Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ciencias Veterinarias
Programa de Doctorado en Ciencias Veterinarias

EFECTO DE LA VARIACIÓN DEL NÚMERO DE VÉRTEBRAS TORACOLUMBARES SOBRE LA ZOOMETRÍA Y CALIDAD DE CARCASA EN CORDEROS SUFFOLK DOWN Y SU DETECCIÓN A TRAVÉS DEL DESARROLLO DE MÉTODOS DIGITALES

Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias

ÁLVARO GLENN ESTEBAN FERRADA RINGELE
CHILLÁN-CHILE
2023

Profesor Guía: Dr. Jorge Ávila Stagno
Depto. de Ciencia Animal
Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Concepción

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Esta tesis ha sido realizada en el Departamento de Ciencia Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción y aprobada por la comisión de evaluación:

Profesor Guía

Jorge Ávila Stagno
Med. Vet., MSc., PhD
Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Concepción

Comisión Evaluadora:

Fernando González Schnake
Med. Vet., MSc., PhD
Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Concepción

Francisco Sales Zlatar
Med. Vet., PhD
Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Rodrigo Morales Pavez
Med. Vet., MSc., PhD.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Director de Programa

Fidel Castro Reboredo
Ing. Zootec., MSc., PhD
Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Concepción

A mis padres,
quienes inspiraron mi investigación.
A Patricia y a mis hijos, Fernanda y Joaquín, a quienes dedico el contenido y la implicancia de estos resultados, ellos son mi entera dedicación respecto de lo que hago cada día.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy sinceramente el gran aporte realizado por Helmut Seeger Stein al rubro ovino nacional, y en particular el altruismo para con este autor y con la Universidad de Concepción al donar su plantel genético ovino Suffolk Down para contribuir con la extensión y continuar con la investigación, y con esto a la obtención del conocimiento y aportar con la formación de estudiantes y profesionales en el rubro ovino de carne.

Agradecer a los departamentos de Producción Animal, Ciencia Animal y Ciencias Clínicas, de las facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias, respectivamente, de la Universidad de Concepción, por su apoyo en la realización de esta investigación, poniendo a disposición su rebaño ovino, infraestructura, equipos y personal. Sin esta deferencia, colaboración y amistad, no habría sido posible.

Como mención especial, agradecer muy fraternalmente la gran ayuda, apoyo, colaboración, orientación, paciencia y amistad de Mario Briones Luengo, con quien hemos dedicado muchos años y tiempo para realizar esta y otras investigaciones que aporten al conocimiento en el rubro ovino y caprino. Sin dudas, su apoyo y amistad fueron un pilar fundamental para este estudio. Del mismo modo, a Jorge Avila Stagno, por su constante paciencia, orientaciones y apoyo, haciendo de este proceso un grato aprendizaje y ejemplo a seguir. Gracias a todos ellos por sus contribuciones a este resultado.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS ..... **v**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **x**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... **xii**

RESUMEN GENERAL ..... **xv**

GENERAL ABSTRACT ..... **xvi**

INTRODUCCIÓN GENERAL **1**

CAPITULO I **10**

EFECTO DEL NÚMERO DE VÉRTEBRAS TORACOLUMBARES EN EL PESO Y TAMAÑO CORPORAL, Y PESO DE ZONAS ANATÓMICAS EN CORDEROS SUFFOLK **10**

1 Resumen 10
2 Materiales y métodos 12
2.1 Animales y mediciones 12
2.2 Procedimientos 13
2.3 Análisis estadístico 15
3 Resultados 16
3.1 Frecuencia vertebral observada 16
3.2 Peso vivo y características de la carcasa 18
3.3 Medidas zoométricas 20
3.4 Regiones corporales 22
4 Discusión 23
4.1 Frecuencia vertebral observada 23
4.2 Peso vivo y características de la carcasa 25
4.3 Medidas zoométricas 27
4.4 Regiones corporales 29
5 Conclusiones 30

CAPITULO II 31

VARIACIÓN DEL NÚMERO DE VÉRTEBRAS TORACOLUMBARES EN CORDEROS SUFFOLK Y SU EFECTO EN EL PESO, ZOOMETRÍA Y CORTES COMERCIALES EN LA CARCASA 31

1 Resumen 31
2 Materiales y métodos 32
2.1 Animales y mediciones 32
2.2 Procedimientos 33
2.3 Análisis estadístico 36
3 Resultados 37
3.1 Número vertebral y fórmulas 37
3.2 Peso de las carcasas y sus cortes 39
3.3 Medidas zoométricas de carcasas 41
4 Discusión 43
4.1 Variación vertebral 43
4.2 Características de la carcasa 45
5 Conclusiones 47

CAPITULO III 49

DESARROLLO DE UN MÉTODO DIGITAL 2D QUE PERMITA IDENTIFICAR CARCASAS DE CORDEROS MULTIVERTEBRADOS 49

1 Resumen 50
2 Introducción 51
3 Materiales y métodos 52
3.1 Animales y mediciones 52
3.2 Procedimientos 53
3.3 Análisis estadístico 59
4 Resultados 60
4.1 Comparación entre zoometría tradicional y digital 2D en la carcasa 60
4.2 Comparación de la precisión del método tradicional y digital 2D en la carcasa 61
5 Discusión 64

5.1 Comparación entre zoometría tradicional y digital en la carcasa 64
5.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital en la carcasa..... 69
6 Conclusiones 73

CAPITULO IV 74

DESARROLLO DE UN METODO DIGITAL 3D PARA OBTENCIÓN DE MEDIDAS ZOOMÉTRICAS USANDO UN MODELO ANIMAL 74

1 Resumen 75
2 Introducción 76
3 Materiales y métodos 77
3.1 Maquetas y mediciones 77
3.2 Procedimientos 79
3.3 Análisis estadístico..... 82
4 Resultados..... 83
4.1 Comparación entre las medidas tradicionales y digitales 3D en maqueta animal..... 83
4.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D en maqueta animal 85
5 Discusión 87
5.1 Comparación entre medidas tradicionales de referencia y las digitales 3D 87
5.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D en maqueta animal 88
6 Conclusiones 91

DISCUSIÓN GENERAL 92

1.1 Frecuencia observada de aparición de vértebras extras 95
1.2 Vértebra extra en la zona torácica versus lumbar 97
1.3 Dimensiones corporales por efecto de vértebras extras..... 99
1.4 Más cortes comerciales 101
1.5 Sistema digital 2D como método de medición de carcasas de corderos multivertebrados..... 101
1.6 Sistema digital 3D para la obtención de medidas zoométricas por fotorestitución 103

CONCLUSIONES GENERALES 106

PERSPECTIVAS 109

BIBLIOGRAFÍA 112

ANEXOS 121

1. Anexo 1. Esquema de despiece en cinco zonas corporales para la carcasa ovina 121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto del número vertebral sobre el peso a la faena y, de la carcasa y sus características en corderos Suffolk **19**

Tabla 2. Medidas zoométricas (cm) de corderos Suffolk a la faena, según el número y fórmula vertebral **21**

Tabla 3. Efecto del número de vértebras sobre el peso (kg) de regiones corporales en canales de cordero Suffolk **23**

Tabla 4. Número y frecuencia de vértebras torácicas y lumbares observadas, y el número y fórmula vertebral **38**

Tabla 5. Efecto del número de vértebras sobre el peso de la carcasa (kg) y sus cortes comerciales (kg) **40**

Tabla 6. Efecto del número de vértebras sobre las medidas zoométricas (cm) de la carcasa **42**

Tabla 7. Comparación entre medidas zoométricas tradicionales y digitales (cm) en carcasa y media carcasa de corderos Suffolk **61**

Tabla 8. Error relativo entre las medidas zoométricas tradicionales y digitales (cm) en la carcasa ovina **62**

Tabla 9. Correlación entre las medidas zoométricas tradicionales y digitales..... **63**

Tabla 10. Comparación entre medidas zoométricas (cm) tradicionales y digitales 3D y error relativo en diferente maqueta animal **84**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Esquema de medidas zoométricas realizadas previo a la faena. largo del lomo (LL), altura a la cruz (AlCr), altura a la grupa (AlGr), ancho de pecho (AnPe) y ancho de grupa (AnGr). (Fuente: elaboración propia) **13**

Figura 2. Esquema de despiece de carcasa ovina en cinco regiones corporales. Pi: piernas; Lo: zona lumbar; To: tórax; Es: brazos; Cu: cuello. (Fuente: elaboración propia) **14**

Figura 3. A: Frecuencia observada de vértebras torácicas (T) y lumbares (L). B: frecuencia de vértebras toracolumbares (TL) y sus fórmulas, en corderos Suffolk **17**

Figura 4. Esquema de mediciones zoométricas en la carcasa ovina. Longitud interna de la carcasa (L), Profundidad de tórax (Th), Ancho de grupa (G) y Ancho de tórax (Wr). (Fuente: elaboración propia) **34**

Figura 5. Esquema de despiece de la carcasa ovina utilizando la media carcasa izquierda. Cuello (Cu), brazos (Es), pecho (Pe), chuleta de tórax (ChT), chuleta de lomo (ChL) y pierna (Pi). (Fuente: elaboración propia) **35**

Figura 6. Esquema de mediciones zoométricas en la carcasa y media carcasa ovina para método tradicional y digital. Longitud externa de la carcasa (L1), ancho de pecho (Wr), ancho de

grupa (G), longitud interna de la carcasa (L) y profundidad de tórax (Th). (Fuente: elaboración propia) **54**

Figura 7. Esquema ilustrado del “Panel Fotogramétrico” con marcas fiduciales para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales (Fuente: elaboración propia) **56**

Figura 8. Esquema de ubicación de la carcasa ovina en “Panel Fotogramétrico” para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales. Largo de lomo (L1), ancho de grupa (G) y ancho de tórax (Wr). (Fuente: elaboración propia) **57**

Figura 9. Esquema de ubicación de la media carcasa ovina en “Panel Fotogramétrico” para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales. Largo interno de la carcasa (L) y profundidad de tórax (Th). (Fuente: elaboración propia) **58**

Figura 10. Análisis de regresión comparando mediciones tradicionales y digitales. A, mediciones en la carcasa; B, mediciones en la media carcasa **64**

Figura 11. Esquema representativo del efecto de distorsión óptica sobre las mediciones digitales 2D en la carcasa ovina (Fuente: elaboración propia) **67**

Figura 12. Esquemas de medidas zoométricas realizadas en maquetas de cerda y vaca (Fuente: elaboración propia) **78**

Figura 13. Esquema de la disposición de las cámaras y maquetas animal para obtención las imágenes digitales (Fuente: elaboración propia) **80**

Figura 14. Esquema de maquetas animal sobre panel fotogramétrico con marcas fiduciales y dianas (Fuente: elaboración propia) **81**

Figura 15. Análisis de regresión comparando mediciones tradicionales y digitales. A, mediciones en maqueta de cerda; B, mediciones en maqueta de vaca. **86**

Figura 16. Esquema detalle de despiece de regiones corporales en carcasa de ovino. A: carcasa con representación de zonas de corte; B: carcasa en vista dorsal; C: carcasa con representación de despiece. Pi: piernas; Lo: zona lumbar; To: tórax; Es: brazos; Cu: cuello (Fuente: elaboración propia). **121**

RESUMEN GENERAL

Esta investigación se basó en el enfoque del potencial productivo derivado del estudio de vértebras extras en la industria de cerdos, por lo que el presente estudio se desarrolló observando el número vertebral toracolumbar y su efecto en ovinos de carne de raza Suffolk. Se desarrollaron dos etapas, las que generaron 4 estudios. El objetivo general fue determinar la variación del número de vértebras toracolumbares y su efecto sobre la talla, peso vivo de faena y características de la carcasa en corderos Suffolk Down y, el desarrollo de métodos digitales 2D y 3D como medio de detección zoométrica multivertebral. Con el uso de radiografías se determinó en los corderos el número de vertebras toracolumbares a las 3 a 5 semanas de edad. Se pesaron y midieron zoométricamente antes de la faena, cerca de los 40 kg de PV. Posteriormente se pesaron, midieron las carcasas y se obtuvieron los cortes comerciales. Parte de las carcasas se utilizaron para la medición digital 2D, y se utilizaron maquetas animales para las mediciones 3D. Predominó un mayor número de corderos Suffolk multivertebrados respecto de aquellos con formula ancestral. Se observó que el peso vivo y las medidas zoométricas a la faena, así como el peso de las carcasas, sus medidas zoométricas y cortes comerciales fueron mayores en corderos multivertebrados. La implementación del sistema digital 2D permite obtener las medidas zoométricas en la carcasa tal como el sistema tradicional, en cambio, el sistema digital 3D mejora la precisión y exactitud del sistema de medición zoométrica digital. Fue posible concluir que los corderos Suffolk multivertebrados presentan mayores tallas, pesos y cortes comerciales que aquellos sin vertebras extras. La utilización de mediciones digitales 2D y 3D permiten obtener las medidas zoométricas deseadas, tanto en carcasas ancestrales y multivertebradas, como también en cuerpos de modelos animales, respectivamente.

GENERAL ABSTRACT

This research was based on the approach of the productive potential derived from the study of extra vertebrae in the pig industry, so the study was developed by observing the thoracolumbar vertebral number and its effect in Suffolk breed meat sheep. Two stages were developed, which generated 4 studies. The general objective was to determine the variation in the number of thoracolumbar vertebrae and its effect on size, live slaughter weight and carcass characteristics in Suffolk Down lambs and the development of 2D and 3D digital methods as a means of multivertebral zoometric detection. With the use of radiographs, the number of thoracolumbar vertebrae was determined in lambs at 3 to 5 weeks of age. They were weighed and zoomometrically measured before slaughter, close to 40 kg of LW. Subsequently, the carcasses were weighed and measured and commercial joints were obtained. Part of the carcasses were used for 2D digital measurement, and animal models were used for 3D measurements. A greater number of multivertebrate Suffolk lambs prevailed compared to those with ancestral formula. It was observed that the live weight and the zoometric measurements at slaughter, as well as the weight of the carcasses, their zoometric measurements and commercial joints were higher in lambs with extra vertebrae. The implementation of the 2D digital system allows zoometric measurements to be obtained in the housing just like the traditional system, however, the 3D digital system improves the precision and accuracy of the digital zoometric measurement system. It was possible to conclude that multivertebrate Suffolk lambs have greater sizes, weights and commercial cuts than those without extra vertebrates. The use of 2D and 3D digital measurements allows obtaining the desired zoometric measurements, both in ancestral and multivertebrate carcasses, as well as in the bodies of animal models, respectively.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Algunas especies en su evolución han disminuido su número de vértebras torácicas y lumbares, como ocurre en primates superiores, mientras que otras han evolucionado aumentándolas, como la mayoría de los mamíferos cuadrúpedos (Willis, 1923). No hay aún claridad del por qué sucede esto en algunos mamíferos, sin embargo, se estima que la variación vertebral se produciría evolutivamente por adaptación a situaciones ambientales (Willis, 1929). El número de vértebras de cada región de la espina dorsal proporciona las fórmulas vertebrales. En mamíferos está organizada en cinco zonas (cervical, torácica, lumbar, sacra y caudal) y el número primitivo o ancestral es característicamente 19 vertebras toracolumbares (TL19), es decir 13 torácicas (T13) y 6 lumbares (L6), con tendencia a aumentar, lo que muestra una importante variabilidad (Todd, 1922). El número de fórmulas toracolumbares tiende a ser constante en los niveles de familias y órdenes, manteniéndose prácticamente constante en un número de 7 en las vértebras cervicales, y TL19 en la mayoría de los grupos de mamíferos, tanto euterios como monotremas y marsupiales (Narita y Kuratani, 2005).

A inicios del siglo XX, se desarrollaron los primeros estudios que permitieron observar que la variación del número de vertebras en cerdos, tenía un efecto productivo. Se reportó variación en la mayoría de las razas,

mostrando gran variabilidad, pero se identificaron con mayor frecuencia en aquellas con aptitud carnicera, informando desde 13 a 17 vértebras torácicas, con escaza variación lumbar, pero se observó un claro aumento de longitud corporal en aquellos cerdos con mayor número vertebral respecto de la fórmula ancestral (Shaw, 1929, 1930). Esto fue luego corroborado en carcasas, obteniendo mayores longitudes y cortes en cerdos con TL21 y TL22 respecto de aquellos con TL20 (Freeman, 1939). La longitud del cuerpo, y por ende de la carcasa, ha sido durante bastante tiempo de interés para los investigadores y criadores de cerdos, ya que esto significa un mayor rendimiento en cortes, traduciéndose para ellos en un factor de importancia económica (King y Robert, 1960; Martin y Fredeen,1966; Rees Evans, 1954). Recientes investigaciones han identificado las secuencias de ADN que contienen los genes responsables de la aparición de segmentos vertebrales adicionales, los que son de gran interés para la industria porcina de carne (Mikawa et al., 2005; Mikawa et al., 2011a; Mikawa et al., 2011b). A pesar de estos nuevos hallazgos reportados, todavía existe una considerable variación genética inexplicada que afecta los números de vértebras torácicas y lumbares en cerdos comerciales, por lo que siguen siendo estudiados para mejorar la precisión de la selección de los caracteres de interés productivo (Rohrer et al., 2015; Thu et al., 2017).

La variación en el número de vértebras torácicas y lumbares varía tanto entre razas como dentro de cada raza, y son los genes Hox los que juegan un papel central en el patrón del eje vertebral embrionario, ya que modelan la

identidad vertebral a nivel axial, al mismo tiempo que el número total de vértebras. Esta variación del número vertebral en las distintas regiones anatómicas de la columna vertebral, entre las regiones cervical y sacra, que se traduce en diferentes fórmulas toracolumbares, se debería al efecto homeótico durante el proceso de somitogénesis vertebral temprana. En este proceso no cambiaría el número de vértebras, sino su identidad, transformándose así las vértebras torácicas en lumbares o viceversa. Mientras que el aumento del número vertebral se debería a un miRNA, que tendría implicaciones en la modulación del número vertebral, alargando este eje (Slijepčević et al., 2015; Wong et al., 2015).

