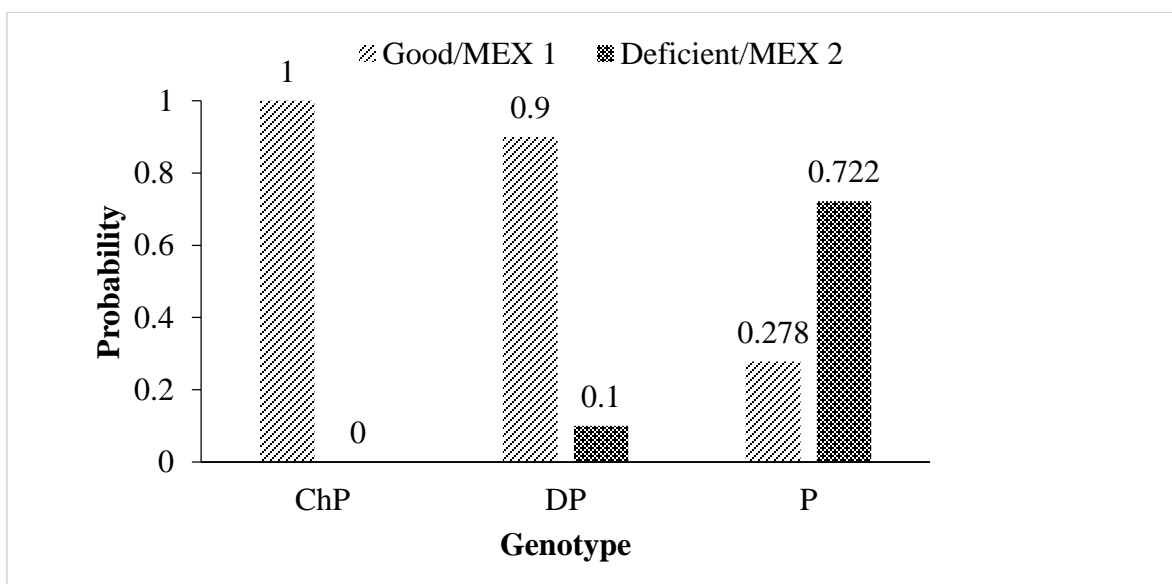


Figura 8. Estimated probabilities of achieving specific carcass conformation categories and quality grades for Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs using a cumulative logit model.

Figure 9 shows the photographic standards used to evaluate the carcasses obtained in this experiment. The crossing of Pelibuey ewes with rams from the Charollais and Dorper breeds conferred better carcass conformation and quality grade because the

latter two breeds present better meat conformation (Partida et al., 2012) than the pure Pelibuey breed. This is consistent with the results of a study conducted by Soria et al. (2011) in which the crossing of Katahdin x Charollais was shown to yield carcasses with excellent conformation and MEX EXT quality grade; in that case, both of the breeds used in the cross are suitable for meat production.

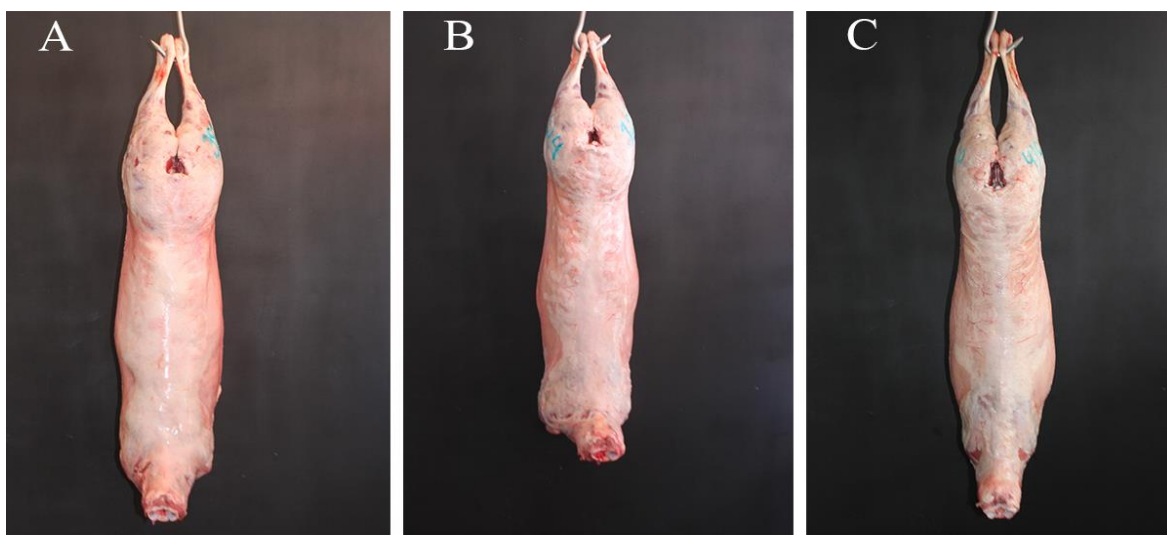


Figura 9. Lamb carcasses classified according to the Mexican standard NMX-FF-106-SCFI-2006. (A) Charollais x Pelibuey (Good conformation, MEX 1 quality grade); (B) Dorper x Pelibuey (Good conformation, MEX 1 quality grade); and (C) Pelibuey (Deficient conformation, MEX 2 quality grade).

The average weight of the half carcass and the weight and yield of commercial cuts according to genotype are shown in Table 4. The analysis of variance showed a highly significant effect of genotype on the average weight of the neck ($P = 0.0036$), loin ($P = 0.0339$), and leg ($P = 0.0001$), but no significant effect of genotype was observed for the other commercial cuts or for the average weight of the half carcass. In the yield of the commercial cuts, there was a significant effect of genotype on the neck ($P = 0.0060$), the foreshank+breast ($P = 0.0289$), the loin ($P = 0.0484$), and the leg ($P = 0.0088$). The P genotype presented higher neck weight and yield than the ChP and DP

genotypes, whereas only the P genotype presented greater loin weight than the DP genotype. It was observed that of the three genotypes ChP presented greater leg weight and yield and greater foreshank+breast yield than the other two genotypes.

Cuadro 4. The average weight of the half carcass and the weight and yield of the commercial cuts of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.

Variable	ChP (n = 11)	DP (n = 10)	P (n = 18)
Half-carcass weight	10.45 ± 0.26	10.17 ± 0.27	10.36 ± 0.20
Commercial cuts (kg)			
Neck	0.58 ± 0.03 ^b	0.56 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.02 ^a
Shoulder	1.57 ± 0.05	1.57 ± 0.05	1.54 ± 0.04
foreshank+breast	2.43 ± 0.12	2.23 ± 0.13	2.13 ± 0.09
Ribs	1.18 ± 0.07	1.14 ± 0.07	1.14 ± 0.06
Loin	1.58 ± 0.08 ^{ab}	1.46 ± 0.08 ^b	1.72 ± 0.06 ^a
Leg	3.44 ± 0.09 ^a	3.13 ± 0.09 ^b	3.15 ± 0.08 ^b
Yield of commercial cuts (%)			
Neck	5.68 ± 0.37 ^b	5.64 ± 0.35 ^b	6.96 ± 0.28 ^a
Shoulder	15.52 ± 0.44	15.51 ± 0.42	14.83 ± 0.33
foreshank+breast	24.28 ± 1.05 ^a	21.91 ± 0.99 ^{ab}	20.59 ± 0.79 ^b
Ribs	10.51 ± 0.35	11.22 ± 0.33	10.47 ± 0.26
Loin	15.31 ± 0.71 ^{ab}	14.39 ± 0.68 ^b	16.57 ± 0.53 ^a
Leg	32.81 ± 0.58 ^a	31.35 ± 0.55 ^{ab}	30.41 ± 0.43 ^b

Means within the same row marked with different letters are significantly different ($P < 0.05$). The data are reported as the mean \pm the standard error (SE).