En ovinos la atención ha estado dirigida por décadas, principalmente, a detectar y desarrollar animales de rápido crecimiento, con el mayor rendimiento y calidad de carcasa posible (Macias et al., 2010; Partida de la Peña et al., 2009; Vásquez et al., 2011; Ward et al., 2017), buscando con esto una mayor proporción de cortes comerciales con grasa de cobertura adecuada y mayor profundidad muscular en el ojo del lomo (Grill et al., 2013; Sahin et al., 2008; Texeira et al., 2007) para aportar, no solo a una mayor calidad, sino también a una mayor cantidad de carne ovina para el productor y consumidor. El estudio de vértebras adicionales en ovinos, u ovinos multivertebrados, aún es algo insipiente, y sin información en América y, en particular, en el cono sur. Sin embargo, los hallazgos iniciales (Zhang, 1996) fueron reportados en ovejas mongolas en China, donde el 42,9% de esta particular raza presentó fórmula

toracolumbar ancestral (TL19), con 13 vértebras torácicas y 6 lumbares (T13L6), mientras que las que presentaron más de TL19 (TL20 ó TL21) fueron el 57,1%. Al respecto se resaltó que encontrar ovinos con TL20 o más, se considera inusual. Estos animales multivertebrados presentaban mayor peso corporal y rendimiento carnicero, sin evidenciarse anormalidades corporales visibles, y su adaptabilidad a las particulares condiciones del medio fue la misma que la de ovejas normales. En estudios posteriores (Zhang,1997a, 1997b), y luego de 14 años de selección, los ovinos multivertebrados de raza mongola aumentaron a 90% respecto del total de animales estudiados. Particularmente estos ovinos suelen presentar, en la última vértebra torácica extra, un par de costillas flotantes completamente osificada. Además, la región lumbar para estos animales no se redujo, pudiendo presentar de todas formas 6 o 7 vértebras lumbares.

De esta forma, algunos parámetros zoométricos como el largo de la región torácica y lumbar fueron 2,4 cm y 3,5 cm mayores, respectivamente, cuando los ovinos presentaron una vértebra más torácica o lumbar, y mayor aún en la región toracolumbar (5,9 cm) cuando ambas se presentaban en el mismo animal respecto de otros TL19. Parámetros como el peso vivo, peso de la carcasa y ojo del lomo también aumentaron cuando se observaron vertebras adicionales, resultando 7,61 kg más pesados a la faena, 4,12 kg más peso en la carcasa y 2,47 cm^2 más área en el ojo del lomo. Dado lo anterior, este tipo de ovejas multivertebradas no solo podrían ser la alternativa para satisfacer la

creciente demanda de corderos de mayor calidad en la carcasa en el mercado chino, sino que también podrían ayudar a aumentar la producción de carne ovina (Zhang et al., 1998).

La variación del número de vértebras en la columna de ovejas también fue estudiada en Reino Unido en las razas Texel, Scottish Blackface, Texel cruza Mula, y Poll Dorset cruza Mula, para establecer si un enfoque similar podría aplicarse en el sector ovino, basados en lo sucedido en la industria de cerdos al utilizar los rasgos de la columna vertebral en sus programas de cría comercial para aumentar la producción de carne. Sus observaciones mostraron que no existía diferencias entre sexos y que hubo una significativa variabilidad intra e inter razas, encontrando desde 17 a 21 vértebras toracolumbares, y que el mayor número de vertebras contribuyó a una mayor longitud del animal, pero no en todas las razas y cruzas. Tampoco se evidenció una correlación positiva y significativa entre el mayor número vertebral y la cobertura de grasa, o la profundidad y área del lomo en todas ellas (Donaldson et al., 2013), por lo que aún quedan incógnitas por resolver y profundizar en estas y otras razas ovinas.

Detectar animales que tengan las características deseadas al fin productivo requerido, siempre es un reto. Para esto se han implementado los programas de selección, en los cuales se manejan y mantienen registros productivos que permiten realizar constante selección sobre los animales y así obtener el resultado deseado, lo que requiere de bastantes años de acumulación de información y requiere compromiso del productor y apoyo

técnico continuo, cuyos frutos solo se observan en el largo plazo (Gamarra, 2022; Mueller y Aranguren, 2022). Hoy en día es posible utilizar la tecnología existente para ayudar en este proceso, integrando diferentes técnicas y equipos que ha permitido la aparición y necesidad de una ganadería llamada de precisión, que permite facilitar las actividades y decisiones productivas. El número de productores que se apoyan y utilizan tecnología ha crecido constantemente a lo largo de los años (De Oliveira y De Oliveira., Elias et al., 2020; 2022; Spiegal et al., 2020). En la ganadería de precisión, la utilización de imágenes para su análisis ha sido una constante herramienta para la toma de decisiones productivas, permitiendo mejorar características raciales (Pallottino et a., 2015; Pérez-Ruiz et al., 2020), realizar descripciones fenotípicas (Gherissi et al., 2022; Matsuura et al., 2021), determinar rasgos productivos (Huang et al., 2018; Gaudioso et al., 2014) o la calidad de las carcasas, entre otras. La mayoría de estas técnicas antes mencionadas son realizadas tradicionalmente en forma manual por expertos, lo que presenta un alto costo, lleva mucho tiempo, es tediosa y requiere especialistas, lo que mejora con el uso de tecnología (Mendizabal et al., 2021; Wakholi et al., 2022), mostrando que la precisión y sus desventajas mejoran significativamente al utilizar este método de análisis de imágenes en comparación con un método tradicional (Çağli y Yilmaz, et al., 2021; Menesatti et al., 2014), lo que ayuda a mejorar los objetivos ganaderos, así como también producir más alimentos de origen animal en especies de abasto.

De acuerdo con proyecciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), debido al crecimiento demográfico, la demanda mundial de alimentos de origen animal, se calcula aumentará a 14 % para el año 2030 respecto del periodo 2018 - 2020, por lo que se estima se deberá incrementar la disponibilidad de carnes, entre ellas la ovina en cerca de un 16 % (OCDE-FAO, 2021). Chile es el sexto país de mayor inventario ovino del cono sur, luego de Brasil, Argentina, Perú, Uruguay y Bolivia, respectivamente (FAO, 2023b). Sus exportaciones anuales de carne ovina, en los últimos 10 años, promedian las 6.000 t, equivalentes al 57 % del volumen producido anualmente, donde el 85 % corresponde a envíos al extranjero, de cortes frescos, refrigerados o congelados (SNA, 2020). Después de Uruguay (21.894 t), Chile es el segundo país exportador de carne ovina en América (5.909 t) (FAO, 2023a), y sus productos están bien posicionados entre sus importadores. Esto debido fundamentalmente a su sistema de producción basado en praderas y la calidad que alcanzan sus canales, consideradas muy similares a las de Nueva Zelanda, las que gozan de un reconocido prestigio internacional (ProChile, 2016).

De acuerdo a los antecedentes antes expuestos, esta tesis aborda la necesidad de ampliar el conocimiento respecto al potencial productivo de carne en una de las razas representativas de aptitud carnicera utilizadas en América y también en Chile, bajo el enfoque de lo realizado en la industria de cerdos al

utilizar los rasgos de la columna vertebral en sus programas de cría comercial para aumentar la producción de carne. Por lo que la presente investigación espera aportar al conocimiento dando respuesta al problema general, que es si ¿Los corderos Suffolk Down de la estación experimental pecuaria de la Universidad de Concepción (UdeC), durante las temporadas 2018 y 2022, con un número de vértebras toracolumbares mayor al ancestral, presentan mayores tallas corporales y pesos vivos a la faena, así como también mejores características de calidad de carcasa detectables zoometricamente para contribuir a las necesidades de producción de carne ovina?. Por lo anterior, y para dar respuesta a esta interrogante, se estableció como objetivo general de este estudio el determinar la variación del número de vértebras toracolumbares y su efecto sobre la talla, peso vivo de faena y características de la carcasa en corderos Suffolk Down y, el desarrollo de métodos digitales 2D y 3D como medio de detección zoometrica multivertebral. Por lo anterior, se dividió esta investigación en dos etapas, proponiendo los siguientes objetivos para cada una:

1ª Etapa; determinar la variación del número vertebral en la zona toracolumbar y su efecto sobre la talla, pesos vivos y calidad de la carcasa de corderos Suffolk Down de la estación experimental pecuaria de la UdeC.

2ª Etapa; desarrollo de un método digital 2D y 3D para la obtención de medidas zoométricas corporales en carcasas de ovinos Suffolk Down y, en dos modelos animales, respectivamente.

Por consiguiente, este estudio dividió su investigación en 2 etapas que contienen 2 capítulos cada una, para así abarcar las diferentes interrogantes y dar respuesta a ellas, utilizando dos temporadas de faena y los corderos de aptitud carnicera Suffolk Down producidos en la estación experimental pecuaria UdeC. El primer capítulo da cuenta del efecto del número de vértebras toracolumbares sobre el peso vivo y tamaño corporal y, los consecuentes pesos de zonas anatómicas y características de la carcasa. El segundo capítulo profundiza en cómo la variación del número de vértebras toracolumbares afecta la talla de la carcasa y el peso de esta y sus cortes comerciales. El capítulo tercero da cuenta de la utilización de una metodología 2D para determinar las medidas zoométricas en carcasas de corderos normales y multivertebrados. El cuarto capítulo desarrolla una metodología 3D de mayor precisión como herramienta de obtención de medidas zoométricas por fotorestitución, utilizando modelos animales. Estos capítulos se desarrollarán a continuación.

CAPITULO I

EFECTO DEL NÚMERO DE VÉRTEBRAS TORACOLUMBARES EN EL PESO Y TAMAÑO CORPORAL, Y PESO DE ZONAS ANATÓMICAS EN CORDEROS SUFFOLK

En el siguiente capítulo se expone la frecuencia del número de vértebras torácicas y lumbares encontradas en corderos Suffolk, y las fórmulas toracolumbares que estos presentaron al combinar el número de ambas. Al mismo tiempo se presenta el efecto que fue posible observar respecto del número de vértebras toracolumbares en el peso vivo y tamaño corporal y, los consecuentes pesos de sus zonas anatómicas, además de algunas características de la carcasa estudiadas, tales como la profundidad del ojo del lomo y el espesor de grasa dorsal.

1 Resumen

El objetivo fue determinar el efecto del número de vértebras toracolumbares sobre el peso vivo y tamaño corporal a la faena, peso de la carcasa y sus

características regionales en corderos Suffolk. El número vertebral se determinó con radiografías en 80 corderos Suffolk criados junto a sus madres en pastoreo libre. El número vertebral toracolumbar, y sus fórmulas, se determinaron sumando y relacionando las vértebras. El peso vivo, mediciones con ultrasonido y zoométricas fueron registradas el día anterior a la faena. Los datos de la carcasa y su despiece se obtuvieron al día siguiente de la faena. Corderos con fórmulas multivertebrales T13L7 y T14L6 se observaron con mayor frecuencia (75,00 %) que los tipos ancestrales T13L6 (25,00 %). Los corderos con 14 vértebras torácicas presentaron 4,67 y 3,35 kg más de peso corporal y peso de carcasa, respectivamente, respecto de aquellos con 13. Además, se observó que la fórmula T14L6, presentó corderos 9,43 cm más largos, 9,07 y 9,74 cm más altos a la cruz y grupa, respectivamente, y 4,29 a 5,09 cm más anchos en el pecho y grupa, respectivamente, comparados con corderos T13L6. Las regiones corporales, tórax, lomo y brazos, fueron más pesadas cuando el número vertebral fue T14 y T14L6, aumentando también la profundidad del lomo en 3,29 mm y de la grasa 2,30 mm en T14L6 respecto de T13L6. Los resultados sugieren que corderos Suffolk con vértebras torácicas extras presentarían mayores pesos y tamaños que otros corderos con un número vertebral normal.

2 Materiales y métodos

2.1 Animales y mediciones

Se utilizaron 80 corderos hembras y machos Suffolk criados junto a sus madres en pastoreo libre desde su nacimiento en agosto de 2021 hasta la faena en enero de 2022, en Chillán, NB, Chile (36°32'44" S, 71°52'35" W, 207 msnm). Todos los procedimientos con animales fueron analizados por un comité de ética animal de la UdeC para su aprobación (CBE-152022). El número vertebral se determinó entre las 3 a 5 semanas de edad, estableciendo el número de vértebras torácicas (NVT) y lumbares (NVL) con un equipo radiográfico digital directo Sahara Slate PC, Slate cuatro, PCMAX-20HPLUS, regulado para 70 kV y 1,8 mAs. El número toracolumbar (NVTL) se obtuvo al sumar el conjunto de vértebras, y el número de fórmulas vertebrales toracolumbares (NFTL) por combinación. Las mediciones con ultrasonido (UM), profundidad de lomo (Ld) y grasa dorsal (Bf) se realizaron con un equipo Mindray DP-6600 VET regulado para 6,47 cm de profundidad y 7,5 MHz. La faena se realizó cuando los animales alcanzaron 42,60 ± 6,24 kg de peso vivo (153,69 ± 12,84 días). El peso vivo (BW), mediciones con ultrasonido y zoométricas (ZM) fueron registradas el día anterior a la faena, previo destare de 12 h. Los datos de la carcasa y su despiece se realizaron al día siguiente.

2.2 Procedimientos

El examen radiográfico se realizó con vistas ortogonales laterolateral izquierda de la región torácica y lumbar en recumbencia con las extremidades extendidas. Las medidas zoométricas se realizaron utilizando una cinta métrica flexible, bastón zoométrico y una forcípula como compás de broca, registrando (figura 1) largo del lomo (LL), altura a la cruz (AlCr), altura a la grupa (AlGr), ancho de pecho (AnPe) y ancho de grupa (AnGr). La carcasa fría, tras 24 horas de refrigeración a 4 °C, se dividió en 6 regiones para luego ser registrado el peso de cada una por separadas.

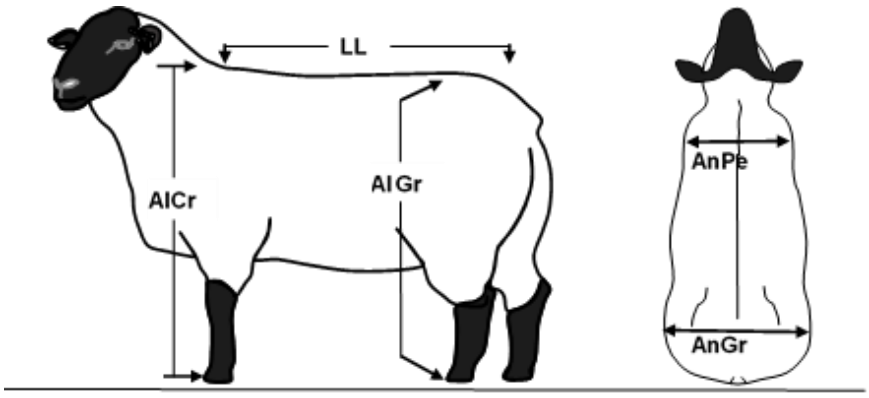

Figura 1. Esquema de medidas zoométricas realizadas previo a la faena. largo del lomo (LL), altura a la cruz (AlCr), altura a la grupa (AlGr), ancho de pecho (AnPe) y ancho de grupa (AnGr). (Fuente: elaboración propia)

El despiece (figura 2) se realizó separando el cuello (Cu) entre la última vértebra cervical y la primera torácica. Los brazos (Es) separándolos independientemente, según procedimiento detallado por Delfa et al. (2005), para luego ser pesados juntos. El tórax (To) se separó de la zona cervical entre la última vértebra cervical y la primera torácica, y seccionando entre la última vértebra torácica y primera lumbar. La zona lumbar (Lo), seccionando entre la última vértebra torácica y la primera lumbar, y la última vértebra lumbar y primera sacra. La región que contiene las piernas (Pi) se separó entre la última vértebra lumbar y primera sacra, y se pesó como una pieza (detalles Anexo 1).

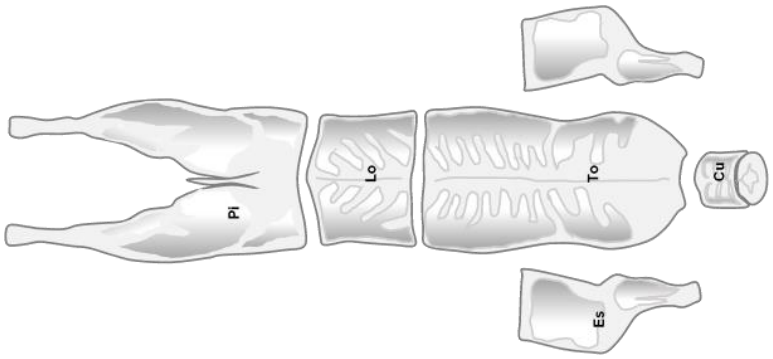

Figura 2. Esquema de despiece de carcasa ovina en cinco regiones corporales. Pi: piernas; Lo: zona lumbar; To: tórax; Es: brazos; Cu: cuello. (Fuente: elaboración propia)

2.3 Análisis estadístico

Se aplicó un modelo general lineal, GLM, para estimar el efecto de la variación del número vertebral sobre el peso vivo (BW), peso de la carcasa (CW), medidas zoométricas (ZM), mediciones con ultrasonido (UM) y el peso de las regiones corporales (RW). Todos los datos se presentaron como medias de mínimo cuadrado ± error estándar. Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software Infostat (2011). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + V_j + \beta\chi_1 + \beta\chi_2 + \beta\chi_3 + \beta\chi_4 + E_{ij}$$

Donde Y_{ij} es el valor individual de cada rasgo (BW, CW, ZM, UM, RW), con μ como media general; G_i = efecto fijo del i-ésimo género (i = 1 o 2 representando macho o hembra, respectivamente); V_j = efecto fijo del número vertebral, el que será reemplazado por T_j (j = 1 o 2 que representa 13 o 14 vértebras torácicas, respectivamente), L_j (j = 1 o 2 que representa 6 o 7 vértebras lumbares, respectivamente), N_j (j = 1 o 2 que representan 19 o 20 vértebras toracolumbares, respectivamente), o F_j (j = 1, 2 o 3 que representan el número de fórmulas vertebrales encontradas: T13L6 (13 vértebras lumbares y 6 torácicas), T13L7 (13 vértebras lumbares y 7 torácicas) y T14L6 (14 vértebras

lumbares y 6 torácicas), respectivamente, cuando se evaluó el efecto de cada tipo de rasgo vertebral (TVN, LVN, TLVN y TLVF) (uno a la vez). β es la pendiente que relaciona las variables χ_1 (peso de nacimiento), χ_2 (tipo de camada), χ_3 (edad del cordero a la faena) y χ_4 (edad de la madre) con la variable respuesta. E_{ij} es el efecto residual aleatorio.

3 Resultados

3.1 Frecuencia vertebral observada

El rango observado del número de vértebras torácicas (figura 3A) fue de 13 a 14, donde T13 predominó con 91,25 % y T14 en una menor proporción con 8,75 %. En cambio, para las vértebras lumbares, donde L6 se considera el número ancestral usual para esta zona anatómica, solo presentó 33,75 %, y L7 en mayor proporción con 66,25 %. De esta forma, 13 vértebras torácicas y 7 lumbares predominaron respecto de 14 y 6 en sus respectivas zonas anatómicas.

El número de vértebras toracolumbares (TL) solo registró dos categorías (figura 3B), donde los corderos con TL19, correspondiente al número ancestral de vértebras, resultaron con una frecuencia observada de sólo 25,00 %, en cambio aquellos corderos multivertebrados con un número mayor, TL20 se observaron con una frecuencia mayor a 75,00 %.

Las combinaciones entre el número de vértebras torácicas y lumbares mostraron tres fórmulas toracolumbares (figura 3B). De esta forma las fórmulas de corderos multivertebrados correspondieron a T13L7 (66,25 %) y T14L6 (8,75 %), que en conjunto presentaron una mayor frecuencia (75,00 %) que aquellos con fórmula ancestral T13L6, que no superaron 25,00 %, lo que se considera poco común en ovinos.

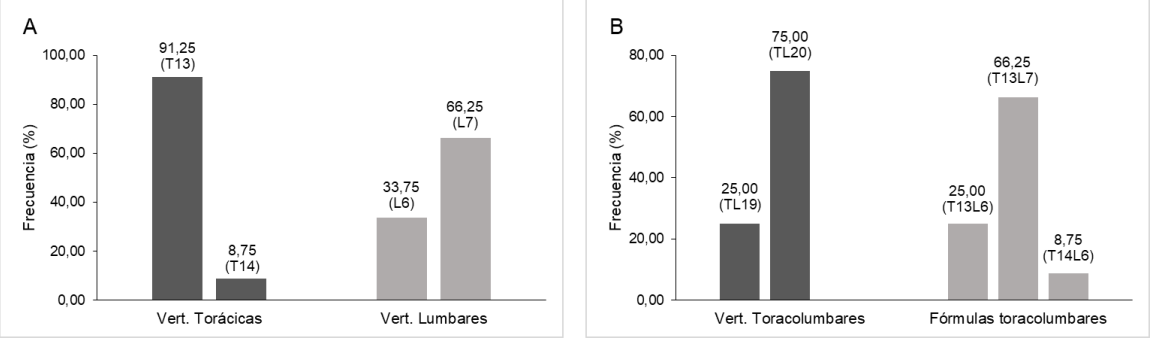

Figura 3. A: Frecuencia observada de vértebras torácicas (T) y lumbares (L). **B**: frecuencia de vértebras toracolumbares (TL) y sus fórmulas, en corderos Suffolk

3.2 Peso vivo y características de la carcasa

Los corderos Suffolk obtuvieron en promedio 4,67 kg más de peso vivo (tabla 1) cuando presentaron 14 vértebras torácicas respecto de 13, al igual que aquellos corderos que presentaron fórmula T14L6 quienes resultan 5,38 kg más pesados comparados con otros corderos de fórmula T13L6 ancestral. No hubo efecto cuando se analizó el número vertebral lumbar y el total de vértebras toracolumbares ($P > 0,05$), aunque es posible apreciar una tendencia a aumentar el peso vivo a favor de aquellos corderos con un número de vertebras superior a TL19.

El peso de las carcasas sigue una tendencia similar al peso vivo, ya que una vez sacrificados los corderos, las carcasas que presentaron 14 vértebras torácicas obtuvieron un peso significativamente mayor de 23,54 ± 1,17 kg ($P \leq 0,05$) comparados con aquellos corderos con 13 vértebras torácicas que solo alcanzaron 20,19 ± 0,35 kg, lo que significó un aumento de 3,35 kg en las carcasas multivertebradas. Del mismo modo, corderos con fórmula T14L6 obtuvieron 3,84 kg más que los corderos con fórmula ancestral T13L6. No se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en el peso de las carcasas cuando se compararon corderos con una vértebra más lumbar o al sumar las vértebras toracolumbares.

Tabla 1. Efecto del número vertebral sobre el peso a la faena y, de la carcasa y sus características en corderos Suffolk

NV	n	BW (kg)	CW (kg)	Ld (mm)	Bf (mm)
T13	73	41,84±0,62^{a}	20,19±0,35^{a}	29,82±0,44^{a}	3,44±0,15^{a}
T14	7	46,51±2,04^{b}	23,54±1,17^{b}	31,86±1,45^{a}	5,47±0,50^{b}
L6	27	42,37±1,08^{a}	20,58±0,63^{a}	29,24±0,75^{a}	3,70±0,28^{a}
L7	53	42,17±0,76^{a}	20,42±0,44^{a}	30,38±0,52^{a}	3,57±0,20^{a}
TL19	20	40,94±1,22^{a}	19,56±0,71^{a}	28,40±0,83^{a}	3,09±0,31^{a}
TL20	60	42,67±0,70^{a}	20,78±0,41^{a}	30,53±0,48^{b}	3,79±0,18^{a}
T13L6	20	41,05±1,20^{a}	19,64±0,69^{a}	28,43±0,83^{a}	3,14±0,29^{a}
T13L7	53	42,15±0,75^{ab}	20,40±0,42^{a}	30,36±0,51^{ab}	3,56±0,18^{a}
T14L6	7	46,43±2,05^{b}	23,48±1,18^{b}	31,72±1,43^{b}	5,44±0,50^{b}

NV: número de vértebras; n: tamaño de la muestra; BW: peso corporal; CW: peso de la carcasa; Ld: profundidad del lomo; Bf: profundidad de la grasa dorsal. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con el mismo superíndice en la misma columna, para cada grupo vertebral, no son significativamente diferentes (P > 0,05)

En la tabla 1 es posible apreciar que el número vertebral tuvo efecto estadísticamente significativo (P ≤ 0,05) para la profundidad del lomo cuando el número de vértebras toracolumbar aumenta de 19 a 20, resultando 2,13 mm mayor aquellos corderos TL20 respecto de TL19. El mismo efecto de aumento en la profundidad del lomo se observó cuando los corderos presentaron formula T14L6 (31,72 ± 1,43 mm, P ≤ 0,05) respecto de otros corderos con T13L6 (28,43 ± 0,83), mostrando un aumento de 3,29 mm a favor de aquellos corderos

multivertebrados. En cuanto a la grasa de cobertura, esta aumentó 2,03 mm en promedio en corderos que presentaron 14 vértebras torácicas (5,47 ± 0,50; P ≤ 0,05) respecto de corderos con 13 (3,44 ± 0,15), y cuando los corderos presentaron fórmula T14L6 aumentaron en promedio 2,30 mm respecto de aquellos corderos con fórmula T13L6.

3.3 Medidas zoométricas

En la tabla 2 se puede apreciar que para cada medida zoométrica estudiada, se observaron mayores dimensiones de longitud, altura y ancho en todos aquellos corderos con vértebras toráxicas extras (P ≤ 0,05). Aquellos corderos que presentaron una vértebra más torácica (T14) fueron 7,27 cm más largos de lomo, 6,91 cm más altos a la cruz y 7,29 cm más altos en la grupa, y 3,60 cm más anchos de pecho y 3,75 cm más anchos en la grupa, comparados con corderos con T13. No se observaron efectos significativos (P > 0,05) en aquellos corderos con 7 vértebras lumbares respecto de los con 6.

Cuando el número toracolumbar resultó ser 20 respecto de 19, el grupo de corderos TL20 presentó en promedio un aumento (P ≤ 0,05) de 4,25 cm más de longitud dorsal, 4,18 y 4,68 cm más de altura a la cruz y en la grupa, respectivamente, y 1,53 y 2,53 cm más ancho en el pecho y en la grupa, respectivamente, que cuando los corderos presentaron T19. Además, cuando

se comparó la talla de corderos con fórmula toracolumbar T13L6 y T13L7 respecto de T14L6, nuevamente estos últimos corderos fueron de mayor tamaño que aquellos con fórmula ancestral, obteniendo 9,43 cm más en longitud, 9,07 y 9,74 cm más de altura a la cruz y grupa, respectivamente, y 4,29 y 5,09 cm más anchos en el pecho y en la grupa, respectivamente.

Tabla 2. Medidas zoométricas (cm) de corderos Suffolk a la faena, según el número y fórmula vertebral

NV	n	LL	AlCr	AlGr	AnPe	AnGr
T13	73	49,20±0,63^{a}	61,71±0,60^{a}	62,92±0,59^{a}	22,30±0,29^{a}	24,11±0,29^{a}
T14	7	56,47±2,08^{b}	68,62±1,99^{b}	70,21±1,93^{b}	25,90±0,95^{b}	27,86±0,94^{b}
L6	27	49,11±1,15^{a}	61,55±1,09^{a}	62,58±1,07^{a}	22,59±0,53^{a}	23,87±0,52^{a}
L7	53	50,18±0,80^{a}	63,52±0,80^{a}	64,08±0,75^{a}	22,62±0,37^{a}	24,72±0,37^{a}
TL19	20	46,63±1,24^{a}	59,16±1,18^{a}	60,03±1,13^{a}	21,45±0,58^{a}	22,53±0,55^{a}
TL20	60	50,88±0,71^{b}	63,34±0,67^{b}	64,71±0,65^{b}	22,99±0,33^{b}	25,06±0,31^{b}
T13L6	20	46,79±1,19^{a}	59,31±1,13^{a}	60,18±1,08^{a}	21,53±0,55^{a}	22,61±0,52^{a}
T13L7	53	50,14±0,73^{a}	62,64±0,69^{a}	63,98±0,66^{a}	22,60±0,34^{a}	24,69±0,32^{b}
T14L6	7	56,22±2,02^{b}	68,38±1,92^{b}	69,92±1,84^{b}	25,82±0,94^{b}	27,70±0,88^{c}

NV: número de vértebras; n: tamaño de la muestra; LL: longitud del lomo; AlCr: altura a la cruz; AlGr: altura a la grupa; AnPe: ancho de pecho; AnGr: ancho de grupa. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con el mismo superíndice en la misma columna, para cada grupo vertebral, no son significativamente diferentes (P > 0,05)

3.4 Regiones corporales

Para observar el posible efecto del número vertebral en el peso de las diferentes regiones del cuerpo, se disectó la carcasa en las regiones que contenían las vértebras adicionales (separando las regiones torácica y lumbar), separando además de ellas el cuello, piernas y brazos. En la tabla 3 se presentan los resultados del despiece, donde al comparar corderos con una vértebra más torácica (T14) respecto de aquellos con un número ancestral (T13), se observó que presentaron 0,11 kg más en la región del cuello, 1,13 kg más en la región torácica, 0,55 kg más en brazos y 0,91 kg más en el lomo, que corderos con T13 ($P \leq 0,05$). El peso de las piernas tendió a aumentar cuando aumenta el número vertebral, aunque no alcanzó un nivel estadísticamente significativo ($P > 0,05$). No se observaron efectos significativos ($P > 0,05$) en aquellos corderos con 7 vértebras lumbares respecto de los con 6. La suma de vértebras toracolumbares sólo presentó un peso mayor de 0,35 kg en la región del lomo cuando el número vertebral fue TL20 respecto de TL19, sin afectar al resto de los cortes. Al comparar las tres posibles fórmulas vertebrales encontradas, fue posible observar que sólo los corderos con T14L6 presentaron mayores pesos promedios que los con fórmulas diferentes, exhibiendo puntualmente 1,27 kg más en la región del tórax, 0,61 kg más en los brazos y 1,07 kg más en el lomo que corderos con fórmula T13L6.

Tabla 3. Efecto del número de vértebras sobre el peso (kg) de regiones corporales en canales de cordero Suffolk

NV	n	Cu	To	Es	Lo	Pi
T13	73	0,99±0,02[a]	6,01±0,12[a]	3,83±0,07[a]	2,79±0,07[a]	6,47±0,11[a]
T14	7	1,10±0,06[b]	7,14±0,40[b]	4,38±0,22[b]	3,70±0,22[b]	7,02±0,35[a]
L6	27	1,01±0,03[a]	6,17±0,22[a]	3,91±0,12[a]	2,88±0,12[a]	6,49±0,18[a]
L7	53	0,99±0,02[a]	6,07±0,15[a]	3,86±0,08[a]	2,86±0,09[a]	6,53±0,13[a]
TL19	20	0,98±0,04[a]	5,83±0,24[a]	3,75±0,13[a]	2,60±0,14[a]	6,31±0,21[a]
TL20	60	1,00±0,02[a]	6,20±0,14[a]	3,92±0,07[a]	2,95±0,08[b]	6,59±0,12[a]
T13L6	20	0,98±0,03[a]	5,86±0,24[a]	3,76±0,13[a]	2,62±0,13[a]	6,32±0,21[a]
T13L7	53	0,99±0,02[a]	6,07±0,15[a]	3,86±0,08[a]	2,85±0,08[a]	6,53±0,13[a]
T14L6	7	1,10±0,06[a]	7,13±0,41[b]	4,37±0,22[b]	3,69±0,21[b]	7,00±0,36[a]

VN: número de vértebras; n: tamaño de la muestra; Cu: cuello; To: tórax; Es: brazos; Lo: lomo; Pi: piernas, Los valores se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con diferentes superíndices en la misma columna, para cada grupo vertebral, son significativamente diferentes (P ≤ 0,05)

4 Discusión

4.1 Frecuencia vertebral observada

El número de vértebras torácicas y lumbares parece variar entre ovinos de aptitud carnicera, ya que al igual que en esta investigación, en ovinos de raza Texel (Lambe et al., 2015) el número de vértebras torácicas y lumbares

variaron, encontrando también una mayor frecuencia de carnerillos con 13 vértebras torácicas (95 %), pero también se observaron algunos con 12 y 14 (ambas frecuencias inferiores a 5 %). A su vez, una mayor proporción de individuos con 6 vértebras lumbares (64 %) que con 7 (36 %), comparados con corderos Suffolk de este estudio donde L7 predominó sobre L6 (figura 3A). Posiblemente la selección visual constante de animales con mayor longitud contribuya a esta característica, la que presumiblemente favorezca el encontrar aumento vertebral.

Similares observaciones coinciden con lo reportado en ovinos mongoles (Zhang et al., 1998), donde se señala que el mayor número de ovinos reportados con una o dos vértebras más (TL20 y TL21, 82,9 % y 6,6 %, respectivamente) en la región toracolumbar, respecto del número ancestral TL19 (que solo fue 10,6 %), se asociaría a la selección artificial constante de ovinos con mayor longitud. Del mismo modo McLaren et al. (2021) reportan variabilidad para tres razas ovinas, donde observaron una mayor proporción en ovinos de raza Suffolk y Charollais con TL20 (78,33 % y 74,39 %, respectivamente) que con TL19 (20,31 % y 24,89 %, respectivamente) respecto de Texel, donde en esta última encontraron sólo 33,12 % con TL20 pero una mayor proporción con TL19 (65,34 %).

La variación en el número vertebral torácico y lumbar permite observar diferentes fórmulas para un mismo número toracolumbar, lo que también varía tanto entre razas como dentro de cada raza. Un estudio realizado por

Donaldson et al. (2013) mostró diferentes números de fórmulas para cada número toracolumbar registrado en diferentes razas ovinas y sus cruzas, reportando solo una fórmula para TL17 (T13L4) y TL18 (T12L6), dos para TL19 (T12L7; T13L6) y TL21 (T13L8; T14L7) y hasta tres fórmulas cuando fue TL20 (T12L8; T13L7; T14L6). Esta variación del número vertebral en las diferentes regiones anatómicas de la columna vertebral post cervical y pre sacral, que se traducen en diferentes fórmulas toracolumbares, ocurrirían por el efecto homeótico durante el proceso de somitogénesis vertebral temprana, donde no cambiaría el número vertebral, sino su identidad, transformando así vértebras torácicas en lumbares o viceversa, así también en otras, cambiaría tanto su identidad como el número de vértebras (Slijepčević et al., 2015; Wong et al., 2015).

4.2 Peso vivo y características de la carcasa

Una vértebra más torácica en corderos Suffolk afecta considerablemente el BW y CW, ya que estas variaciones en el número vertebral provocarían aumentos en estos rasgos de producción, aumentando con ello los productos cárnicos que derivan de la carcasa. Esto coincide con lo reportado por Li et al, (2017) quienes también observaron ventajas en el peso de la carcasa cuando hay aumento vertebral en la zona torácica de ovinos nativos de raza kazaja.

Sus resultados mostraron que los ovinos con vértebras adicionales tenían significativas ventajas sobre el peso de la carcasa y que fueron más evidentes en aquellas con vertebras torácicas extras. Por su parte, al comparar corderos Suffolk con diferente número de vértebras lumbares, no se observó efecto sobre el peso corporal y de la carcasa como con vertebras torácicas extras, lo que resultó similar a lo encontrado por Gungor et al. (2021) y Zhang et al. (2017), quienes tampoco hallaron aumentos en BW y CW con diferentes números de vértebras lumbares. Pero estos últimos autores si reportaron 1,93 kg más en carcasas de ovinos con TL20 respecto de TL19 cuando la vértebra extra fue torácica. Por lo que una vértebra torácica adicional al parecer tendría mayor efecto que una lumbar. Esto podría deberse a que animales con mayor número vertebral presentarían una mayor talla corporal, reflejándose en el peso del cuerpo y carcasa, lo que se hace evidente al comparar estos parámetros. Sin embargo, es necesario observar si también aumentan con ello otros parámetros de interés como el ojo del lomo, la grasa corporal, la longitud y ancho del cuerpo, y los cortes que son posibles de obtener.

De esta forma hallazgos anteriores, obtenidos por Zhang et al. (1998), señalan un aumento en el músculo del lomo de ovejas mongolas, producido por vértebras torácicas extras, no así cuando había una más lumbar. Pero en cambio reportan una disminución de la grasa, ya que al aumentar el tamaño y longitud de la oveja, este músculo también crecería en longitud y profundidad, presentándose de mayor peso, pero magro. No obstante lo anterior, en ovinos

Texel, se ha reportado una tendencia a disminución del porcentaje de musculatura en la carcasa cuando hay un aumento de su longitud, sin embargo al presentar una región torácica más larga y una región lumbar corta, por efecto del número vertebral, su condición cambiaría tendiendo a aumentar su área muscular en el lomo, pero sin encontrar asociación con el aumento de la grasa. En cambio, en ovinos Scottish Blackface, con vértebras lumbares extras, si mostraron una correlación baja pero significativa, ligeramente menor, de grasa de cobertura y musculatura en el lomo (Donaldson et al., 2013). Esto nuevamente viene a confirmar que la variación en estos parámetros también es variable, tanto entre razas cono dentro de razas ovinas, ya que no en todos los casos el efecto de una vértebra torácica extra resulta en más músculo en el lomo, acompañado de menos grasa.