The leg and loin are cuts of great commercial value and represent 43.3% of the yield of the carcass (Martínez et al., 2007). In this study, the yield obtained for both of these cuts was greater than the reported value in all three genotypes: ChP (48.12%), DP (45.74%), and P (46.98%). Contrary to the results reported by Gutiérrez et al. (2005), who found a difference only for the shoulder, in this study, the crossing of Pelibuey with Charollais resulted in greater weight of the leg, which is a cut of high commercial value. However, 1 to 4% differences among the genotypes were observed in the weights of the neck, loin, leg, and foreshank+breast cuts in our study, consistent with Kirton et al. (1996), who reported minimal differences in the weights of the majority of commercial cuts in the evaluation of 15 wool breeds specialized for the production of wool or meat. In crossbred lambs of hair breeds (DP) and hair x wool breeds, Santos, Ezequiel, Morgado, & De Sousa (2013) and Gutiérrez et al. (2005) reported differences in cut yield of approximately 1%, similar to the differences found in this study.

1.3.4 pH, temperature, and instrumental color of the carcass and meat

Table 5 presents the average values of pH, temperature, and instrumental color of the *rectus abdominis* muscle, meat, and subcutaneous fat according to genotype. Of the variables measured in the carcass, $T_{30\text{min}}$ ($P = 0.0658$), L^* ($P = 0.0001$), and a^* ($P = 0.0107$) were affected by genotype. The analysis of variance also showed significant differences in the variables $\text{pH}_{24\text{h}}$ ($P = 0.0607$), L^* ($P = 0.0001$), a^* ($P = 0.0001$), and b^* ($P = 0.0006$), measured in the meat (*longissimus dorsi*) and in L^* ($P = 0.0001$) of the subcutaneous fat; no differences were observed in the remaining variables. The ChP genotype presented a higher carcass temperature than the P genotype; however, the

24-h *post mortem* temperature was similar among the three genotypes (T_{24h} , $P = 0.2643$) because the carcasses were maintained under the same storage conditions (24 h at 4°C). The average value of pH_{24h} was greater in the ChP genotype than in the P genotype.

Cuadro 5. The pH, temperature, and instrumental color of the rectus abdominis muscle and meat of Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP), and Pelibuey (P) lambs.

Variable		ChP	DP	P
		(n = 11)	(n = 10)	(n = 18)
pH_{30min}		6.64 ± 0.06	6.72 ± 0.06	6.75 ± 0.04
pH_{24h}		5.66 ± 0.02 ^a	5.61 ± 0.02 ^{ab}	5.59 ± 0.02 ^b
T_{30min} (°C)		39.88 ± 0.23 ^a	39.37 ± 0.24 ^{ab}	39.19 ± 0.18 ^b
T_{24h} (°C)		4.64 ± 0.19	4.20 ± 0.20	4.33 ± 0.15
Rectus abdominis	L*	41.35 ± 0.78 ^b	38.20 ± 0.82 ^c	44.32 ± 0.61 ^a
	a*	12.78 ± 1.40 ^b	13.30 ± 1.46 ^b	17.80 ± 1.09 ^a
	b*	-0.81 ± 0.33	-0.94 ± 0.35	-1.22 ± 0.26
Longissimus dorsi_{24h}	L*	33.69 ± 0.66 ^b	32.61 ± 0.69 ^b	37.31 ± 0.51 ^a
	a*	14.73 ± 0.42 ^b	13.84 ± 0.45 ^b	17.24 ± 0.33 ^a
	b*	4.29 ± 0.23 ^a	3.33 ± 0.24 ^b	4.66 ± 0.18 ^a
Subcutaneous fat	L*	68.41 ± 1.38 ^b	67.98 ± 1.45 ^b	73.15 ± 1.08 ^a
	a*	3.32 ± 0.45	3.6 ± 0.48	3.14 ± 0.35
	b*	4.29 ± 0.46	4.31 ± 0.49	4.93 ± 0.36

Means within the same row marked with different letters are significantly different ($P < 0.05$). The data are reported as the mean ± the standard error (SE).

The pH and color of meat are important indicators of quality and influence the visual appearance of the meat (Hopkins & Fogarty, 1998). The difference in pH at 24 h *post mortem* among the genotypes in this study was probably because the $T_{30\text{min}}$ of the carcass tends to be lower in hair breeds than in wool breeds (Hernández-Cruz et al., 2009), and it has been shown that the meat of fast-growing lambs tends to have a higher pH (Priolo, Micol, Agabriel, Prache, & Dransfield, 2002). However, the pH_{24h} values for the three genotypes in this study fell within the preferred range for this parameter (Sañudo, 2006).

The color of the *rectus abdominis* muscle (30 min *post mortem*) was significantly affected by genotype in this study. The values of a^* were similar to those reported by Sañudo, Alfonso, Sánchez, Delfa, & Teixeira (2000) in Rasa Aragonesa lamb carcasses for different thicknesses of dorsal fat with a slaughter weight of 50-60 kg. In contrast, Ripoll, González-Calvo, Molino, Calvo, & Joy (2013) obtained values higher than those reported in the present study for L^* (51.12) and a^* (11.64) in Rasa Aragonesa lambs, with a slaughter weight of 24 kg.

In the color of meat (*longissimus dorsi*), the ChP and DP genotypes presented indices of L^* (luminosity) and a^* (red) lower than those presented by the P genotype. During storage, the ferric metmyoglobin (MetMb) accumulation rate on the surface of the meat is governed by intrinsic factors (age of the animal, breed, sex, diet, pH, and metabolic type of the muscle) and extrinsic factors (temperature, oxygen availability, lighting, growth of surface microbes, and type of packaging) or a combination of these factors (Jeong et al., 2009; Renerre, 1990). In this study, it was observed that genotype affected the color of the meat; meat color was probably also affected by the exposure

time of the carcasses prior to cold-room storage (Priolo et al., 2002). A similar effect was reported by Burke, Apple, Roberts, Boger & Kegley (2003) and by Partida et al. (2012), who found an effect of genotype on the a^* and b^* indices of meat color in hair breed lambs and lambs obtained by crossing hair and wool breeds.

With respect to subcutaneous fat, there were no significant differences in the indices a^* ($P = 0.7484$) or b^* ($P = 0.4617$) among the three genotypes. The b^* (yellow) index of subcutaneous fat was similar in the three genotypes because the lambs underwent the same management during fattening and remained stabled; grazing lambs tend to have higher b^* index values (Priolo et al., 2002) due to the presence of high levels of carotenoids in the fat (Daley, Abbott, Doyle, Nader, & Larson, 2010), resulting in a yellow color that is unattractive to consumers.

1.4. Conclusion

Breed had a significant effect on the growth, characteristics, and classification of lamb carcasses. The crossing of Pelibuey sheep with the Charollais breed (ChP) resulted in higher DWG. ChP and DP lambs reached commercial weight one month earlier than P lambs. With the ChP crossing, there is a high probability (0.72) of obtaining carcasses that show good conformation and good quality grade (MEX 1). Therefore, the ChP crossing can be an option for the commercial breeding and fattening of lambs for the production of quality meat in hot, humid climates.

Declaration of conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

We thank the Liaison Branch of the Córdoba Campus Graduate School for the support provided for this work in the Priority Care Center Microregion. This research was funded by the Graduate School; Miriam Rosas-Rodríguez was supported by a student scholarship from the National Council for Science and Technology (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONACyT*) (Mexico).

1.5. Bibliography

- Bores, Q. R. F., Velázquez, M. P. A., & Heredia, y A. (2002). Evaluación de razas terminales en esquemas de cruce comercial con ovejas de pelo F1. *Técnica Pecuaria en México*, 40(1).
- Burke, J. M., Apple, J. K., Roberts, W. J., Boger, C. B., & Kegley, E. B. (2003). Effect of breed-type on performance and carcass traits of intensively managed hair sheep. *Meat science*, 63(3), 309–315.
- Colomer-Rocher, F., Delfa, R., & Sierra, A., I. (1988). Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea, según los sistemas de producción. En *Métodos normalizados para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales caprinas y ovinas* (Vol. 17, pp. 19-41). Madrid: Cuadernos INIA.
- da Silva, F. A., McManus, C., do Prado Paim, T., Dallago, B. S. L., Esteves, G. I. F., Louvandini, H., ... Lucci, M. C. (2014). Production traits in F1 and F2 crosses with naturalized hair breed Santa Inês ewes. *SpringerPlus*, 3(66).

- Daley, C. A., Abbott, A., Doyle, P. S., Nader, G. A., & Larson, S. (2010). A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal*, 9, 10.
- Estrada, A., H, Herrera, R. S., Robles, J. C., O, O. L., Castro, B. I., ... Contreras, G. (2012). Carcass characteristics and yield of the primary cuts of lambs fed broom millet (*Sorghum bicolor* var. *Technicum*, jav). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46(2).
- Ferreira, O. G. L., Rossi, F. D., Coelho, R. A. T., Fucilini, V. F., & Benedetti, M. (2012). Measurement of rib-eye area by the method of digital images. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(3), 811-814.
- García, E. (2004). *Modificación al sistema de clasificación climática de koppen* (5.^a ed.). México, D.F.: UNAM.
- Gardner, G. E., Williams, A., Ball, A. J., Jacob, R. H., Refshauge, G., Hocking Edwards, J., ... Pethick, D. W. (2015). Carcase weight and dressing percentage are increased using Australian Sheep Breeding Values for increased weight and muscling and reduced fat depth. *Meat Science*, 99, 89-98.
- Guerrero, L. I., Ponce, A. E., & Pérez, C. M. de L. (2002). *Curso práctico de tecnología de carnes y pescado*. México, D.F.
- Gutiérrez, J., Rubio, M. S., & Méndez, R. D. (2005). Effects of crossbreeding Mexican Pelibuey sheep with Rambouillet and Suffolk on carcass traits. *Meat Science*, 70(1), 1-5.
- Hernández-Cruz, L., Ramírez-Bribiesca, J. E., Guerrero-Legarreta, M. I., Hernández-Mendo, O., Crosby-Galvan, M. M., & Hernández-Calva, L. M. (2009). Effects of

- crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(2), 475-483.
- Hopkins, D. L., & Fogarty, N. M. (1998). Diverse lamb genotypes—2. Meat pH, colour and tenderness. *Meat Science*, 49(4), 477-488.
- Hopkins, D. L., Wotton, J. S. A., Gamble, D. J., & Atkinson, W. R. (1995). Lamb carcass characteristics. 2. Estimation of the percentage of saleable cuts for carcasses prepared as 'trim' and traditional cuts using carcass weight, fat depth, eye muscle area, sex, and conformation score. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35(2), 161–169.
- Jeong, J. y., Hur, S. j., Yang, H. s., Moon, S. h., Hwang, Y. h., Park, G. b., & Joo, S. t. (2009). Discoloration Characteristics of 3 Major Muscles From Cattle During Cold Storage. *Journal of Food Science*, 74(1), C1-C5.
- Kirton, A. H., Carter, A. H., Clarke, J. N., Sinclair, D. P., Mercer, G. J. K., & Duganzich, D. M. (1996). A comparison of 15 ram breeds for export lamb production 2. Proportions of export cuts and carcass class. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39(3), 333-340.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F., Olguín-Arredondo, H., Molina-Ramírez, L., & Avendaño-Reyes, L. (2012). Ovejas Pelibuey sincronizadas con progestágenos y apareadas con machos de razas Dorper y Katahdin bajo condiciones estabuladas: producción de la oveja y crecimiento de los corderos durante el período predestete. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44, 29-37.

- Martínez, D. E., Núñez, G. F. A., & Rodríguez, A. F. A. (2007). *Manual para la evaluación de corderos en pie y en canal*. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Muñoz-Osorio, G. A., Aguilar-Caballero, A. J., Sarmiento-Franco, L. A., Wurzinger, M., & Cámara-Sarmiento, R. (2016). Technologies and Strategies for Improving Hair Lamb Fattening Systems in Tropical Regions: A Review. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 267-277.
- Partida, de la P. J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G., & Buendía, R. G. (2013). *Producción de Carne Ovina*. Querétaro, México.
- Partida, de la P. J. A., Braña, V. D., & Martínez, R. L. (2009). Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruzas con Suffolk o Dorset. *Técnica Pecuaria en México*, 47(3), 313-322.
- Partida, de la P. J. A., Cesaya, R. T. A., Rubio, L. M. S., & Méndez, M. R. D. (2015). Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruzas terminales de corderos Kathadin. *Veterinaria México OA*, 2(2), 01–13.
- Partida, J. A., Vázquez, E., Rubio, M. S., & Méndez, D. (2012). Effect of Breed of Sire on Carcass Traits and Meat Quality of Katahdin Lambs. *Journal of Food Research*, 1(4), 141.
- Pineda, J., Palma, J. M., Haenlein, G. F. W., & Galina, M. A. (1998). Fattening of Pelibuey hair sheep and crossbreds (Rambouillet-DorsetxPelibuey) in the Mexican tropics. *Small Ruminant Research*, 27(3), 263-266.

- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S., & Dransfield, E. (2002). Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science*, 62(2), 179-185.
- Renner, M. (1990). Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(6), 613-630.
- Ríos, F. G., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., & Portillo, J. J. (2011). Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *South African Journal of Animal Science*, 41(3), 275-279.
- Ripoll, G., González-Calvo, L., Molino, F., Calvo, J. H., & Joy, M. (2013). Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. *Meat Science*, 93(4), 906-913.
- Salinas-Ríos, T., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Hernández-Bautista, J., Díaz-Cruz, A., Nava-Cuellar, C., Ortega-Cerrilla, M. E., ... Velasco, J. L. F. (2014). Carcass characteristics, physicochemical changes and oxidative stress indicators of meat from sheep fed diets with coffee pulp. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66(6), 1901-1908.
- Santos, C. V., Ezequiel, J. M. B., Morgado, E. da S., & De Sousa, J. S. C. (2013). Carcass and meat traits of lambs fed by-products from the processing of oil seeds. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35(4), 387-394.

- Sañudo, C. (2006). Calidad de la canal y de la carne en los ovinos: factores que la determinan. En *Revista Argentina de Producción Animal* (Vol. 26, pp. 155-167). Tandil (Buenos Aires).
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R., & Teixeira, A. (2000). Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56(1), 89-94.
- Satterthwaite, F. E. (1946). An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. *International Biometric Society*, 2(6), 110-114.
- Secretaría de Economía. (2006). *PRODUCTOS PECUARIOS - CARNE DE OVINO EN CANAL - CLASIFICACIÓN* (p. 21). México, D.F.: Secretaría de Economía.
- Soria, V., Tatiana, E., Peña, P. de la, Armando, J., Lozano, R., Salud, M., & Méndez Medina, D. (2011). Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. *Revista mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(3), 247-258.
- Wildeus, S. (1997). Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *Journal of Animal Science*, 75(3), 630–640.