4.3 Medidas zoométricas

Estos resultados muestran que aquellos corderos con vértebras extras en la región torácica presentarían mayores tallas corporales, los que eventualmente pudieran ser identificados por personas entrenadas al resaltar entre otros de menores dimensiones. Estudios previos han reportado resultados similares en cerdos, señalando que aquellos con mayor numero vertebral que lo ancestral presentarían mayor longitud corporal (Borchers et al., 2004). Del

mismo modo, ovejas nativas chinas con 1 a 2 vértebras más en la región toracolumbar aumentaron su longitud en 3 a 6 cm, y en general se observó un cuerpo más robusto y de mayor tamaño que las normales (Zhang et al., 1998). Posteriormente, en ovejas kazajas, también encontraron mayor longitud cuando el numero vertebral torácico fue 14 respecto de 13, señalando que sería un rasgo económico importante, ya que al aumentar el largo, producto de una vértebra más torácica, también aumentó el número de costillas (Zhang et al., 2017). Por su parte Li et al. (2017) reportan que hubo efecto en la longitud de la carcasa de ovinos cuando esta se presentó tanto con una vértebra más torácica (T14L6) como también con una vértebra más lumbar (T13L7), respecto de la formula ancestral (T13L6), aumentando 2,93 cm y 2,22 cm, respectivamente, lo que tendría implicancia tanto en el largo como también en el peso de la carcasa. En ovejas turcas, Gungor et al. (2021) solo estudiaron el efecto de una vértebra extra en la región lumbar, encontrando diferencias en el largo de la carcasa cuando existe una vértebra más (L7) respecto de lo normal (L6), lo que no se encontró en nuestro estudio. Sin embargo, señalan que un mayor número de vértebras afectaría no solo la longitud de esta, sino también la relación de carne en la carcasa.

4.4 Regiones corporales

La información obtenida en esta investigación sugiere que la presencia de vértebras extras contribuiría a aumentar la talla del animal, y por tanto su tamaño. En este sentido también lo harían las dimensiones de sus regiones corporales, por lo que su peso se vería afectado positivamente en estos segmentos corporales al aumentar sus tejidos. Al respecto, Zhang et al. (2017) señalan que el aumento en el número vertebral estaría asociado a un aumento del músculo *Longissimus* y piezas óseas extras (costillas y vértebras), lo que contribuiría a aumentar el peso de tales regiones. Esto coincidiría con el aumento de 1,90 kg reportado en carcasas de ovejas Kazaja con fórmula T14L6 respecto de aquellas T13L6, quienes presentarían un potencial aumento de los cortes posibles de obtener, al ser carcasas más pesadas, sino también al presentar mayor longitud (Li et al., 2017). En tanto el aumento de una vértebra lumbar adicional, encontrada en ovejas turcas, sólo tuvo efecto sobre el peso de algunos cortes, como la pierna y el lomo, que fueron mayores en aquellos corderos con siete vértebras lumbares, pero no afectó al cuello, brazos y costillas Gungor et al. (2021). En los corderos Suffolk de nuestra investigación, todas las piezas obtenidas de la carcasa, a excepción de la pierna, obtuvieron mayores pesos cuando la región torácica presentó una vértebra extra, y cuando se analizó el tipo de fórmula vertebral toracolumbar, sólo las regiones tórax, brazos y lomo se observaron de mayor peso. Lo anterior muestra que la

presencia de una vértebra torácica extra, respecto de lo ancestral, tendría un mayor efecto sobre las piezas corporales posibles de obtener a lo largo de la columna, y un menor efecto sobre las piezas corporales apendiculares. Sin embargo, aunque no hubo diferencias estadísticas, se observó una tendencia a aumentar el peso de las regiones corporales en la medida que aumentó el número vertebral, tanto por vértebras torácicas como por vértebras lumbares.

5 Conclusiones

Se observa un mayor número de corderos con 13 vértebras torácicas y 7 lumbares (T13 y L7) que con T14 y L6, en los mismos segmentos vertebrales. El número toracolumbar 20 y la fórmula vertebral T13L7 son las más frecuentes en la muestra, por lo que predomina un mayor número de corderos Suffolk multivertebrados. Una vértebra torácica extra (T14), independiente del número de vértebras lumbares, tiene mayor efecto sobre el peso vivo, peso de la carcasa, las dimensiones corporales y el peso de 3 de las 5 regiones corporales, correspondiente a Lo, To y Es, presentando mayores pesos y tamaño los corderos Suffolk con esta condición.

CAPITULO II

VARIACIÓN DEL NÚMERO DE VÉRTEBRAS TORACOLUMBARES EN CORDEROS SUFFOLK Y SU EFECTO EN EL PESO, ZOOMETRÍA Y CORTES COMERCIALES EN LA CARCASA

En el siguiente capítulo se presenta la frecuencia observada del número de vértebras torácicas y lumbares encontradas en corderos Suffolk, y las fórmulas toracolumbares que estos presentaron al combinar el número de ambas, y como estas variaciones afectaron, respecto del número de vértebras toracolumbares, el peso de la carcasa, sus dimensiones y, el peso de sus cortes comerciales.

1 Resumen

El objetivo fue determinar la variación del número de vértebras toracolumbar (TL) y su efecto en el tamaño y peso de la carcasa y los cortes en corderos Suffolk. El número vertebral se determinó mediante radiografías en 51 corderos, y sus fórmulas mediante la suma toracolumbar. Las carcasas se

pesaron a la faena, los cortes y las mediciones zoométricas se realizaron al día siguiente. Se observó que existe variación en el número toracolumbar con respecto al número ancestral TL19, encontrando TL20 y TL21, registrándose 4 fórmulas diferentes, una ancestral T13L6 (19,6 %), y tres multivertebrales T13L7 (70,6 %), T14L6 (5,9 %) y T14L7 (3,9 %). Corderos TL21 (T14L7) producen canales 4,4 kg más pesadas y 6,14 cm más largas que TL19 y, 3,9 kg más pesadas y 5,24 cm más largas que TL20. Los pesos de los cortes de la canal de corderos multivertebrados son superiores a los obtenidos de aquellos con número ancestral.

2 Materiales y métodos

2.1 Animales y mediciones

Se utilizaron 51 corderos hembras y machos Suffolk provenientes de un rebaño ovino ubicado en la comuna de Chillán, Chile. Los corderos se criaron junto a sus madres en pastoreo libre hasta su faena en el mes de enero de la temporada 2018. Todos los procedimientos con animales fueron aprobados por un comité de bioética de la UdeC. El número vertebral torácico (NVT) y lumbar (NVL) se determinó entre las 3 a 5 semanas de edad, con un equipo radiográfico digital directo Sahara Slate PC, Slate cuatro, PCMAX-20HPLUS, regulado para 70 kV y 1,8 mAs. El número toracolumbar (NVTL) se determinó al

sumar el conjunto de vértebras, y el número de fórmulas vertebrales toracolumbares (FVTL) por combinación. La faena de los corderos se realizó cuando alcanzaron 38,01 ± 4,38 kg de peso vivo (165,63 ± 16,97 días). El pesaje de la carcasa (CW), el peso de los cortes (JW) de la carcasa, y las mediciones zoométricas de la carcasa (CZM) se realizaron al día siguiente de la faena, utilizando para esta última una cinta métrica flexible y una forcípula como compás de broca.

2.2 Procedimientos

Las medidas zoométricas en la carcasa (figura 4) se realizaron sobre la carcasa fría, tras 24 horas de refrigeración a 4 °C, registrando longitud interna de la carcasa (L), Profundidad de tórax (Th), Ancho de grupa (G) y Ancho de tórax (Wr), según lo descrito por Ruiz de Huidobro et al. (2005). Para el despiece (figura 5), se dividió la carcasa en dos medias carcasas a través de un corte sagital de la columna vertebral. La media carcasa izquierda se utilizó para su disección separándola en 6 regiones anatómicas. Las piezas del cuello (Cu), brazos (Es) y pecho (Pe) se obtuvieron según lo descrito por Delfa et al. (2005). Las piezas correspondientes a chuleta de tórax (ChT) y chuleta de lomo (ChL), se obtuvieron seccionando entre la última vértebra torácica y primera lumbar, y la última vértebra lumbar y la primera vertebra sacra de la media carcasa,

respectivamente. Como consecuencia del despiece anterior, la pierna (Pi) queda libre, resultando en la última pieza. A continuación se registró el peso de cada uno de los 6 cortes.

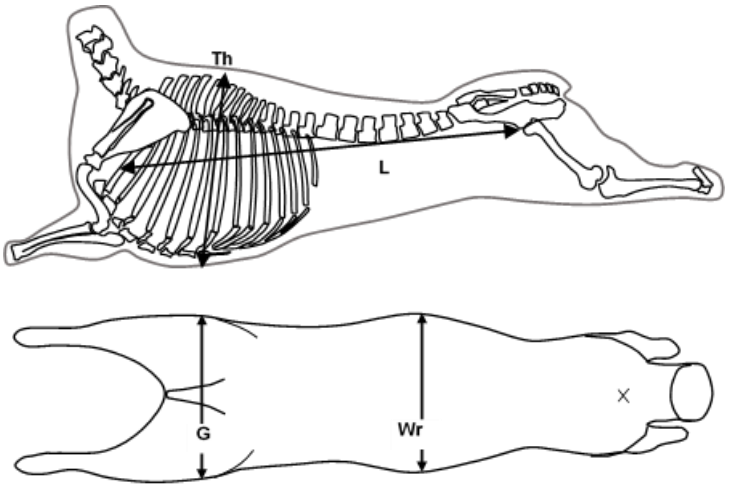

Figura 4. Esquema de mediciones zoométricas en la carcasa ovina. Longitud interna de la carcasa (L), Profundidad de tórax (Th), Ancho de grupa (G) y Ancho de tórax (Wr). (Fuente: elaboración propia)

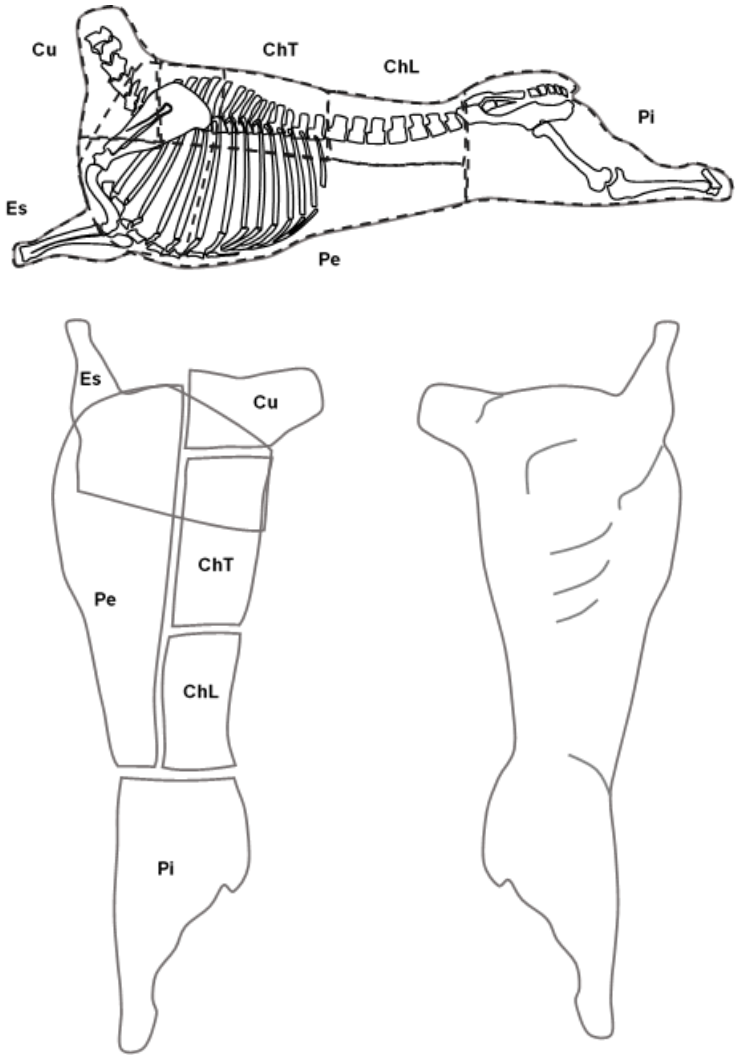

Figura 5. Esquema de despiece de la carcasa ovina utilizando la media carcasa izquierda. Cuello (Cu), brazos (Es), pecho (Pe), chuleta de tórax (ChT), chuleta de lomo (ChL) y pierna (Pi). (Fuente: elaboración propia)

2.3 Análisis estadístico

Para estimar el efecto de la variación del número vertebral en el peso de la carcasa (CW), medidas zoométricas de la carcasa (CZW) y el peso de los cortes (JW) se aplicó un modelo general lineal, GLM. Todos los datos se presentaron como medias de mínimo cuadrado ± error estándar. Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software Infostat (2011). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + V_j + \beta\chi_1 + \beta\chi_2 + E_{ij}$$

Donde Y_{ij} es el valor individual de cada rasgo (CW, CZM, JW), con μ como media general; G_i = efecto fijo del i-ésimo sexo (i = 1 o 2 representando macho o hembra, respectivamente); V_j = efecto fijo del número vertebral, el que será reemplazado consecutivamente por T_j (j = 1 o 2 que representa 13 o 14 vértebras torácicas, respectivamente), L_j (j = 1 o 2 que representa 6 o 7 vértebras lumbares, respectivamente), N_j (j = 1, 2 o 3 que representan 19, 20 o 21 vértebras toracolumbares, respectivamente), o F_j (j = 1, 2, 3 o 4 que representan el número de fórmulas vertebrales encontradas: T13L6 (13 vértebras lumbares y 6 torácicas), T13L7 (13 vértebras lumbares y 7 torácicas),

T14L6 (14 vértebras lumbares y 6 torácicas) y T14L7 (14 vértebras lumbares y 7 torácicas), respectivamente, cuando se evaluó el efecto de cada tipo de rasgo vertebral (NVT, NVL, NVTL y FVTL) (uno a la vez), β es la pendiente que relacionará las variables χ_1 (edad del cordero a la faena) y χ_2 (peso de nacimiento) con la variable respuesta, E_{ij} es el efecto residual aleatorio.

3 Resultados

3.1 Número vertebral y fórmulas

En la tabla 4 es posible observar que el rango de variación observado para vértebras torácicas en corderos Suffolk fue de 13 a 14 vértebras, y para la región lumbar fue de 6 a 7 vértebras. Normalmente se espera encontrar 13 vértebras torácicas (T13) y 6 lumbares (L6), lo que se reconoce como el número ancestral de 19 vértebras toracolumbares (TL19). Las frecuencias observadas de corderos Suffolk con trece vértebras torácicas (T13) fue nueve veces mayor (90,2 %) a la de aquellos corderos con catorce (T14, 9,8 %), en cambio fue tres veces mayor (74,5 %) en aquellos con siete vértebras lumbares (L7) que para los con seis vértebras lumbares (6L, 25,5 %). Cuando se encontró corderos con una vértebra más torácica, esta se encontraba acompañada de un par de costillas claramente definidas.

Tabla 4. Número y frecuencia de vértebras torácicas y lumbares observadas, y el número y fórmula vertebral

NVT	n	Frec. (%)	NVL	n	Frec. (%)	NVTL	n	Frec. (%)	FVTL	n	Frec. (%)
13	46	90,2	6	13	25,5	19	10	19,6	T13L6	10	19,6
14	5	9,8	7	38	74,5	20	39	76,5	T13L7	36	70,6
									T14L6	3	5,9
						21	2	3,9	T14L7	2	3,9

NVT: número de vértebras torácicas; n. tamaño de la muestra; Frec.: frecuencia observada; NVL: número de vértebras lumbares; NVTL: número de vértebras toracolumbar; TLVF: fórmula vertebral toracolumbar

Al observar las combinaciones entre el número de vértebras torácicas y lumbares, fue posible definir cuatro fórmulas toracolumbares (tabla 4), donde las que se encontraron con mayor frecuencia fueron las de corderos multivertebrados con una vértebra más lumbar (L7), y en menor proporción con una vértebra torácica extra (T14). La mayor proporción de animales correspondió a aquellos con una vértebra más lumbar (L7) acompañada de 13 torácicas, representada por T13L7, observándose una frecuencia de 70,6 %. Además, se observaron corderos con una vértebra más torácica (T14) acompañada de 6 lumbares T14L6 (5,9 %), y otros corderos con una vértebra más torácica y otra lumbar T14L7 (3,9 %). En conjunto, estas dos anteriores

fórmulas representaron 9,8 %, pero, la suma de estas tres últimas fórmulas fueron las con mayor frecuencia observada (80,4 %). En contraste con los corderos multivertebrados, que con fórmula ancestral T13L6 solo alcanzaron al 19,6 % del total, presentándose en menor proporción. Con las combinaciones anteriores, correspondiente a las cuatro fórmulas toracolumbar encontradas, y luego de sumar el número total de vértebras torácicas y lumbares, fue posible obtener tres categorías para esa zona corporal, correspondientes a 19, 20 y 21 vértebras toracolumbares (TL), donde solo 19,6 % correspondió al número ancestral TL19, y 80,4 % fueron corderos multivertebrados TL20, (76,5 %) y TL21 (3,9 %).

3.2 Peso de las carcasas y sus cortes

El peso de las carcasas (tabla 5) fue significativamente mayor ($P \leq 0,05$) cuando se encontraron corderos con 14 vértebras torácicas respecto de 13, y no se observó efecto cuando varió el número de 6 a 7 vértebras lumbares. La carcasa de corderos Suffolk fue más pesada cuando el número toracolumbar fue 21 respecto de 19 y 20, y solo la fórmula T14L7 se observó con mayor peso que la fórmula ancestral T13L6 ($P \leq 0,05$). Los corderos Suffolk con vertebras torácicas y lumbares adicionales TL21 producen 4,4 kg y 3,9 kg más que los corderos TL19 y TL20, respectivamente. Aunque no se observaron diferencias

estadísticamente significativas (P > 0,05), es posible apreciar un leve aumento del peso de la carcasa en la medida que aumenta el número y la fórmula toracolumbar.