CAPÍTULO II. SNPS EN EL GEN *CAST* Y SU RELACIÓN CON LA TERNEZA DE LA CARNE DE CORDEROS PELIBUEY PURA Y EN CRUZAMIENTO CON RAZA CHAROLLAIS Y DORPER

Miriam Rosas Rodríguez, MC

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, 2017

Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar variantes tipo SNP en el exón 6 del gen *Cast* y la posible relación con la terneza de carne en corderos Charollais x Pelibuey (ChP, n=10), Dorper x Pelibuey (DP, n=10) y Pelibuey (P, n=10). Se evaluó la fuerza de corte (FC) con la cuchilla de Warner Bratzler y la capacidad de retención de agua de muestras de carne extraída del músculo *Longissimus dorsi*. Se encontró efecto ($P < 0.05$) de la raza y edad del animal en FC y CRA. 22 secuencias de ADN del gen *Cast* (exón 6) fueron ensambladas y se identificaron 5 nuevos SNPs A17T, C24A, A33T, C50A y A71T. De los cuales, tres causan cambios no sinónimos (A17T, C24A, A33T), codifican para diferente aminoácido en la proteína calpastatina: K6M (Lis-Met), P17H (Prol-Hist), K24M (Lis-Met). La frecuencia genotípica de las mutaciones no sinónimas fue: 0.22 (C24A y A33T) en corderos P; 0.55, 0.33 y 0.11 (A17T, C24A y A33T, respectivamente) para corderos ChP; y 0.44, 0.33 y 0.22 (A17T, C24A y A33T, respectivamente) para corderos DP. El SNP C24A que causa un cambio de prolina por histidina o el cambio de lisina por metionina en la proteína calpastatina mostró una tendencia de conferirle menor fuerza de corte a la carne de los corderos ChP.

Palabras clave: Terneza, Calidad de carne, SNPs.

SNPS IN THE GEN CAST AND ITS RELATIONSHIP WITH THE TENDERNESS OF THE MEAT OF LAMBS PELIBUEY PURE AND IN CROSSBREEDING WITH CHAROLLAIS AND DORPER

Miriam Rosas Rodríguez, MC

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, 2017

Abstract

The objective of this study was to identify SNP-like variants in exon 6 of the Cast gene and the possible relationship with meat tenderness in lambs Charollais x Pelibuey (ChP, n = 10), Dorper x Pelibuey (DP, n = 10) and Pelibuey (P, n = 10). The shear force (SF) was evaluated with the Warner Bratzler method and the water holding capacity (CRA) of meat samples extracted from the Longissimus dorsi muscle. An effect ($P < 0.05$) of the breed and age of the animal was found in FC and CRA. 22 DNA sequences of the Cast gene (exon 6) were assembled and 5 new SNPs A17T, C24A, A33T, C50A and A71T were identified. Of which, three cause non-synonymous changes (A17T, C24A, A33T), they encode for different amino acid in the calpastatin protein: K6M (Lis-Met), P17H (Prol-Hist), K24M (Lis-Met). The genotypic frequency of non-synonymous mutations was: 0.22 (C24A and A33T) in lambs P; 0.55, 0.33 and 0.11 (A17T, C24A and A33T, respectively) for ChP lambs; and 0.44, 0.33 and 0.22 (A17T, C24A and A33T, respectively) for DP lambs. The SNP C24A causing a change of proline to histidine or methionine change of lysine in the calpastatin protein showed trend towards to confer less shear force of meat ChP lambs.

Keywords

Tenderness, Meat quality, SNPs.

2.1. Introducción

La carne es un producto muy importante en la alimentación humana y la calidad de ésta es uno de los factores que el consumidor aprecia para realizar la compra (Bernués, Olaizola, & Corcoran, 2003; Papanagiotou, Tzimitra-Kalogianni, & Melfou, 2013; Sepúlveda, Maza, & Pardos, 2011), la terneza o blandura, es el atributo más importante de la calidad de la carne (Ouali et al., 2006). La cual puede ser afectada por diferentes por factores ligados a la producción, al genotipo, la edad, el sexo del animal, el manejo de los animales durante el sacrificio y el manejo de la canal (Hopkins, 2017). Recientemente, se han reportado polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) en el gen *Cast*, asociados con la terneza de la carne; útiles para genotipar animales con características deseables (Cuetia, Posso, Muñoz, Ariza, & Alvarez, 2012), desarrollar programas de conservación y mejoramiento genético en el ganado ovino (Aali, Moradi-Shahrbabak, Moradi-Shahrbabak, & Sadeghi, 2014; M. Koohmaraie, Shackelford, & Wheeler, 2005; Motter, Corva, Krause, Perez Cenci, & Soria, 2009; Wang, Xu, Wu, & Zheng, 2011; Zhou, Hickford, & Gong, 2007), para ofrecer al consumidor carne de calidad.

El gen *Cast* codifica para la proteína calpastatina del músculo esquelético que tiene gran importancia para la producción, composición y calidad de carne (Aali et al., 2014; Motter et al., 2009). La calpastatina es la principal responsable de la tiernización de la carne (Mohammad Koohmaraie, 1994), se localiza cerca del núcleo y se difunde al citosol, regulando así la liberación de Ca^{2+} al citosol y la actividad proteolítica de las calpaínas (Tullio et al., 1999). La calpastatina del músculo esquelético ovino (*Ovis aries*) tiene 723 aminoácidos, en ARN maduro tiene 2, 604 pb y es codificada por el

gen *Cast*, de longitud de 89,945 pb, que consta de un dominio L y de 4 subunidades (Figura 1), ubicado en el cromosoma 5 (www.ncbi.nlm.nih.gov). El exón 6 es el exón más grande y se encuentra dentro de la región L del gen *Cast*, ésta región regula la captación y liberación de Ca^{2+} de la calpastatina. Estudios previos realizados mediante PCR SSCP y secuenciación del exón 6 del gen *Cast* reportan variantes tipo SNP's no sinónimas en ovinos (A11T, G96T, C110G), que se relacionan con la actividad de la calpastatina y la regulación *post mortem* de la terneza de la carne disminuyendo la fuerza de corte en carne de ovinos en razas Chall y Zel (Aali et al., 2017, 2014).

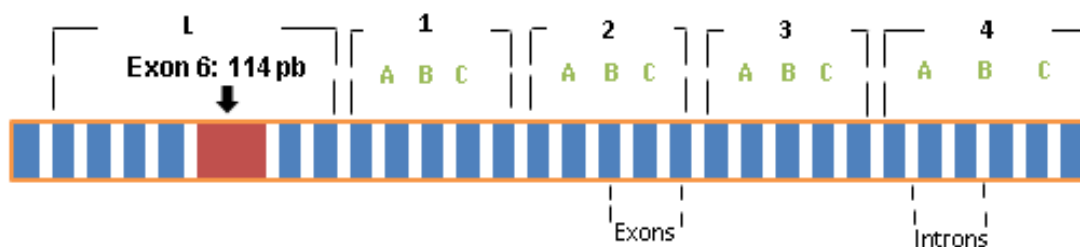


Figura 10. Estructura del gen *Cast* de *Ovis aries*: 29 exones y 28 intrones, tiene un dominio L y 4 dominios con 3 subdominios cada uno (L, 1, 2, 3 y 4).

En México, la ovinocultura es una actividad que tiene potencial, debido a la alta demanda de carne de cordero (Ríos et al., 2011), la cual no es cubierta con la producción a nivel nacional. En la actualidad producir carne de calidad de cordero debe ser primordial (Aali, Moradi-Shahrbabak, Moradi-Shahrbabak, Sadeghi, & Yousefi, 2017). La raza Pelibuey es la más producida en el país por poseer características de adaptación a diferentes climas y por su prolificidad. El objetivo del presente estudio fue analizar el exón 6 del gen *Cast*, mediante amplificación por PCR, secuenciación y análisis de secuencias para identificar SNP y su posible relación con la terneza de carne, en corderos de raza Pelibuey pura y en cruzamiento con razas de habilidad cárnica Dorper y Charollais.

2.2. Materiales y métodos

La investigación se realizó durante 2015 a 2017 en el Área Experimental de Ovinos (AREO) del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado en la carretera federal Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. La ubicación geográfica es 18°51'20"N y 96°51'37"W, a una altitud de 650 m. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación media anual de 2000 mm (García, 2004). El experimento se realizó siguiendo los criterios de la Norma Oficial Mexicana sobre especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999) y de conformidad con el Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados.

2.2.1. Animales experimentales

Treinta muestras de corderos machos (Pelibuey x Charollais n=10, Pelibuey x Dorper n=10 y Pelibuey n=10) fueron colectadas (7 de *Longissimus dorsi*, y 23 de sangre), las muestras de *Longissimus dorsi* fueron colectadas a las 24 h *post mortem* y fueron conservadas a - 20 °C y las muestras de sangre fueron colectadas con una jeringa estéril de la vena yugular del cordero a los 75 d de edad y fueron conservadas en tarjetas Whatman Mini Card con FTA™ (FTA™ minicard WHATMAN™, WB120355) de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

2.2.2. CRA y Fuerza de corte

La calidad de carne fue evaluada por medio capacidad de retención de agua (CRA) y Fuerza de corte con la cuchilla Warner-Bratzler, las mediciones se realizaron del

Longissimus dorsi el cual fue extraído de la canal derecha que fue conservada a 4 °C por 24 h después del sacrificio.

Fuerza de corte con la cuchilla de Warner - Bratzler. La Fuerza de corte (SF) se midió con un texturómetro (Shimadzu, Mod EZ-SX, Japón), se utilizaron muestras de carne cocida en prismas individuales (1 x 1 x 4 cm³), cortada paralela a las fibras musculares siguiendo la metodología (AMSA, 2015), utilizando el método de Warner-Bratzler (cuchilla Warner-Bratzler y software Trapezium 2 v. 1.04 SP), con 1 mm s⁻¹ velocidad y 30 mm de distancia. La fuerza máxima requerida para cizallar la muestra se midió y los resultados se expresaron en Newtons (N). Se realizaron tres determinaciones para cada muestra.

Capacidad de retención de agua (CRA). Se utilizó la metodología descrita por Guerrero et al. (2002), las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.3. Aislamiento de ADN

El ADN genómico de muestras de *Longissimus dorsi* y de sangre conservado en tarjetas FTA, fue aislado de con el kit *Quick-gDNA*[™] con el protocolo de preparación, de acuerdo con las instrucciones del fabricante (*Zymo Research*). Para realizar la extracción de ADN genómico con el kit; de las muestras de carne se procedió a macerar 50 g de muestra de *Longissimus dorsi* en 100 mL de PBS 1x y posteriormente se transfirieron 300 µL del macerado en un tubo Eppendorf de 1.5 mL y se le agregó 10 µL de proteinasa K (thermo scientific) y 500 µL de buffer de lisis. Y de las muestras en tarjetas FTA se cortó en pequeños trozos (1 mm x 1mm), posteriormente se colocaron 10 trozos pequeños en un tubo Eppendorf de 1.5 mL y se le adicionaron 10 µL de proteinasa K y 500 µL de buffer de lisis, en seguida se pusieron los tubos

Eppendorf con muestra de carne y de tarjeta a lisis a una temperatura de 56 °C durante 2 h, una vez cumplido el tiempo se le incrementó la temperatura a 90°C a las muestras por 10 min para inactivar la proteinasa K y se procedió a centrifugar los tubos con las muestras a 10 000 g por 10 min, posteriormente se transfirieron 300 µL del sobrenadante a una columna con un tubo recolector y se centrifugó a 10 000 g por 10 min, se agregó 200 µL de buffer pre wash y se centrifugaron las muestras a 10 000 g por 3 min, posteriormente se adicionaron 500 µL de buffer wash a la columna y se centrifugó a 10 000 g por 3 minutos, una vez transcurrido el tiempo se cambió la columna a un tubo Eppendorf con tapa y se dejó reposar 2 min y se le adicionó 50 µL de buffer de elution para eluir el DNA y se centrifugó por 3 min a 10 000 g y posteriormente se guardaron los tubos que contenían el ADN a – 20 °C para su posterior uso.

2.2.4. Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

Para la amplificación del exón 6 del gen *Cast* se utilizaron los primers: forward 5'-GTTATGAATTGCTTTCTACTC-3' y reverse 5'-ATACGATTGAGAGACTTCAC-3' diseñados por (Zhou et al., 2007). La PCR se realizó con 1 µL de ADN genómico en un volumen final de 12.5 µL, contuvo; 6.25 µL de Master Mix 2X (thermo scientific k0171), 3.75 µL de H₂O libre de nucleasas (thermo scientific k0171), 0.25 µM de cada primer. La Reacción en Cadena de la Polimerasa fue desarrollada en un termociclador Eppendorf (mastercycler egradient) con el programa: desnaturalización inicial a 94 °C por 2 min, seguida por 35 ciclos de amplificación: desnaturalización a 94 °C por 30 s, hibridación a 57 °C por 30 s, extensión a 72 °C por 30 min y extensión final a 72 °C por 5 min (Zhou et al., 2007). Los productos de PCR fueron visualizados en

electroforesis en gel de agarosa al 1 % usando buffer TAE 1X y 200 ng/mL de bromuro de etidio para teñir.

2.2.5. Secuenciación

Los productos obtenidos de PCR, se enviaron al servicio de purificación y secuenciación de la empresa Macrogen (Corea). En Macrogen se utiliza la técnica de Sanger, la tecnología capilar y el secuenciador Applied Biosystems 3730XLs para realizar la secuenciación simple de nucleótidos (www.macrogen.com).

2.2.6. Alineamiento y análisis de secuencias

La limpieza y ensamble de secuencias se realizó con el software SEQUENCHER (v. 5.4.6 versión de prueba) y las secuencias limpias y ensambladas fueron alineadas y analizadas para la identificación de polimorfismos (SNPs) con el software MEGA 6 (Tamura, Stecher, Peterson, Filipski, & Kumar, 2013), y se usó como referencia la secuencia DQ414517.1 (Zhou et al., 2007). Las secuencias fueron comparadas con las secuencias reportadas en NCBI con número de acceso JX889379, JX889380, JX944468-JX944471 (Aali et al., 2014), y DQ414513-DQ414517 (Zhou et al., 2007).

2.2.7. Modelo estadístico

Los datos se analizaron usando el procedimiento GLIMMIX de SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). La raza del semental fue considerada como efecto principal en el modelo. Para analizar las variables de calidad de carne se utilizó un modelo mixto como a continuación se describe:

$$y_{ijk} = \mu + raza_i + edad_j + (raza * edad)_{ij} + animal_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde $i = 1,2,3$; $j =$ edad del animal, y_{ij} es la variable de respuesta i , edad j , en el animal k , μ es la media general, $raza_i$ es el efecto fijo debido al tipo de empadre i , $edad_j$ es el efecto fijo debido a la edad, $(raza * edad)_{ij}$ es el intercepto del efecto del empadre i y la edad j , $animal_k$ es el efecto aleatorio debido al animal asumiendo $animal_k \sim IIDN(0, \sigma_{animal}^2)$ y ϵ_{ij} es el error experimental con $\epsilon_{ijk} \sim IIDN(0, \sigma^2)$.