Tabla 5. Efecto del número de vértebras sobre el peso de la carcasa (kg) y sus cortes comerciales (kg)

NV	n	CW	Cu	Es	Pe	ChT	ChL	Pi
T13	46	17.77±0.34^{a}	0.68±0.02^{a}	1.62±0.03^{a}	1.43±0.03^{a}	1.27±0.03^{a}	1.02±0.03^{a}	2.75±0.05^{a}
T14	5	21.40±1.05^{b}	0.89±0.07^{b}	1.93±0.09^{b}	1.89±0.09^{b}	1.61±0.08^{b}	1.29±0.10^{b}	3.33±0.14^{b}
L6	13	18.36±0.73^{a}	0.79±0.05^{a}	1.63±0.06^{a}	1.47±0.07^{a}	1.31±0.06^{a}	1.04±0.07^{a}	2.78±0.10^{a}
L7	38	18.03±0.42^{a}	0.67±0.03^{b}	1.66±0.03^{a}	1.47±0.04^{a}	1.30±0.03^{a}	1.05±0.04^{a}	2.81±0.06^{a}
TL19	10	17.57±0.80^{a}	0.76±0.05^{a}	1.56±0.06^{a}	1.37±0.07^{a}	1.24±0.06^{a}	1.00±0.07^{a}	2.66±0.11^{a}
TL20	39	18.06±0.40^{a}	0.68±0.03^{a}	1.66±0.03^{a}	1.47±0.04^{a}	1.30±0.03^{a}	1.04±0.04^{a}	2.80±0.05^{a}
TL21	2	22.01±1.79^{b}	0.91±0.12^{a}	2.00±0.14^{b}	1.96±0.16^{b}	1.66±0.14^{b}	1.43±0.17^{b}	3.52±0.24^{b}
T13L6	10	17.62±0.76^{a}	0.76±0.05^{a}	1.56±0.06^{a}	1.37±0.06^{a}	1.24±0.06^{a}	1.00±0.07^{a}	2.67±0.10^{a}
T13L7	36	17.81±0.40^{ab}	0.66±0.03^{a}	1.64±0.03^{a}	1.44±0.03^{a}	1.28±0.03^{ab}	1.03±0.04^{ab}	2.77±0.05^{a}
T14L6	3	20.97±1.35^{ab}	0.88±0.09^{a}	1.88±0.11^{ab}	1.83±0.11^{b}	1.57±0.10^{bc}	1.21±0.13^{ab}	3.21±0.10^{ab}
T14L7	2	22.08±1.71^{b}	0.92±0.11^{a}	2.00±0.13^{b}	1.97±0.14^{b}	1.67±0.13^{c}	1.44±0.17^{b}	3.53±0.23^{b}

NV: número de vértebras; n: tamaño de la muestra; CW: peso de la carcasa; Cu: cuello; Es: brazos; Pe: pecho; ChT: chuletas de tórax; ChL: chuletas de lomo; Pi: pierna. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con el mismo superíndice en la misma columna, para cada grupo vertebral, no son significativamente diferentes (P > 0,05)

En los cortes obtenidos de la carcasa (tabla 5), los pesos son significativamente mayores (P ≤ 0,05) en corderos con 14 vértebras torácicas

respecto de los de 13 vértebras torácicas, y sin encontrar diferencias estadísticas entre aquellos de 6 y 7 vértebras lumbares, con excepción del cuello (Cu). Los corderos multivertebrados TL21 presentaron promedios de pesos mayores a 0,4 kg ($P \leq 0,05$) en los cortes de espalda, pecho y chuletas, y sobre 0,8 kg en pierna, respecto de aquellos corderos con TL19 y TL20. En las fórmulas vertebrales es posible observar una tendencia a aumentar el peso de los cortes en la medida que aumenta el número vertebral torácico y lumbar en los corderos, donde T14L7 y T14L6 presentan los mayores pesos respecto a las otras fórmulas. Al comparar los corderos con fórmula ancestral T13L6 respecto de T14L7 es posible observar que estos últimos presentan diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) de 0,44 kg más de espalda (Es), 0,60 kg más de pecho (Pe), 0,43 kg más de chuleta de tórax (ChT), 0,44 kg más de chuleta de lomo (ChL) y 0,86 kg más de pierna (Pi).

3.3 Medidas zoométricas de carcasas

Las medidas zoométricas (tabla 6) de ancho de tórax (Wr) y ancho de grupa (G) no mostraron un efecto en la talla de las carcasas, a excepción de aquellos corderos con 14 vértebras torácicas (T14), pero si en la longitud de la carcasa (L) y profundidad del torax (Th), donde obtuvieron mayores dimensiones cuando

los animales presentaron 14 vértebras torácicas respecto de 13, resultando en una carcasa 3,86 cm más larga y, 1,29 cm más profunda de tórax.

Tabla 6. Efecto del número de vértebras sobre las medidas zoométricas (cm) de la carcasa

VN	n	L	Th	Wr	G
T13	46	62.36±0.30^{a}	25.89±0.15^{a}	22.41±0.20^{a}	25.01±0.14^{a}
T14	5	66.22±0.90^{b}	27.15±0.46^{b}	23.77±0.62^{b}	26.29±0.43^{b}
L6	13	62.49±0.66^{a}	25.62±0.31^{a}	23.18±0.39^{a}	25.43±0.29^{a}
L7	38	62.79±0.38^{a}	26.13±0.18^{a}	22.33±0.23^{a}	25.03±0.16^{a}
TL19	10	61.83±0.65^{a}	25.34±0.32^{a}	22.99±0.46^{a}	25.14±0.33^{a}
TL20	39	62.67±0.32^{a}	26.08±0.16^{a}	22.37±0.23^{a}	25.07±0.16^{a}
TL21	2	68.32±1.46^{b}	27.98±0.71^{b}	23.75±1.02^{a}	26.19±0.74^{a}
T13L6	10	61.86±0.63^{a}	25.35±0.32^{a}	23.01±0.44^{a}	25.16±0.31^{a}
T13L7	36	62.49±0.33^{a}	26.03±0.16^{a}	22.25±0.23^{a}	24.97±0.16^{a}
T14L6	3	64.85±1.11^{ab}	26.59±0.56^{ab}	23.80±0.78^{a}	26.35±0.55^{a}
T14L7	2	68.37±1.41^{b}	28.15±0.71^{b}	23.79±0.99^{a}	26.22±0.70^{a}

NV: número de vértebras; n: tamaño de la muestra; L: longitud interna de la carcasa; Th: profundidad de tórax; Wr: ancho de tórax; G: ancho de grupa. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con diferentes superíndices en la misma columna, para cada grupo vertebral, son significativamente diferentes (P ≤ 0,05).

Cuando se agrupan respecto a la totalidad de vértebras toracolumbar, los corderos TL21 resultan ser más largos (68,32 ± 1,46 cm, P ≤ 0,05) respecto de

aquellos TL20 (62,67 ± 0,32 cm) y TL19 (61,83 ± 0,65 cm), y también más profundos de tórax. No se observó un efecto cuando varió el número de vértebras lumbares (P > 0,05). Corderos con fórmulas T14L7 mostraron canales 6,51 cm de mayor longitud y 2,80 cm más de profundidad de tórax (P ≤ 0,05) que corderos con fórmula T13L6, y 5,88 cm de mayor longitud y 2,12 cm más de profundidad de tórax (P ≤ 0,05) que corderos con fórmula T13L7, con una tendencia a aumentar en la medida que aumenta la fórmula toracolumbar.

4 Discusión

4.1 Variación vertebral

Investigaciones anteriores (Donaldson et al., 2013) en cuatro diferentes razas ovinas (Texel, Scottish Blackface, Texel cruza Mule y Poll Dorset cruza Mule) encontraron rangos mayores de variación vertebral, de 12 a 14 vértebras torácicas y 4 a 8 vértebras lumbares, y Zhang et al. (2017) 12 a 14 vértebras torácicas, pero sólo 5 a 6 vértebras lumbares en ovinos kazajos. Junto con nuestros resultados, parece existir diferentes grados de variación entre razas ovinas, e incluso en una misma raza, lo que permitiría encontrar y seleccionar individuos de interés productivo. Por su parte Zhang (1996) reporta, en ovinos mongoles, tres veces más ovejas con 13 vértebras torácicas que con 14, y una mayor frecuencia para 6 vértebras lumbares (60,3 %) que para 7 (39,7 %).

En las razas ovinas Texel, Scottish Blackface y Texel cruza Mule y Poll Dorset cruza Mule se reportan, respectivamente, cerca de 27,9 %, 63,9 %, 48,2 % y 58,5 % de ovinos multivertebrados, donde la fórmula vertebral T13L7 fue la más común en todas las razas, seguidas de T14L6 y T14L7, y las restantes fórmulas correspondieron a las del tipo ancestral T13L6 o de menor número vertebral, en un rango que varió de 36,1 % a 72,1 % (Donaldson et al., 2013).

En cambio, para ovinos kazajos se observaron solo 5,8 % de multivertebrados con fórmula T14L6, y 79,2 % con fórmula T13L6, y 15 % para formulas inferiores T12L6, T13L5 (Zhang et al., 2017). No parece haber una total concordancia entre la aptitud carnicera de las razas ovinas y un mayor número vertebral, aunque en nuestra investigación, los corderos Suffolk se observaron en mayor proporción multivertebrados. Esto también fue observado en cerdos al iniciar las investigaciones vertebrales (Freeman. 1939), donde aquellas razas para tocino tendían a presentar mayores números vertebrales que otras razas. Estudios en carneros Texel reportaron cuatro agrupaciones toracolumbares, donde la mayoría (63,7 %) presentó 19 vertebras toracolumbares (TL19) y solo 2 % un número inferior (TL18), en cambio con vértebras extras TL20 solo 34 % junto con 0,26 % para TL21 (Lambe et al., 2015). De esta manera, la frecuencia de aparición de ovinos con un número toracolumbar TL20 no parece ser tan escaso como la frecuencia de ovinos TL21, ya que estos últimos presentan una vértebra más torácica y una más lumbar en conjunto, lo que es más inusual.

4.2 Características de la carcasa

Se observó un aumento del peso de la carcasa, de 3,63 kg cuando aumentó el número de vertebras torácicas de T13 a T14. Además, se observó un aumento de peso cuando aumentó una vértebra torácica al mismo tiempo que aumentó una vértebra lumbar, correspondiendo esto a corderos con número toracolumbar TL21 o fórmula T14L7, los que representaron una baja cantidad de animales en el total de la muestra, pero fueron consistentemente de mayor peso. Al contrario de lo reportado en ovejas kazajas, donde no se observó variación del peso de la carcasa al variar el número de vértebras torácicas y lumbares, como tampoco al observar el número de vértebras toracolumbares y sus fórmulas (Zhang et al., 2017). Sin embargo, el aumento de peso encontrado se podría deber al aumento muscular producto también de una mayor talla, como lo reporta Zhang et al. (1998).

Una vértebra adicional en la zona lumbar no mostró efecto ($P > 0,05$), pero si lo hizo una vértebra más en el tórax, para cada uno de los cortes obtenidos de la carcasa (tabla 5). Lo anterior se puede deber tanto a la mayor longitud y peso de las carcasas de corderos multivertebrados, de las que se obtuvieron cortes más pesados. En otro estudio con ovejas mongolas se obtuvieron mayores pesos de carne en la carcasa cuando las ovejas fueron multivertebradas, señalando que esto contribuiría a obtener más cortes (Zhang et al., 1998). Al comparar los cortes obtenidos de corderos con fórmula

ancestral T13L6 y la fórmula multivertebral T14L7 se ve un claro efecto de aumento de peso en los cortes cuando aumenta el número vertebral de TL19 a TL21. Sin embargo, esto no ocurre así entre las fórmulas T13L7 y T14L6, pues su número vertebral se mantiene, en este caso en TL20, ya que es atribuible al efecto homeótico durante la somitogénesis en el desarrollo temprano de las vértebras, donde no cambiaría el número vertebral, sino su identidad, transformando así la última vértebra torácica en una lumbar o viceversa (Böhmer et al., 2018). Todo lo anterior parece indicar que aquellos corderos multivertebrados, especialmente con 14 vértebras torácicas y 7 lumbares, presentarían carcasas y cortes de chuletas de mayor peso por efecto de vertebras adicionales, ya que aumentaría la longitud del músculo *Longissimus dorsi* y un par más de costillas asociadas a una vértebra lumbar extra (Zhang et al., 2017). También podría deberse a extremidades de mayor musculatura producto del mayor peso que deben soportar, comparado con aquellos corderos sin vértebras adicionales.

El número de vértebras extra en la región torácica tuvo como efecto corderos de mayor talla en la carcasa, tanto en su longitud, profundidad de tórax y anchos de grupa y tórax. Del mismo modo, corderos con una vértebra más torácica y lumbar, representados por TL21 o la fórmula T14L7, presentan mayores dimensiones corporales que aquellos corderos con TL19 o TL20. Esto podría deberse a que vértebras extras generarían mayores efectos longitudinales en el animal, por sobre las medidas de ancho, ya que se ha

observado que el aumento del número vertebral reduce el tamaño individual de cada vértebra, pero en conjunto, la suma de cada uno de sus largos generaría mayor longitud corporal en los ovinos por efecto de las vértebras torácicas y lumbares adicionales (Donaldson et al., 2013).

Finalmente, los corderos Suffolk multivertebrados con una vértebra torácica y lumbar más (TL21) que los con formula ancestral (TL19) resultan ser 4,4 kg más pesados y 6,12 cm más largos de carcasa, y es posible obtener cortes más pesados de brazo, pierna, pecho y chuletas, lo que permitiría utilizar estos parámetros como una forma de selección para obtener corderos con mayor potencial productivo de carne y cortes.

5 Conclusiones

La variación observada del número de vértebras fue mayor para corderos con 13 vértebras torácicas que con 14, en cambio 7 vértebras lumbares predominó respecto de 6. Sin embargo, al estudiar las combinaciones hubo una mayor frecuencia de corderos Suffolk multivertebrados que aquellos con número ancestral 19, donde la fórmula T13L7 predominó. El peso y largo de la carcasa aumentó cuando se presentaron 21 vértebras toracolumbares, al igual que cuando la fórmula vertebral fue T14L7, mostrando una consistente tendencia a aumentar en la medida que aumenta el número vertebral respecto

del ancestral. Los cortes obtenidos de las carcasas también aumentan su peso cuando provienen de corderos multivertebrados, con excepción del cuello.

CAPITULO III

DESARROLLO DE UN MÉTODO DIGITAL 2D QUE PERMITA IDENTIFICAR CARCASAS DE CORDEROS MULTIVERTEBRADOS

En este capítulo se presenta la utilización de un método digital 2D para la medición zoométrica de carcasas y medias carcasas de corderos Suffolk comparado con el método tradicional o de referencia realizado con instrumentos manuales, con la finalidad de detectar objetivamente carcasas de mayores dimensiones como se hace por el método tradicional, las que por la información presentada en los capítulos anteriores se tiene evidencia que resultan de mayor talla en aquellos corderos multivertebrados. Al resultar ser estas poco detectables a simple vista, se espera mejorar la objetividad instrumental con el uso y ayuda de tecnología digital. Sin embargo, el uso de un sistema digital permitiría utilizar otra forma de detección de estas, por lo que se explora un sistema digital en 2D comparando su exactitud y precisión con la zoometría tradicional utilizando carcasas ovinas.

1 Resumen

El objetivo fue comparar la utilización del método tradicional respecto de uno digital 2D para obtener e identificar las medidas zoométricas de carcasas y medias carcasas de corderos Suffolk con fórmula ancestral y multivertebrados. Se utilizaron 51 carcasas de corderos Suffolk de los cuales se conocían previamente su número vertebral torácico y lumbar por medio de radiografías. Al día siguiente de la faena se realizó en las carcasas la zoometría en forma tradicional y digital. La evaluación digital se realizó con una cámara fotográfica cuyas imágenes fueron escaladas computacionalmente para obtener sus medidas. Estadísticamente se compararon ambos métodos para determinar su exactitud y precisión. La magnitud de las medidas zoométricas tradicionales respecto de las obtenidas en forma digital 2D fueron distintas, aunque con un error relativo esperado de -2,02 % a -10,63 %, donde además la correlación entre ambas medidas presenta coeficientes de 0,52 a 0,96 lo que es moderado a muy alto. Su coeficiente de determinación fue R^2=0,99 robusto para ambos métodos, tanto en la carcasa como media carcasa. Por lo que la utilización de zoometría digital 2D permite obtener e identificar las medidas de las carcasas con número vertebral ancestral y multivertebrales, obteniendo una exactitud normal o esperada y una alta precisión.

2 Introducción

La zoometría tradicional, utilizando instrumentos de uso manual, estudia la forma de los animales mediante mediciones corporales concretas que permiten cuantificar la conformación corporal, lo que corresponde a una importante herramienta de trabajo para definir una población o determinar tendencias productivas (Parés, 2009). Considerar los datos obtenidos en zoometría como valores matemáticamente fijos o de una precisión absoluta puede ser un error recurrente, principalmente por la dificultad de manejo de cada animal y su estado corporal, la pericia del zoometrista, el error del aparataje de medición, las condiciones de trabajo (normalmente ambientales y con la presencia del ganadero), entre otras (Parés, 2007).

Por consiguiente, la obtención de información zoométrica por un método digital puede ser una solución a estos inconvenientes, ya que esta metodología supone un contacto mínimo con los animales y es de rápida ejecución en terreno. Además, una vez realizadas las fotografías, las mediciones zoométricas digitales se hacen posteriormente con más tranquilidad en laboratorio o gabinete, permitiendo así la revisión de las mismas o la inclusión de nuevas medidas, tantas veces como se requiera (Peña et al., 2006).