Para analizar la fuerza de corte y su posible relación con SNP's se utilizó un modelo mixto, como a continuación se describe:

$$y_{ijkl} = \mu + raza_i + snp_j + (raza * snp)_{ij} + edad_k + animal_l + \epsilon_{ijkl};$$

donde $i = 1,2,3$; $j =$ edad del animal, y_{ij} es la variable de respuesta del tipo de empadre i con cambio de aminoácido j en el animal con edad k , μ es la media general, $empadre_i$ es el efecto fijo debido al tipo de empadre i , $cambio\ de\ aa_j$ es el efecto fijo debido del cambio de aminoácido (Pro-Hist, Lys-Met y Pro-Hist y Lys-Met), $(empadre * cambio\ aa)_{ij}$ es el intercepto del efecto del empadre i y el cambio de aminoácido j , $edad_k$ es el efecto fijo debido a la edad del animal, $animal_l$ es el efecto aleatorio debido al animal asumiendo $animal_l \sim IIDN(0, \sigma_{animal}^2)$ y ϵ_{ijkl} es el error experimental con $\epsilon_{ijkl} \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Para la comparación de medias se utilizó el método LSD de Fisher y el método de corrección de grados de libertad de Satterthwaite (Satterthwaite, 1946).

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. CRA y Fuerza de corte

En el cuadro 6 se muestran los resultados de CRA y fuerza de corte según el genotipo. El análisis de varianza mostró efecto significativo de la raza, edad e interacción

raza*edad en la capacidad de retención de agua (CRA) y en fuerza de corte de carne. No hubo diferencia en CRA entre Pelibuey y ChP, pero si entre P y DP. La carne de cordero de la raza Pelibuey retuvo 10 mL de NaCl más que los corderos de la raza DP, si se pretendiera realizar alguna transformación a la carne, el genotipo Pelibuey tendría mejores rendimientos por su mayor capacidad para retener agua. Para la variable textura el genotipo ChP presentó la carne más suave que los genotipos DP y P.

Cuadro 6. CRA y fuerza de corte de corderos Pelibuey x Charollais (PCh), Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey (P) (Media \pm EE).

Variable	ChP n=10	DP n=10	P n=10
CRA (mL/100g)	14.72 \pm 2.76 ^{ab}	13.98 \pm 1.62 ^b	20.47 \pm 1.73 ^a
Fuerza de corte (N)	22.96 \pm 4.03 ^b	34.27 \pm 2.36 ^a	37.91 \pm 2.52 ^a

Medias dentro de la misma fila con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

La capacidad de retención de agua se relaciona de manera positiva con la jugosidad de la carne (Honikel, 2004), es una propiedad importante de la carne fresca, ya que afecta tanto el rendimiento como la calidad del producto final y puede estar influenciado por la composición genética del animal y por la forma en que se manejó el animal (Huff-Lonergan & Sosnicki, 2002). En este estudio la composición genética del animal influyó en la capacidad de retención de agua de la carne; la raza Pelibuey presentó mayor capacidad para retener agua, por el contrario, la raza DP presentó valores de CRA más bajos. En este sentido (Souza et al., 2016), en su estudio también mostró que la raza tuvo efecto en la capacidad de retención de agua. Valores similares

de CRA para la raza Pelibuey fueron reportados por (Sañudo, Alfonso, Sánchez, Delfa, & Teixeira, 2000).

La satisfacción del consumidor y los atributos de palatabilidad dependen en gran medida de la ternura de la carne y, por lo tanto, la mejora de la ternura de la carne es relevante para la industria de la carne (Ramayo-Caldas, Renand, Ballester, Saintilan, & Rocha, 2016). En este estudio, utilizamos un enfoque de biología molecular para explorar las dependencias entre rasgos, identificar SNP e inferir rasgos correlacionados entre SNP, raza y ternura de carne. En el análisis estadístico donde la raza fue la principal fuente de variación y la edad como covariable mostró que a edad similar la raza tiene efecto sobre la ternura de la carne, los corderos de provenientes del cruzamiento de la raza Charollais con ovejas Pelibuey mostraron carne más tierna. Sin embargo, los valores de fuerza de corte encontrados para las tres razas evaluadas en este estudio son inferiores a los reportados por Partida, Vázquez, Rubio, & Méndez (2012); Sañudo et al., (2000) en corderos (Katadhin x Charollais, Katadhin x Dorper, Katadhin x Suffolk, Katadhin x Texel, Rasa Aragonesa).

2.3.3. PCR y Electroforesis

De las muestras procesadas (de carne y sangre), en aquellas tomadas de carne presentaron dificultad para extracción de ADN, probablemente al contenido de tejido conectivo. Para la comprobación de la amplificación del exón 6 del gen *Cast*, se realizó electroforesis en gel de agarosa al 1%, donde fueron observadas las 30 muestras (de carne y de sangre) de corderos ChP, DP y P, las cuales fueron enviadas al servicio de limpieza y secuenciación. El tamaño del amplicón fue de 240-280 pb aproximadamente (Figura 11).

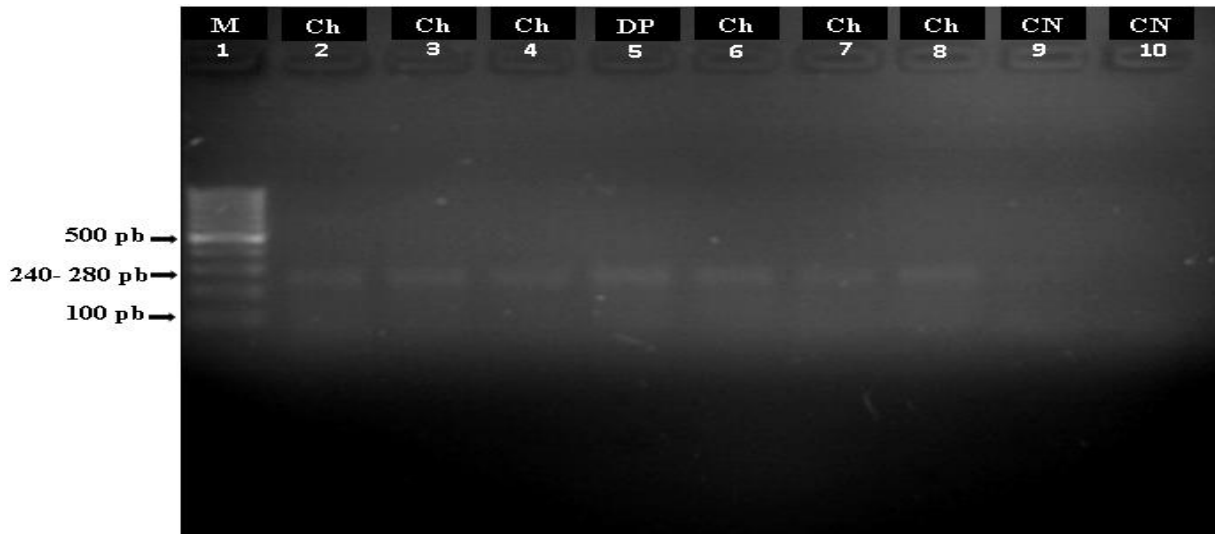


Figura 11. Electroforesis en gel de agarosa 1%. Visualización de fragmentos amplificados del exón 6 del gen *Cast* correspondientes a corderos Charollais x Pelibuey (ChP) y Dorper x Pelibuey (DP). Carril 1 (marcador de peso molecular de 100pb; M), carriles 2 al 8 (amplicón de muestras de corderos ChP y DP) y carriles 9 y 10 controles negativos (CN). Tamaño del amplicón de 240-280 pb.

2.3.4. Alineamiento y análisis de secuencias

Comprobamos que las secuencias obtenidas en este estudio correspondieran a la proteína calpastatina, mediante el análisis bioinformático BLAST (Basic Local Alignment Sequence Tool) en ncbi con la herramienta ORF Finder del banco de genes de proteínas suizas y, el análisis mostró que el exón 6 del gen *Cast* contiene 114 pb, la proteína se empieza a leer en el segundo sitio y que codifica para 38 aminoácidos de la proteína calpastatina.

El análisis de secuencias es importante en estudios moleculares para la identificación de mutaciones puntuales. 22 secuencias de ADN del gen *Cast* (exón 6) fueron ensambladas (P=5, ChP=9 y DP=8) y se identificaron 5 nuevos polimorfismos A17T, C24A, A33T, C50A y A71T (Figura 12). De los cuales, tres causan cambios no sinónimos (A17T, C24A, A33T), codifican para diferente aminoácido: K6M (Lis-Met), P17H (Prol-Hist), K24M (Lis-Met). La frecuencia genotípica de las mutaciones no

sinónimas identificadas en el gen *Cast* (exón 6) de corderos P, ChP y DP se muestra en el cuadro 7. El SNP A17T presentó mayor frecuencia genotípica en corderos ChP y DP.

Cuadro 7. Frecuencia genotípica de las mutaciones no sinónimas identificadas en el gen *Cast* (exón 6) de corderos Pelibuey (P), Charollais x Pelibuey (ChP) y Dorper x Pelibuey (DP).

SNP	P n=5	ChP n=9	DP n=8
A17T	-	0.55	0.44
C24A	0.22	0.33	0.33
A33T	0.22	0.11	0.22

P: Pelibuey; ChP: Charollais x Pelibuey; DP: Dorper x Pelibuey.

En esta investigación no se identificaron las mutaciones (A11T, G96T Y C110G) reportadas en el GenBank de NCBI por Aali et al. (2014); Zhou et al. (2007), en el exón 6 del gen *Cast*, de las cuales, en un estudio reciente reportó la relación de esas variantes con características fenotípicas (calidad de carne y contenido de ácidos grasos) de la carne de cordero en razas Chall y Zel (Aali et al., 2017).

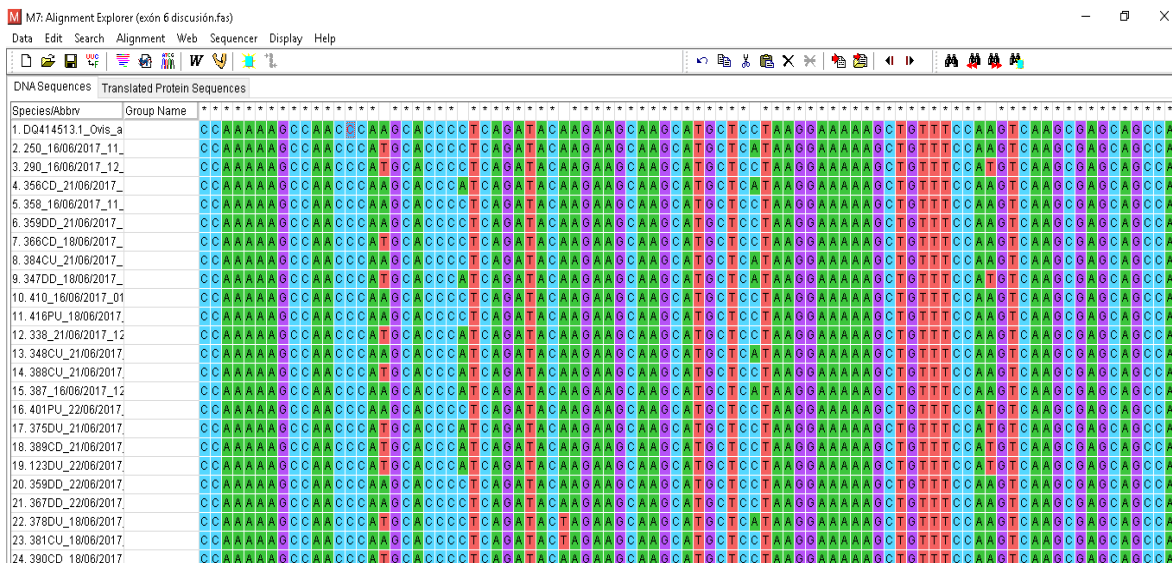


Figura 12. Alineamiento y análisis de 22 secuencias de nucleótidos de exón 6 del gen Cast y SNP's en MEGA 6.

2.3.5. Fuerza de corte y su relación con las variantes del exón 6 del gen Cast

En el cuadro 8 se presenta el análisis de la fuerza de corte y los SNPs del exón 6 de corderos Charollais x Pelibuey (ChP), Dorper x Pelibuey (DP) y Pelibuey (P). La edad del animal ($P=0.04$) tuvo efecto en la fuerza de corte de la carne y la interacción raza*SNP ($P=0.06$) mostró una tendencia sobre esta variable. Los corderos que presentaron el SNP C24A (Pro-His) presentaron menor fuerza de corte en carne. La ausencia de SNP no muestra relación con el genotipo y edad. También se pudo observar que la edad del cordero tiene efecto en la terneza de carne, por lo que mientras más se reduzcan los días de engorda y si el cordero presenta un cambio de prolina por histidina o lisina por metionina la carne tendrá menor fuerza de corte (será más suave).

Cuadro 8. Fuerza de corte (FC) y SNP del exón 6 del gen *Cast* de corderos Pelibuey x Charollais (PCh), Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey (P) (Media \pm EE).

SNP	Aminoácido	FC (kg)		
		ChP	DP	P
C-A	Pro-His	2.81 \pm 0.46c (n=3)	3.86 \pm 0.79abc (n=1)	8.42 \pm 1.86a (n=1)
A-T	Lys-Met	2.94 \pm 0.33c (n=5)	3.40 \pm 0.53bc (n=2)	5.06 \pm 0.59
C-A / A-T	Pro-His/Lys-Met	–	4.00bca (n=2)	–
–	Pro- /Lys-	3.78 \pm 0.79abc (n=1)	4.18 \pm 0.45abc (n=3)	3.30 \pm 0.41bc (n=3)

Medias dentro de la misma fila y columna con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

La ternura de carne está determinada por factores ligados a la producción, al genotipo, la edad, el sexo del animal, el manejo de los animales durante el sacrificio y el manejo de la canal (Hopkins, 2017). En el presente estudio el genotipo y la edad tuvieron efecto en la ternura de la carne. La proteólisis *post mortem* apunta al sistema de las calpaínas como responsable de la tiernización de la carne (Hopkins & Taylor, 2004), y la calpastatina como su inhibidor endógeno; mutaciones (SNP's) en el gen *Cast* que alteran la secuencia de bases en el ARN mensajero han sido relacionadas con la actividad de la calpastatina sobre la inhibición de las calpaínas y/o ablandamiento de la carne. En el presente estudio las mutaciones encontradas en el exón 6 del gen *Cast* en los corderos P, ChP y DP mostraron efecto significativo de la interacción de raza y edad sobre la fuerza de corte. Aali et al., (2017) reportaron efecto del SNP A197T sobre la ternura de carne de cordero de razas iraníes; sin embargo, los valores de fuerza de corte que reporta en su estudio (8.03 kg) para el genotipo A197T son superiores los reportados para las tres razas (Charollais x Pelibuey, Dorper x Pelibuey y Pelibuey) en el presente estudio.

2. 4. Conclusión

El genotipo mostró efecto significativo sobre la calidad de carne (CRA, AT y FC). Cinco SNPs fueron identificados en el exón 6 del gen *Cast*. Tres fueron polimorfismos no sinónimos: 2 en la raza P y 3 en los cruzamientos ChP y DP. El SNP A17T presentó mayor frecuencia genotípica en corderos ChP y DP. La fuerza de corte mostró una tendencia de relación con los SNPs identificados en los corderos ChP, DP y P. El SNP C24A que causa un cambio de prolina por histidina o el cambio de lisina por metionina en la proteína calpastatina confirió menor fuerza de corte a la carne de corderos ChP.