3 Materiales y métodos

3.1 Animales y mediciones

Se utilizaron 51 carcasas de corderos hembras y machos de raza Suffolk provenientes de un rebaño ovino ubicado en la comuna de Chillán, Chile. Los corderos se criaron junto a sus madres en pastoreo libre hasta su faena. Todos los procedimientos con animales fueron aprobados por un comité de bioética. El número vertebral torácico (NVT) y lumbar (NVL) se determinó entre las 3 a 5 semanas de edad, con un equipo radiográfico digital directo Sahara Slate PC, Slate cuatro, PCMAX-20HPLUS, regulado para 70 kV y 1,8 mAs. El número toracolumbar (NVTL) se determinó al sumar el conjunto de vértebras, y el número de fórmulas vertebrales toracolumbares (FVTL) por combinación. La faena de los corderos se realizó cuando alcanzaron 38,01 ± 4,38 kg de peso vivo (165,63 ± 16,97 días). Las medidas zoométricas, tradicionales y digitales, en la carcasa y media carcasa se realizaron al día siguiente de la faena, tras 24 horas de refrigeración a 4 °C. Para la zoometría tradicional se utilizó una cinta métrica flexible, bastón zoométrico y una forcípula. Para la zoometría digital, se utilizó una cámara digital marca “Canon”, modelo Power Shot SD1100 IS, de dimensiones 86.8 x 54.8 x 22 mm, con sensor de imagen de 8.0 Megapixeles, dispositivo acoplador de carga (CCD) de 1/2.5 pulgadas, lente de 3x zoom (equivalente a 38-114 mm en formato de 35 mm), con un alcance de enfoque

Normal AF: 30 cm a infinito, Macro 3 cm a 50 cm, Macro Digital 3-10 cm, con Procesador de Imagen DiG!C III, velocidad de obturador de 15-1/1500 segundos, y velocidad de disparo de 1.3 disparos por segundo. Las fotografías obtenidas se recortaron con el programa “Paint Shop Pro 7”, luego se referenciaron con el programa “Erdas Imagine 8.4” y finalmente se escalaron y midieron con el programa “Auto CAD 2007”.

3.2 Procedimientos

Para la comparación de la utilización de medidas zoométricas tradicionales y digitales, se realizaron medidas en la carcasa y media carcasa utilizando los mismos puntos anatómicos.

Para las medidas zoométricas de la carcasa y media carcasa (figura 6), se registró para la primera la longitud externa de la carcasa (L1), ancho de pecho (Wr) y ancho de grupa (G). Para la media carcasa, luego de dividirla en dos medias carcasas a través de un corte sagital de la columna vertebral, se utilizó la mitad derecha donde se registraron las medidas de longitud interna de la carcasa (L) y profundidad de tórax (Th).

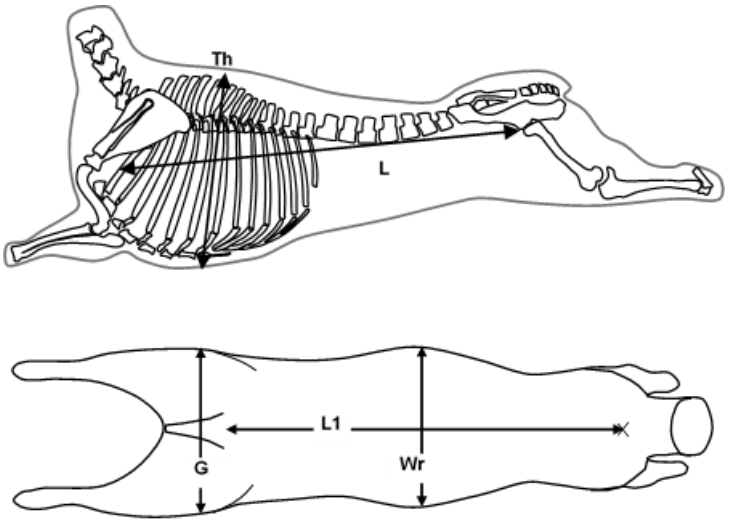

Figura 6. Esquema de mediciones zoométricas en la carcasa y media carcasa ovina para método tradicional y digital. Longitud externa de la carcasa (L1), ancho de pecho (Wr), ancho de grupa (G), longitud interna de la carcasa (L) y profundidad de tórax (Th). (Fuente: elaboración propia)

Para la obtención de estas medidas, tanto la carcasa como la media carcasa se colgaron a través del garrón, delante de un panel vertical. Este panel fue una estructura rígida con marco de madera, y sobre esté se ubicó una lámina de aglomerado blanco. Este panel permitió sostener las carcasas a través de un gancho en su parte superior central, para proceder a la obtención de las medidas zoométricas *post mortem*, tanto de forma tradicional como digital, de tal manera de no alterar su posición durante las mediciones y la

obtención de fotografías, eliminando así posibles errores, y a su vez referenciar las fotografías para la obtención de las medidas zoométricas digitales. Para esto último, el panel en la totalidad de la lámina blanca, contaba con marcas fiduciales en forma de cruces de 2x2 cm, separadas por 19 cm una de otra, para su utilización como panel fotogramétrico. Las marcas fiduciales se hicieron con un plumón permanente de punta fina, de aproximadamente 1 mm de ancho, el cual se utilizó como sistema de coordenadas para la referenciación de las fotografías. En su parte superior izquierda, el panel tenía una regla milimétrica metálica de 10,5 cm de largo y un cuadrado de papel negro oscuro de 10 cm, medido previamente con pie de metro, ambos se utilizaron complementariamente como medida patrón al momento de la referenciación. En la figura 7 se ilustra el panel y la forma en que se realizaron las fotografías.

Para la obtención de las medidas zoométricas en forma tradicional en la carcasa, esta se ubicó delante del panel fotogramétrico, suspendida por los corvejones a través de un gancho metálico. Todas las carcasas se ubicaron de la misma forma, con la zona dorsal hacia el frente y el esternón tocando el panel (figura 8). Las mediciones zoométricas tradicionales y la separación de los corvejones a 14 cm, se dispusieron de acuerdo a lo descrito por Ruiz de Huidobro et al. (2005), agregando el largo de lomo (L1) dentro de las mediciones zoométricas, las cuales se muestran en la figura 8.

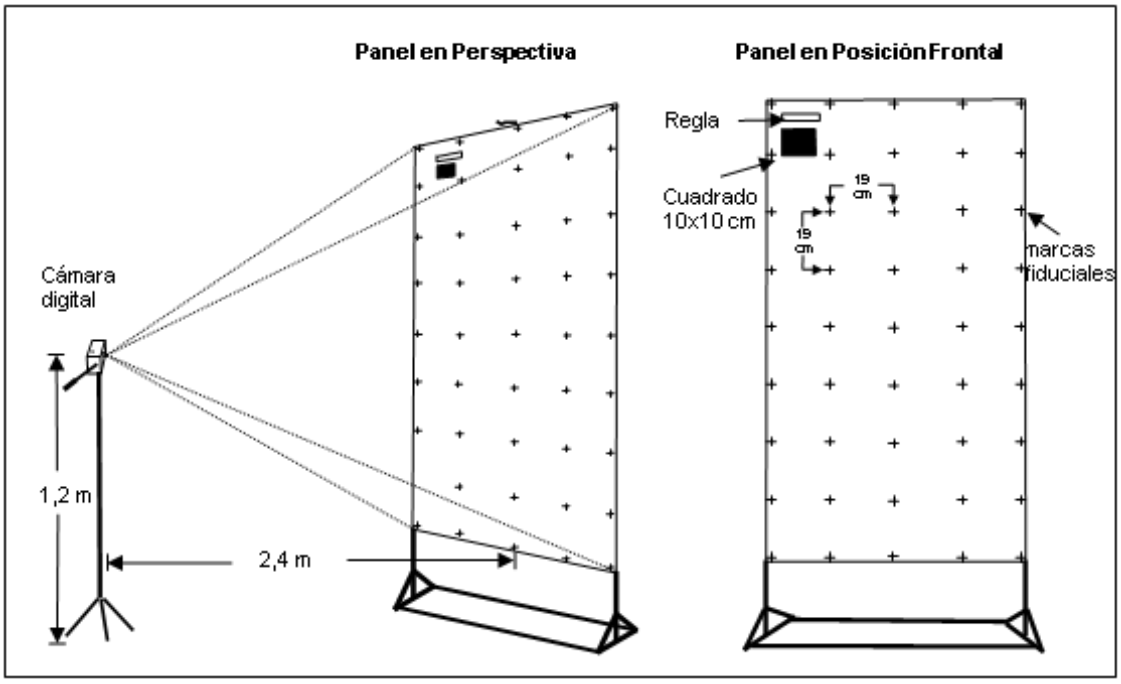

Figura 7. Esquema ilustrado del "Panel Fotogramétrico" con marcas fiduciales para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales (Fuente: elaboración propia)

Las medidas zoométricas en la media carcasa se realizaron suspendiendo estas del corvejón, al igual que la carcasa. Todas las medias carcasas se ubicaron de la misma forma, con la cara interna hacia al frente y la exterior tocando el panel (figura 9). Las medidas zoométricas realizadas fueron las recomendadas por Ruiz de Huidobro et al. (2005).

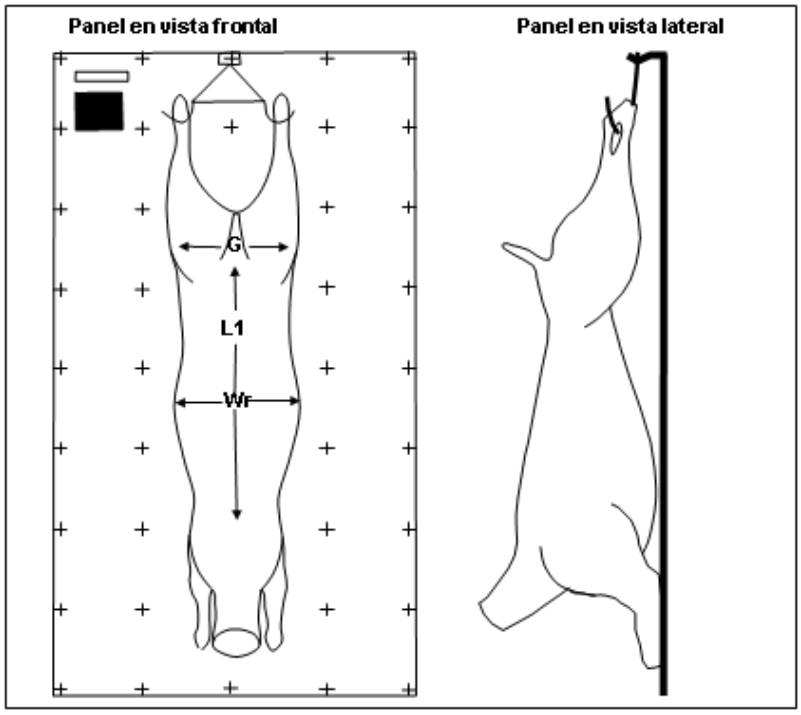

Figura 8. Esquema de ubicación de la carcasa ovina en "Panel Fotogramétrico" para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales. Largo de lomo (L1), ancho de grupa (G) y ancho de tórax (Wr). (Fuente: elaboración propia)

Posterior a la zoometría tradicional, y sin ninguna modificación en la posición de las carcasas y medias carcasas, se procedió a fotografiarlas utilizando la cámara digital. Las fotografías se recortaron con el programa "Paint Shop Pro 7", para obtener sólo la porción de la fotografía que muestre el panel con la carcasa y media carcasa. La referenciación de las fotografías se realizó utilizando las marcas fiduciales del panel y las medidas patrón complementarias, a través del programa "Erdas Imagine 8.4.". Posterior a la

referenciación de las fotografías, con el programa “Auto CAD 2007”, estás se escalaron utilizando las marcas fiduciales para luego obtener las medidas zoométricas con el mismo programa. Estas medidas zoométricas digitales fueron las mismas realizadas en las carcasas y medias carcasas en forma manual (figuras 8 y 9).

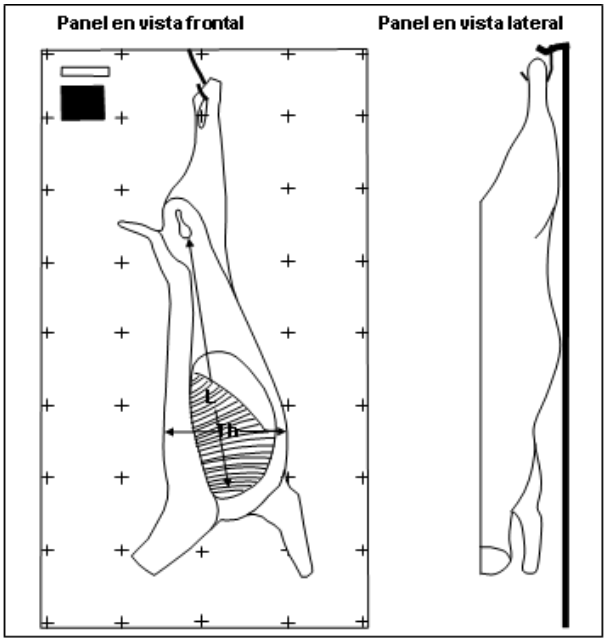

Figura 9. Esquema de ubicación de la media carcasa ovina en “Panel Fotogramétrico” para la obtención de medidas zoométricas tradicionales y digitales. Largo interno de la carcasa (L) y profundidad de tórax (Th). (Fuente: elaboración propia)

3.3 Análisis estadístico

Para la comparación de medias entre ambos métodos se recurrió a la prueba t pareada utilizando el software Infostat (2011), y luego se utilizó la fórmula del error relativo para comparar las mediciones tradicionales con las mediciones digitales para determinar la exactitud de este último, utilizando el método de Pérez-Ruiz et al. (2020), como se muestra a continuación:

Error relativo (%) = (M. Tradicional – M. Digital) * 100 / (M. Tradicional)

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (*r*) entre las medidas registradas tradicionalmente y digitales en la carcasa y media carcasa de los corderos Suffolk para determinar el grado de asociación entre ambos métodos. Las correlaciones lineales de Pearson se realizaron de acuerdo a lo propuesto por Cohen et al. (2013), utilizando su clasificación para medir la fuerza de los coeficientes obtenidos.

Finalmente, se realizó un análisis de regresión para comparar la precisión de los métodos, calculando para ello el coeficiente de determinación (R^2), sus

ecuaciones de ajuste y gráficas. Todos estos análisis se realizaron utilizando el software Infostat (2011).

4 Resultados

4.1 Comparación entre zoometría tradicional y digital 2D en la carcasa

La tabla 7 muestra las medidas obtenidas al realizar zoometría tradicional y digital sobre las carcasas y medias carcasas de corderos Suffolk utilizando los mismos puntos anatómicos, observando que las magnitudes de las medidas digitales fueron mayores a cada medida tradicional, para cada una de las medias analizadas ($P \leq 0,001$).

Las medidas digitales para la carcasa resultaron ser 6,7 % a 10,6 % de mayor magnitud respecto que las tradicionales, correspondiendo esto a 2,40 cm y 4,24 cm, respectivamente. Así como también las medidas digitales para la media carcasa, mostrando una variación menor, que fluctuó de 2,0 % a 4,7 %, representando 1,24 cm a 1,27 cm, respectivamente. Lo anterior presumiblemente ocurriría por efecto del aumento del ángulo con el cual se obtiene la dimensión de la medida zoométrica digital 2D, en referencia al patrón en el panel fotogramétrico, lo que será explicado en la discusión, en el punto 5.1 e ilustrado en la figura 11.

Tabla 7. Comparación entre medidas zoométricas tradicionales y digitales (cm) en carcasa y media carcasa de corderos Suffolk

Medida Zoométrica	Carcasa			Media Carcasa	
	L1	Wr	G	L	Th
Tradicional	63,00±0,35[a]	22,58±0,19[a]	24,14±0,14[a]	62,95±0,33[a]	26,11±0,16[a]
Digital	67,24±0,45[b]	24,98±0,27[b]	26,79±0,25[b]	64,22±0,37[b]	27,35±0,19[b]

L1: longitud externa de la carcasa; Wr: ancho de tórax; G: ancho de grupa, L: longitud interna de la carcasa Th: profundidad de tórax. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con diferentes superíndices en la misma columna, para cada tipo de medida zoométrica, son significativamente diferentes (P ≤ 0,0001).

4.2 Comparación de la precisión del método tradicional y digital 2D en la carcasa

La exactitud y precisión del método digital respecto del tradicional fue analizado determinando el error relativo (%), el coeficiente de correlación y la regresión lineal entre ambos. En la tabla 8 se puede observar que el error relativo fluctuó entre -2 % y -10 %, donde los valores más altos se obtuvieron en la carcasa, -6,58 % a -10,63 %, respecto de la media carcasa, -2,02 % a -4,75 %.

Tabla 8. Error relativo entre las medidas zoométricas tradicionales y digitales (cm) en la carcasa ovina

Medida Zoométrica	M. Z. Tradicional Media ± EE	M. Z. Digital Media ± EE	Error Relativo Media (%)
Carcasa			
L1	63,00 ± 0,35[a]	67,24 ± 0,45[b]	- 6,73
Wr	22,58 ± 0,19[a]	24,98 ± 0,27[b]	-10,63
G	24,14 ± 0,14[a]	26,79 ± 0,25[b]	- 6,58
Media Carcasa			
L	62,95 ± 0,33[a]	64,22 ± 0,37[b]	- 2,02
Th	26,11 ± 0,16[a]	27,35 ± 0,19[b]	- 4,75

L1: longitud externa de la carcasa; Wr: ancho de tórax; G: ancho de grupa, L: longitud interna de la carcasa Th: profundidad de tórax. Los valores de las medidas se presentan con sus medias ± error estándar.

Las correlaciones obtenidas al comparar la precisión de ambos métodos se observan en la tabla 9. El grado de asociación entre ambos métodos, evaluado a través del criterio de clasificación empleado por Cohen et al. (2013) para medir la fuerza de una correlación utilizando rangos entre los coeficientes, muestra que, para las medidas tradicionales versus digitales realizadas en la carcasa, el grado de asociación entre ambas fluctuó de 0,54 a 0,78 resultando de moderada a alta, y para las medidas en la media carcasa de 0,83 a 0,96 por lo que la asociación entre ambas es muy alta.

Tabla 9. Correlación entre las medidas zoométricas tradicionales y digitales

	M. Z. Tradicionales				
	L1	Wr	G	L	Th
M.Z. Digitales					
L1 d	0,78***				
Wr d		0,54***			
G d			0,54***		
L d				0,96***	
Th d					0,83***

M. Z.: Medidas Zoométricas; L1: longitud externa de la carcasa; Wr: ancho de tórax; G: ancho de grupa, L: longitud interna de la carcasa Th: profundidad de tórax. ****P* < 0,001

Por su parte, el análisis de regresión lineal muestra que los resultados entre las mediciones tradicionales y digitales reveló una fuerte correlación para las medidas realizadas en la carcasa (figura 10A) (r=0,9959, P < 0,001), donde su coeficiente de determinación R^2 y su error cuadrático medio de predicción ECMP fueron 0,9919 y 3,2523; respectivamente. Del mismo modo, para las medidas realizadas en la media carcasa (figura 10B) (r=0,9991, P < 0,001), su coeficiente de determinación R^2 y ECMP fueron 0,9983 y 0,6204, respectivamente.