2. 5. Literatura citada

- Aali, M., Moradi-Shahrbabak, H., Moradi-Shahrbabak, M., Sadeghi, M., & Yousefi, A. R. (2017). Association of the calpastatin genotypes, haplotypes, and SNPs with meat quality and fatty acid composition in two Iranian fat- and thin-tailed sheep breeds. *Small Ruminant Research*, 149, 40-51.
- Aali, M., Moradi-Shahrbabak, M., Moradi-Shahrbabak, H., & Sadeghi, M. (2014). Detecting novel SNPs and breed-specific haplotypes at calpastatin gene in Iranian fat- and thin-tailed sheep breeds and their effects on protein structure. *Gene*, 537(1), 132-139.
- AMSA. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. American Meat Science Association.
- AMSA. (2015). *Research Guidelines For Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat* (2.^a ed.). American Meat Science Association.

- Bernués, A., Olaizola, A., & Corcoran, K. (2003). Labelling information demanded by European consumers and relationships with purchasing motives, quality and safety of meat. *Meat Science*, 65(3), 1095-1106.
- Chacón, A. (2004). La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 225-243.
- Cuetia, J., Posso, A., Muñoz, J. E., Ariza, F., & Alvarez, L. A. (2012). ALLELIC AND GENOTYPIC FREQUENCIES OF CALPAIN, CALPASTATIN AND LEPTIN IN COLOMBIAN CREOLE CATTLE. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal - AICA*.
- El Rammouz, R., Babile, R., & Fernandez, X. (2004). Effect of ultimate pH on the physicochemical and biochemical characteristics of turkey breast muscle showing normal rate of postmortem pH fall. *Poultry science*, 83(10), 1750–1757.
- García, E. (2004). *Modificación al sistema de clasificación climática de koppen* (5.^a ed.). México, D.F.: UNAM.
- Guerrero, L. I., Ponce, A. E., & Pérez, C. M. de L. (2002). *Curso práctico de tecnología de carnes y pescado*. México, D.F.
- Honikel, K. O. (2004). Water-holding capacity of meat. En M. F. W. te Pas, M. E. Everts, & H. P. Haagsman (Eds.), *Muscle development of livestock animals: physiology, genetics and meat quality* (pp. 389-400). Wallingford: CABI.
- Hopkins, D. L. (2017). The Eating Quality of Meat. En *Lawrie´s Meat Science* (pp. 357-381). Elsevier.

- Hopkins, D. L., & Taylor, R. G. (2004). Post-mortem muscle proteolysis and meat tenderness. En M. F. W. te Pas, M. E. Everts, & H. P. Haagsman (Eds.), *Muscle development of livestock animals: physiology, genetics and meat quality* (pp. 363-388). Wallingford: CABI.
- Huff-Lonergan, E., & Sosnicki, A. (2002). Water-holding capacity of fresh meat. *Fact Sheet, 4669*.
- Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science, 36*(1), 93-104.
- Koohmaraie, M., Shackelford, S. D., & Wheeler, T. L. (2005). Biological bases that determine beef tenderness (pp. 21-25). Presentado en University of Bristol, British Society of Animal Science, Eight Annual Langford Food Industry Conference: The Science of Beef Quality, School of veterinary Science, Langford. Nr Bristol.
- Motter, M. M., Corva, P., Krause, M., Perez Cenci, M., & Soria, L. (2009). Rol de la calpastatina en la variabilidad de la terneza de la carne bovina. *BAG. Journal of Basic and Applied Genetics, 20*(1), 0-0.
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C. H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., & Sentandreu, M. A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science, 74*(1), 44-58.
- Papanagiotou, P., Tzimitra-Kalogianni, I., & Melfou, K. (2013). Consumers' expected quality and intention to purchase high quality pork meat. *Meat Science, 93*(3), 449-454.

- Partida, J. A., Vázquez, E., Rubio, M. S., & Méndez, D. (2012). Effect of Breed of Sire on Carcass Traits and Meat Quality of Katahdin Lambs. *Journal of Food Research*, 1(4), 141.
- Ramayo-Caldas, Y., Renand, G., Ballester, M., Saintilan, R., & Rocha, D. (2016). Multi-breed and multi-trait co-association analysis of meat tenderness and other meat quality traits in three French beef cattle breeds. *Genetics Selection Evolution*, 48, 37.
- Ríos, F. G., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., & Portillo, J. (2011). Short communication: Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *South African Journal of Animal Science*, 41(3).
- Santos, V. A. C., Silva, S. R., & Azevedo, J. M. T. (2008). Carcass composition and meat quality of equally mature kids and lambs. *Journal of Animal Science*, 86(8), 1943-1950.
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R., & Teixeira, A. (2000). Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56(1), 89-94.
- Satterthwaite, F. E. (1946). An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. *International Biometric Society*, 2(6), 110-114.
- Sepúlveda, W. S., Maza, M. T., & Pardos, L. (2011). Aspects of quality related to the consumption and production of lamb meat. Consumers versus producers. *Meat Science*, 87(4), 366-372.

- Souza, D. A., Selaive-Villarroel, A. B., Pereira, E. S., Silva, E. M. C., & Oliveira, R. L. (2016). Effect of the Dorper breed on the performance, carcass and meat traits of lambs bred from Santa Inês sheep. *Small Ruminant Research*, 145, 76-80.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., FilipSKI, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30(12), 2725-2729.
- Tullio, R. D., Passalacqua, M., Averna, M., Salamino, F., Melloni, E., & Pontremoli, S. (1999). Changes in intracellular localization of calpastatin during calpain activation. *Biochemical Journal*, 343(Pt 2), 467-472.
- Wang, D. H., Xu, G. Y., Wu, D. J., & Zheng, C. L. (2011). Molecular cloning and characterization of caprine calpastatin gene. *Molecular Biology Reports*, 38(6), 3665-3670.
- Zhou, H., Hickford, J. G. H., & Gong, H. (2007). Polymorphism of the ovine calpastatin gene. *Molecular and Cellular Probes*, 21(3), 242-244.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Conclusiones

La raza tuvo efecto significativo en el crecimiento, características y clasificación de canal de corderos. El cruzamiento de ovejas Pelibuey con la raza Charollais mostró una mayor GDP. Los corderos ChP y DP llegaron al peso comercial un mes antes que los corderos P. Con el cruzamiento Charollais x Pelibuey hay alta probabilidad de obtener canales que presenten buena conformación y buen grado de calidad (MEX 1). Cinco SNPs fueron identificados en el gen *Cast* (exón 6). Tres SNPs fueron no sinónimos y dos sinónimos. El SNP no sinónimo A17T presentó mayor frecuencia genotípica en corderos ChP y DP. De los SNPs identificados en los corderos ChP, DP y P, el SNP C24A, que sustituye el aminoácido prolina por histidina en la proteína calpastatina muestra una tendencia de proporcionarle a la carne menor fuerza de corte (carne más suave).

Recomendaciones

De acuerdo al presente estudio, se recomienda utilizar el cruzamiento de ovejas Pelibuey con sementales de raza Charollais para la producción de corderos en el trópico húmedo, ya que los corderos obtenidos de este cruzamiento mostraron mejor desarrollo productivo, mejor clasificación de canal (conformación y grado de calidad) y menor fuerza de corte de la carne (carne más suave) que los corderos Dorper x Pelibuey y Pelibuey puros. También se recomienda incrementar el número de muestras para la identificación de polimorfismos en el exón 6 del gen *Cast*, a fin de mostrar mejor la relación entre los SNPs encontrados y la terneza de la carne de corderos Charollais x Pelibuey, Dorper x Pelibuey y Pelibuey puros.