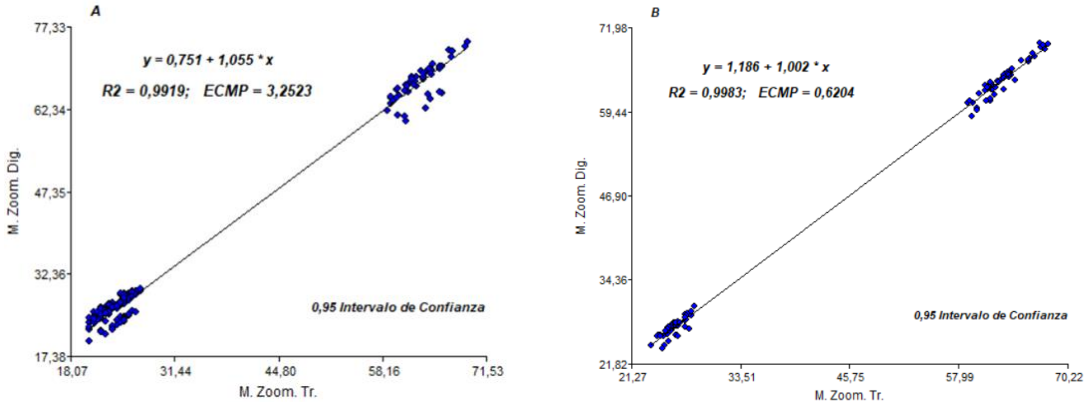

Figura 10. Análisis de regresión comparando mediciones tradicionales y digitales. A, mediciones en la carcasa; B, mediciones en la media carcasa.

5 Discusión

5.1 Comparación entre zoometría tradicional y digital en la carcasa

Las medidas zoométricas digitales fueron realizadas utilizando un panel fotogramétrico, el cual contenía en su superficie marcas fiduciales, una regla metálica graduada y un papel cuadrado de color negro de medida conocida, los que se requirieron y utilizaron como medida patrón al momento de referenciar las imágenes y escalarlas para su posterior obtención de medidas zoométricas.

Con esto, cada carcasa fue suspendida de la parte superior del panel, con la región dorsal hacia el frente y su esternón tocando este en la superficie graduada (figura 8). De esta manera, las fotografías quedaron referenciadas a la superficie graduada del panel fotogramétrico, por lo que se estima que la variación de las magnitudes obtenidas entre las medidas zoométricas tradicionales y digitales se producirían por la distorsión generada por las diferentes distancias entre la superficie graduada de referencia del panel fotogramétrico y las carcasas que se encuentran adelantadas o sobresalientes de esa superficie. Weller et al. (2006) señalan que la proyección de una estructura con volumen sobre un plano 2D da como resultado un error geométrico, y que la magnitud de ese error dependería del ángulo (α) de estos segmentos con el plano medio, pudiendo ajustarse con una fórmula trigonométrica, para su caso con cos (α). De esta forma, los puntos anatómicos que generan las líneas de medición para cada una de las medidas zoométricas de las carcasas que sobresalen del panel, se encontrarían más cercanas y a distancias diferentes del punto focal de la cámara respecto de la superficie graduada de referencia del panel, resultando en una distorsión óptica en la medición, tal como se puede explicar para este caso utilizando la definición trigonométrica de la Tangente (figura 11).

En la figura 11 se ilustra el efecto provocado por el acercamiento de la carcasa, al sobresalir del panel fotogramétrico, generando un aumento en la magnitud de las medidas realizadas sobre los puntos más cercanos de la

carcasa respecto a la cámara, que a su vez se encuentran alejados de la superficie del panel de referencia donde se realiza la calibración.

Este efecto puede ser explicado con el ejemplo esquematizado, donde la medida “h1” sobre el panel correspondería al patrón de referencia graduado, pero cuando la misma u otras medidas realizadas en la carcasa se alejan del panel, como “h2”, entonces su magnitud cambia al digitalizarla en 2D, aumentando. Esto sucedería ya que la distancia “d1” desde el patrón de referencia utilizado en la superficie del panel fotogramétrico hacia la cámara, variaría cuando la siguiente medición zoométrica “d2” estuviera dada en la imagen por la medición entre dos puntos de una zona anatómica de la carcasa que se encontrara adelantada de la superficie del panel. Con lo anterior, también el ángulo α1 aumenta a α2 en la imagen, al no variar la posición de la cámara, por lo que se produciría un aumento en la magnitud de las medidas, como se observa en el ejemplo de cálculo adherido al esquema.

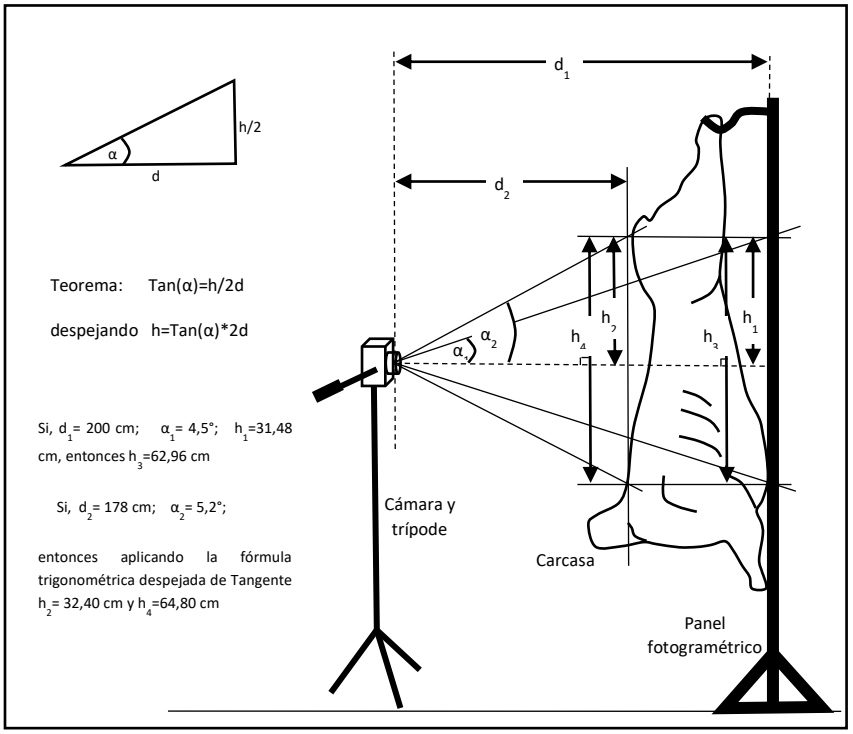

Figura 11. Esquema representativo del efecto de distorsión óptica sobre las mediciones digitales 2D en la carcasa ovina (Fuente: elaboración propia)

Esto explicaría la mayoría de los aumentos encontrados en las medidas zoométricas digitales realizadas en este estudio, al igual que lo reportado en otro estudio de mediciones 2D (Gherissi et al., 2022) donde se utilizó una sola cámara para registrar las mediciones digitales. Sin embargo, y debido a que en el presente estudio las diferentes zonas anatómicas medidas se encontraban a

diferentes distancias del panel, las magnitudes de aumento también fueron variables. Del mismo modo, al utilizar el borde de la imagen para la medición digital, algunas medidas proyectan su medida en el fondo del panel o una porción del pixel, y otras no, lo que también contribuiría en magnitudes diferentes, por lo que también se sumaría el error del operador en alguna de ellas. En tal sentido, comparaciones realizadas en mediciones tradicionales y digitales en caballos de equitación (Matsuura et al., 2021) mostraron desigualdades en las magnitudes de las mediciones realizadas con ambos métodos, reportando el 70 % de ellas con diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) luego de comparar sus medias, lo que mostraría desigualdad para ellas luego del análisis, señalando que esto podría deberse al pelaje del animal, sus movimientos durante la medición y al error humano, sin considerar la distorsión provocada por la distancia y el ángulo. En mediciones zoométricas realizadas en dromedarios (Gherissi et al., 2022), comparando un método digital respecto del tradicional, 11 de sus 21 medidas mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), donde además 15 de las 21 fueron sobre estimadas por el método digital, señalando que esto se debería al proceso de análisis de la imagen. No obstante lo anterior, ambos estudios basaron su precisión en los resultados favorables obtenidos a través del análisis de correlación y regresión, señalando que los métodos digitales serían fiables y utilizables para obtener medidas zoométricas digitales y discernir con ellas.

5.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital en la carcasa

El error relativo se obtiene de comparar las magnitudes entre ambos métodos, expresadas porcentualmente, por lo que reflejarían la exactitud del método digital, ya que evalúa la capacidad de obtener digitalmente una medida corporal cercana a su valor real respecto de una medida obtenida tradicionalmente. Estudios realizados en caballos Lipizzanos (Pallottino et al., 2015), Andaluces (Pérez-Ruiz et al., 2020) y de equitación (Matssura et al., 2021) comparando métodos digitales respecto de tradicionales, reportaron errores relativos que fluctuaron de 0,54 % a 2,09 %; -2,56 % a 50,88 % y -1,37 % a 6,25 %, respectivamente. Estos valores muestran diferentes grados de errores reflejados en las mediciones, sin embargo, entre el 50 % a 80 % de las medidas reportadas por estos autores, se encuentran bajo el 3 %, en comparación con el presente estudio donde se obtuvieron errores que fluctuaron entre -2,02 % a -10,63 %, con un 80 % de sus medidas digitales bajo 7 % de error relativo y, un 40 % bajo 5 % de error relativo. En tal sentido, lo amplio de algunos rangos es reportado por estos autores en diferentes medidas zoométricas, tanto de ancho, alto o largo, debido a que algunas de ellas se asocian a pequeños movimientos que realiza el animal durante la obtención de la imagen digital, afectándola y reflejándose en un valor mayor de error, aunque sus discusiones no consideran la distorsión por aumento angular. Para este

estudio no fue el caso, ya que se trataban de carcasas en suspensión y afirmadas al panel fotogramétrico, sin movimientos pendulares, por lo que la variación registrada solo se debería a la distorsión óptica por aumento angular ya ilustrada en la figura 11. Un estudio que realizó mediciones indirectas (Weller et al., 2006) utilizando fotografías para obtener medidas corporales en caballos, reportó la existencia de errores en las magnitudes de las medidas por efectos geométricos cuando un objeto con volumen, o tridimensional, como el cuerpo de un animal, se reduce a una imagen 2D, reportando hasta 10% de error y perdiendo también precisión. Así, los menores valores de error relativo en la media carcasa respecto de la carcasa, se debería entonces a que la media carcasa se encontraría más cercana al patrón de medida en la superficie del panel, principalmente al situarse en una posición diferente, presentándose más plana, como se observa en la figura 9 respecto de la figura 8, lo que disminuiría la diferencia angular y por ende el error relativo en la magnitud de la medida.

La precisión del método digital fue medida a través del coeficiente de correlación "*r*" de Pearson. Con este parámetro se observa la dispersión de las medidas realizadas, y la fuerza entre ambas, observando el tramo en el que se encuentra su valor (Cohen et al., 2013). Para este estudio, la precisión resultó de moderada a muy alta (0,54 a 0,96), lo que manifiesta un método muy confiable respecto a su precisión, principalmente para medidas de longitud (0,78 y 0,96) y profundidad (0,83), y moderadamente confiable para anchos (0,54). Estudios realizados en ovejas de raza Alpagota (Menesatti et al., 2014),

utilizando medición digital estéreo (con 2 cámaras) respecto de la tradicional, reportan coeficientes de correlación que varían desde 0,76 para el largo del cuerpo, 0,80 para profundidad de pecho y, 0,81 para altura a la cruz, señalando que el método es preciso y que las variaciones se deberían a la presencia de lana, movimientos del animal y la calibración de los equipos. En cabras, correlacionando las medidas tradicionales con las predichas mediante análisis de imágenes, los coeficientes de correlación oscilaron entre 0,91 y 0,99 según el rasgo medido (Negretti et al., 2004). En tanto que para vacas Holstein (Tasdemir et al., 2011) utilizando solo una cámara para realizar mediciones digitales respecto a las mediciones tradicionales realizadas de forma manual, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,60 a 0,70 para alturas a la cruz y grupa, respectivamente; 0,63 para ancho de grupa y, 0,83 para largo del cuerpo, señalando también que es un método muy confiable, pero coincidiendo que los mayores valores de los coeficientes corresponderían a las mediciones de longitud. En general, todas las investigaciones que evaluaron correlaciones entre las medidas tradicionales y digitales consideraron que se encuentran en un rango aceptable de precisión.

Adicionalmente, como muestra la figura 10, las pendientes de las líneas de regresión tienen un valor muy cercano a la unidad, lo que indica que las medidas digitales conservaron la proporcionalidad en todas las medidas zoométricas evaluadas, tanto en las de menor magnitud, como los anchos, y las de mayores dimensiones, como la longitud de las carcasas. De este resultado

se puede inferir la ausencia de errores de tipo proporcional, por lo que las medidas digitales, no siendo exactas en magnitud respecto a las tradicionales realizadas manualmente, si manifiestan similar proporcionalidad. Los valores obtenidos muestran coeficientes de determinación similares a los registrados por Gaudioso et al. (2014) para mediciones fotogramétricas en vacas respecto a tradicionales, reportando R^2=0,9991. En caballos españoles, el R^2 estimado, al comparar las medidas zoométricas obtenidas mediante el procedimiento convencional (tradicional) y un sistema digital (LiDAR), fue 0,97 (Pérez-Ruiz et al., 2020), y en caballos de equitación chinos (Matsuura et al., 2021), con similar tratamiento digital, su R^2 fue 0,9994. Por su parte, en comparación de mediciones digitales y tradicionales para determinar la zoometría de camellos (Gherissi et al., 2022) el R^2 obtenido fue 0,993. Todos estos autores indican que el método de análisis digital para la obtención de medidas zoométricas de los diferentes animales estudiados es muy precisa debido a estos altos coeficientes de determinación obtenidos, los que son similares a los de la presente investigación (R^2=0,9919 para carcasa y R^2=0,9983 para la media carcasa). De esta manera, el análisis de regresión lineal (figura 10) muestra que el ajuste del modelo permite establecer que el 99 % de las medidas zoométricas digitales obtenidas son similares a las registradas con el método tradicional.

No obstante, el contraste de medias realizado a través de la prueba t pareada señala que las mediciones digitales y tradicionales son distintas en magnitud ($P \leq 0,0001$), la correlación de estas medidas y sus regresiones

indican que el método digital es suficientemente confiable. Sin embargo, si bien el método es preciso, su exactitud, señalada como normal, pudiera ser aún insuficiente, sobre todo si se quiere conocer con fidelidad y sin grandes distorsiones la magnitud de las medidas. Con tales consideraciones, este método digital permitiría ayudar a detectar aquellas carcasas de menores longitudes respecto de otras con mayores dimensiones provenientes de corderos multivertebrados sin mayores problemas. Pero, si se requiere mayor exactitud, podría ser preferible un sistema de medición 3D, ya que disminuiría el error relativo y mejoraría la precisión, respecto de uno 2D, como lo reportado en estudiado realizados en dromedarios (Çağli y Yilmaz, 2021; Gherissi et al., 2022)

6 Conclusiones

Las medidas zométricas tradicional y digital en la carcasa y media carcasa son distintas en magnitud, sin embargo, el método digital 2D muestra suficiente exactitud y alta precisión para mantener la proporcionalidad zoométrica de las dimensiones, permitiendo obtener e identificar las medidas de carcasas con número vertebral ancestral y multivertebral. Para mejorar la exactitud en la magnitud de las medidas es necesario explorar un método 3D.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE UN METODO DIGITAL 3D PARA OBTENCIÓN DE MEDIDAS ZOOMÉTRICAS USANDO UN MODELO ANIMAL

En este capítulo se presenta el desarrollo de un método digital 3D para obtener mediciones zoométricas a través de fotorestitución con la implementación de un sistema multicámara de disparo simultáneo, recurriendo a cámaras compactas de bajo costo, utilizando dos modelos animales representados por maquetas de un cerdo y un bovino. Se compararán las mediciones obtenidas a través del método tradicional respecto del digital 3D a través de su exactitud y precisión, con la finalidad de dilucidar si este método es posible de implementar en una posterior etapa sobre animales vivos que resultan de mayor talla cuando son multivertebrados. Se espera que, con el uso de un sistema digital 3D multicámara que pueda ser reproducido a nivel de terreno, se pueda mejorar la objetividad de las mediciones obtenidas con esta tecnología, ya que la implementación de sistemas digitales son hoy en día una herramienta para la ganadería, que permitiría ayudar a mejorar la detección de animales multivertebrados de mayor productividad.

1 Resumen

El objetivo del presente capítulo fue desarrollar y evaluar un método digital 3D para obtener mediciones zoométricas por fotorestitución y compararlas con las mediciones tradicionales utilizando dos modelos animales. Se utilizaron dos maquetas, una cerda y una vaca, como modelo animal a escala. Se marcaron con un lápiz y alfileres los puntos anatómicos que serían medidos en el cuerpo de cada maqueta a través del método tradicional y digital. Se tomaron 5 medidas zoométricas, una de longitud, 2 de altura y 2 de anchos. Las medidas se repitieron 6 veces, registrándolas durante 2 días, en 3 momentos diferentes cada día, por la misma persona. Estadísticamente se compararon ambos métodos, tradicional y digital, para determinar su exactitud y precisión. No se observaron diferencias significativas al comparar ambos sistemas de medición ($P > 0,05$), sus magnitudes no superaron los 1,9 mm, su error relativo fue inferior a 0,7 % y su coeficiente de determinación fue robusto, presentando un $R^2=0,99$. Las magnitudes de las mediciones 3D obtenidas, comparadas con las tradicionales, presentan una exactitud y precisión alta, lo que hace fiable el método para obtener mediciones zoométricas.

2 Introducción

Realizar mediciones del cuerpo de un animal no es fácil de lograr, pues se requiere que se sitúe en un lugar donde, en lo posible, no realice movimiento y permita su sujeción, lo que puede ser estresante para el ganado y requiere de mano de obra extra y/o especializada. Por lo tanto, existe la necesidad de automatizar y facilitar el proceso de medición del cuerpo del animal minimizando los factores de estrés (Huang et al., 2018).

Tradicionalmente, las medidas corporales de los animales, o zoometrías, se han realizado de forma manual utilizando diversos instrumentos, como la vara de medir de Aparicio, el compás calibrador, la cinta métrica, entre otros que permitan realizar estas mediciones. Aunque el uso de estos instrumentos clásicos es sencillo, el contacto forzado con el animal no está exento de dificultades, movimientos, riesgos e inconvenientes (Sañudo, 2009).

Durante la última década, ha aumentado el uso de técnicas de análisis de imágenes como alternativa a las mediciones obtenidas en contacto directo con un animal. Estas técnicas permiten mediciones más precisas en un corto tiempo de respuesta, y posibilitan el almacenamiento de los datos (imágenes) para permitir su posterior consulta y revisión (Negretti y Bianconi, 2004; Wu et al., 2004).

El uso de metodologías para medir la zoometría con aplicación de análisis de imágenes puede realizarse con técnicas bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). Con las técnicas 2D, se utiliza una sola imagen. Con las técnicas 3D, se utilizan varias imágenes simultáneamente para recrear información 3D. Con esto es posible realizar estudios detallados de la superficie y la forma de diferentes partes del animal o todo su cuerpo (Chiari et al., 2008). Normalmente, en variados ámbitos, inicialmente se utilizan modelos como instrumentos conceptuales para obtener el conocimiento. Esto permite comprender, explicar y predecir los acontecimientos, hechos, fenómenos o situaciones que suceden, contribuyendo a entender los factores que la pueden afectar en tales condiciones, permitiendo con esto realizar ajustes y prevenir errores antes de evaluar en un escenario real (Villaplana., 2013)

Este capítulo tiene como objetivo el desarrollar y evaluar un método digital 3D para obtener mediciones zoométricas por fotorestitución y compararlas con las mediciones tradicionales utilizando dos modelos animales.

3 Materiales y métodos

3.1 Maquetas y mediciones

Las medidas serán realizadas sobre dos maquetas de animales correspondientes a una cerda y vaca (figura 12), simulando dos estructuras

corporales diferentes, una menos angulosa (cerda) que la otra (vaca), a las cuales se les realizaron marcas con un lápiz de tinta negra en diferentes puntos anatómicos previamente definidos, colocando además, alfileres de colores sobre ellos para facilitar su posterior mediciones de largo, ancho y alto. Las medidas zoométricas utilizadas fueron Largo de lomo (LL), Altura a la cruz (AlCr), Altura a la grupa (AlGr), Ancho de pecho (AnPe) y Ancho de grupa (AnGr).

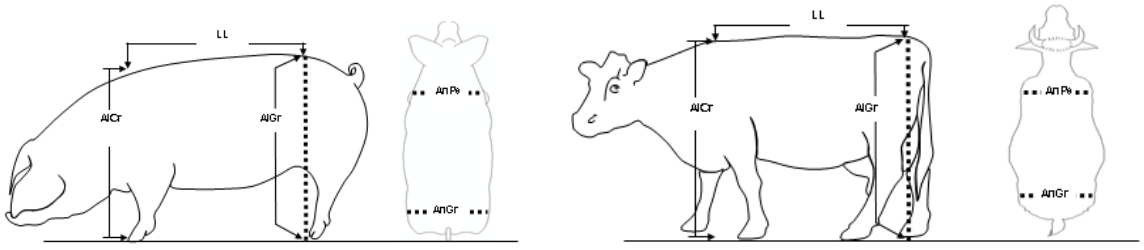

Figura 12. Esquemas de medidas zoométricas realizadas en maquetas de cerda y vaca (Fuente: elaboración propia)

3.2 Procedimientos

Para la zoometría tradicional se utilizó una forcípula y bastón zoométrico. Para la zoometría digital, se utilizaron 8 cámaras digitales compactas marca Genius, modelo G-Shot 507 de 5.0 Mega pixeles, lente de enfoque fijo (F/3.0, f= 7.45 mm), en modo normal con la máxima resolución. Las cámaras fueron conectadas en serie, unidas por un cable conectado al mecanismo de disparo para realizar un disparo simultaneo a través de un circuito cerrado, y otro cable en paralelo conectado al mecanismo de energización, también en circuito cerrado, a una fuente de poder para mantener estable el encendido de las cámaras. Posteriormente, el disparo simultáneo se realizó uniendo los cables a un botón disparador, capturando así las imágenes. A continuación (figura 13) las cámaras fueron fijadas a un soporte articulado de altura y abertura ajustable que permitió disponer a 2 de ellas en forma lineal en la parte superior con una vista craneal y dorsal de la maqueta animal, otra en la parte posterior con una vista caudal, y otra en la parte anterior con una vista craneal. Las restantes 4 se ubicaron en disposición lineal en una perspectiva asimétrica, colocando 2 en el costado izquierdo y 2 en el costado derecho del soporte, apuntando a ambos flancos de la maqueta. La distancia entre cámaras fue la necesaria para obtener un traslape aproximado de no menos de 60 % entre fotografías, cubriendo los ángulos anteriores, posteriores, dorsales y costales.

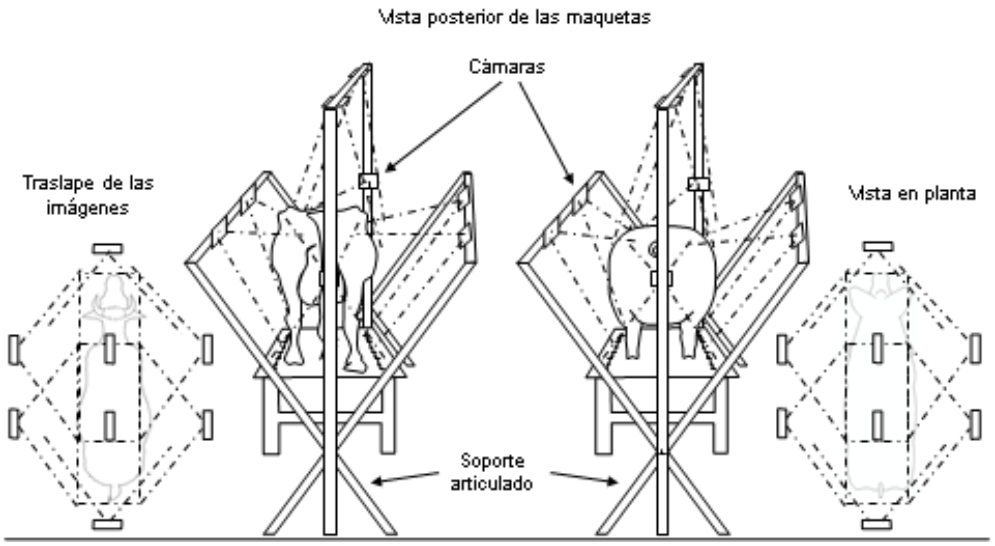

Figura 13. Esquema de la disposición de las cámaras y maquetas animal para obtención las imágenes digitales (Fuente: elaboración propia)

Obtenidas las imágenes, estas fueron descargadas en un computador y procesadas en el programa Agisoft Photoscan para su fotorestitución. Agisoft PhotoScan es un software de escritorio para procesar imágenes digitales mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, generando una reconstrucción en 3D de las imágenes a través de nubes de puntos a partir de las múltiples imágenes obtenidas.

Las maquetas fueron sobrepuestas en un panel fotogramétrico construido de madera recubierto de una lámina de aglomerado blanco con marcas

fiduciales en forma de cruces de 2 por 2 cm de largo, las que fueron utilizadas como sistema de coordenadas para la referenciación de las fotografías. Además, como sistema complementario de referencia, se utilizaron puntos dianas dispuestos a distancias conocidas, los que fueron obtenidos para tales efectos del programa Agisoft Photoscan (los que reconoce automáticamente el programa y se le asignan coordenadas) ubicándolos en el piso, materializado este por el panel fotogramétrico (figura 14).

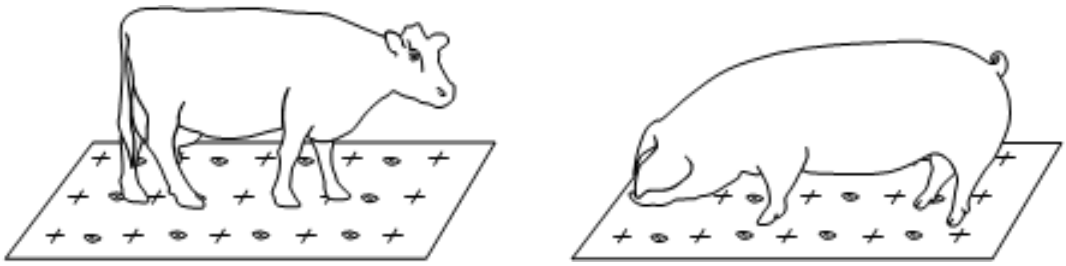

Figura 14. Esquema de maquetas animal sobre panel fotogramétrico con marcas fiduciales y dianas (Fuente: elaboración propia)

Las medidas zoométricas tradicionales o manuales y las digitales se repitieron seis veces en cada maqueta animal, en tres momentos diferentes del

mismo día por dos días, por la misma persona. Las mediciones tradicionales fueron registradas con los instrumentos, y las medidas digitales obtenidas en el software luego de realizada la fotorestitución.

Luego de obtenidas las fotografías de cada maqueta animal, estas fueron importadas desde cada tarjeta de memoria, de cada cámara, al computador. Seguidamente, estas imágenes fueron referenciadas cargando las coordenadas conocidas de las dianas en el panel fotogramétrico, luego orientadas y finalmente se obtiene una nube densa de puntos en la que se obtendrá el modelo digital 3D de cada maqueta con los detalles de su superficie, donde se podrán visualizar las marcas y alfileres utilizados para señalar los puntos anatómicos de medición. En este momento la imagen tiene un tamaño de pixel con relación a las medidas conocidas del panel fotogramétrico, por lo cual se utiliza la herramienta de medición del software para obtener las medidas desde cada punto anatómico marcado.

3.3 Análisis estadístico

Para la comparación de medias entre ambos métodos se recurrió a la prueba t pareada, y luego se utilizó la fórmula del error relativo para evaluar la exactitud de las mediciones tradicionales respecto de las mediciones digitales,

utilizando el método de Pérez-Ruiz et al. (2020) para estos casos, como se muestra a continuación:

Error relativo (%) = (M. Tradicional – M. Digital) *100 / (M. Tradicional)

Para comparar la precisión de los métodos, se realizó un análisis de regresión calculando para ello el coeficiente de determinación (R^2), sus ecuaciones de ajuste y gráficas de dispersión. Los análisis se realizaron utilizando el software Infostat (2011).

4 Resultados

4.1 Comparación entre las medidas tradicionales y digitales 3D en maqueta animal

Se utilizaron dos maquetas para realizar las mismas medidas zoométricas. Al ser una de ellas una vaca y la otra una cerda, sus estructuras corporales y superficies eran diferentes, por lo que simulaban tal efecto estructural con fidelidad.

Tabla 10. Comparación entre medidas zoométricas (cm) tradicionales y digitales 3D y error relativo en diferente maqueta animal

Medidas Zoométricas	Maqueta Cerda		Error Relativo Media (%)	Maqueta Vaca		Error Relativo Media (%)
	Tradicional	Digital		Tradicional	Digital	
LL	43,28±0,10[a]	43,09±0,01[a]	0,46	44,15±0,06[a]	44,06±0,01[a]	0,20
AlCr	30,33±0,05[a]	30,24±0,02[a]	0,31	44,81±0,05[a]	44,91±0,01[a]	-0,20
AlGr	30,68±0,04[a]	30,63±0,03[a]	0,17	46,12±0,01[a]	46,01±0,01[a]	0,34
AnPe	19,72±0,05[a]	19,76±0,02[a]	-0,19	21,38±0,03[a]	21,46±0,01[a]	-0,34
AnGr	18,45±0,06[a]	18,58±0,02[a]	-0,68	22,18±0,04[a]	22,26±0,04[a]	-0,35

LL: longitud del lomo; AlCr: altura a la cruz; AlGr: altura a la grupa; AnPe: ancho de pecho; AnGr: ancho de grupa. Los valores fenotípicos se presentan con sus medias ± error estándar. Valores con el mismo superíndice en la misma fila, para cada maqueta animal, no son significativamente diferentes (P > 0,05).

En la tabla 11 se observa que para cada una de las medidas zoométricas registradas con instrumentos tradicionales y las obtenidas digitalmente luego de fotorestituir cada maqueta, sus magnitudes fueron muy cercanas entre sí, y se determinó que las diferencias entre ellas no eran estadísticamente significativas (P > 0,05). En las medidas realizadas en la maqueta de cerda; las diferencias entre ambos métodos correspondieron a magnitudes que fluctuaron entre 0,4 y 1,9 mm, y en la maqueta de vaca la fluctuación se observó entre 0,1 y 1,1 mm. Solo 2 de las 5 medidas (AnPe y AnGr) fueron sobrestimadas en cerda por el

método digital, y solo 3 en vaca (AlCr, AnPe y AnGr). Sin embargo, únicamente LL en cerda registró el valor de diferencia más alto de ambas maquetas, correspondiendo a 1,9 mm, las restantes medidas digitales, respecto de las de referencia realizadas en forma tradicional, se encontraron bajo esa magnitud, tanto para las subestimaciones como para las sobrestimaciones.

4.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D en maqueta animal

La exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D, respectivamente, fue analizado determinando el error relativo (%) y la regresión lineal entre ambos. En la tabla 11 es posible apreciar el error relativo, donde los valores negativos reflejan el que las medidas digitales fueron mayores a las medidas tradicionales, por lo que sus magnitudes, respecto al valor del método tradicional de referencia, pueden ser observadas como valor absoluto. De este modo, el error relativo obtenido en la maqueta de cerda fue inferior a 0,7 %, y solo dos medidas fueron sobrestimadas, AnPe con 0,19 % y AnGr con 0,68 %. Las restantes medidas (LL, AlCr y AlGr) fueron subestimadas en un rango de 0,17 % a 0,46 %. Por su parte, en la maqueta de vaca el error relativo fue menor a 0,35 %, donde tres medidas fueron sobrestimadas, AlCr con 0,20 %, AnPe 0,34 % y AnGr 0,35 %, las restantes medidas (LL y AlGr) se observan

subestimadas con 0,20 % y 0,34 %, respectivamemte. No obstante lo anterior, el error relativo para el total de las medida, es inferior a 2 mm.

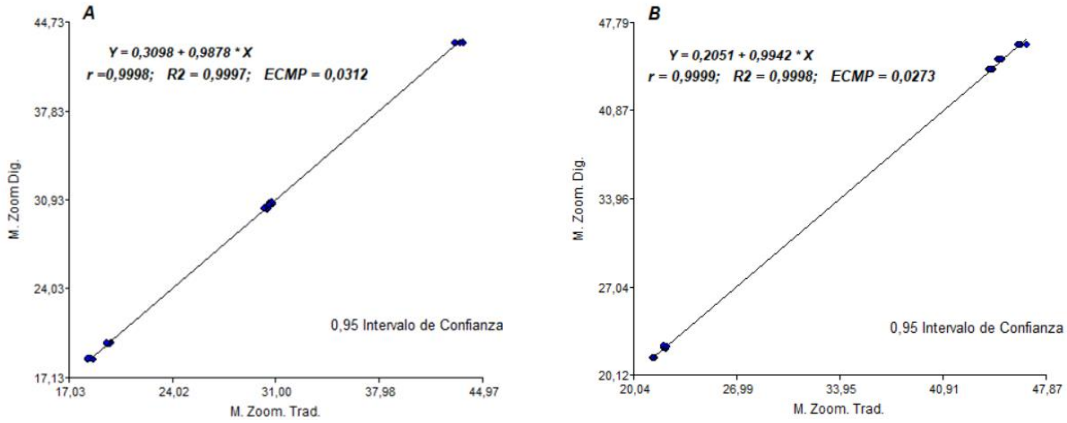

Figura 15. Análisis de regresión comparando mediciones tradicionales y digitales. **A**, mediciones en maqueta de cerda; **B**, mediciones en maqueta de vaca.

El análisis de regresión lineal muestra las gráficas de dispersión y sus ecuaciones de ajuste (figuras 15 A y B), donde los resultados entre las mediciones tradicionales y digitales reveló para las medidas en la maqueta de cerda coeficientes altos de correlación *r* = 0,9998 y coeficiente de determinación R^2 = 0,9997 con un error cuadrático medio de predicción bajo (ECMP = 0,0312). Así también en la maqueta de vaca se encontró un coeficiente de correlación *r*

= 0,9999; coeficiente de determinación R^2 = 0,9998 y error cuadrático medio de predicción bajo (ECMP = 0,0273).

5 Discusión

5.1 Comparación entre medidas tradicionales de referencia y las digitales 3D

Los valores de las mediciones para ambos métodos, tanto de referencia en forma tradicional como el realizado por fotorestitución 3D en las maquetas de cerda y vaca, fueron muy similares (P > 0,05), con variaciones milimétricas que no superaron 1,9 mm. En otros estudios, mediciones realizadas en dromedarios (Çağli y Yilmaz, 2021), comparando un método manual (tradicional) y otro 3D, se reportaron diferencias estadísticamente significativas en 2 de las 8 medidas zoométricas realizadas (P > 0,05), aunque todas registraron variaciones en sus magnitudes, las que variaron desde 0,8 mm a 56,7 mm. En vacas lecheras, utilizando sistemas digitales 3D de análisis de imágenes, también se reportaron variaciones al comparar las mediciones realizadas por métodos tradicionales, sin embargo, estas no superaron los 10 mm (Gaudioso et al., 2014), coincidiendo con otro estudio en vacas Holstein (Tasdemir et al., 2011) donde señalaron que la coincidencia entre los valores

estimados a través de imágenes y mediciones manuales fueron muy cercanas y dentro de un rango aceptable de precisión, superior al 90%. En caballos Matsuura et al. (2021) reportaron existir suficientes diferencias ($P < 0,05$) para 3 de 10 medidas digitales 3D respecto de las manuales, donde las variaciones en magnitud muestran que fluctuaron desde 0,0 mm a 17 mm. Para todos estos estudios, se señala que la principal dificultad corresponde al movimiento de los animales durante el proceso de captura fotográfica, lo que no sucedió durante el presente estudio debido al uso de maquetas, resultando en una menor variación en las magnitudes obtenidas.

5.2 Comparación de la exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D en maqueta animal

La exactitud y precisión del método tradicional y digital 3D, respectivamente, fue analizado determinando el error relativo (%) y la regresión lineal entre ambos. La exactitud a través del error relativo, permite evaluar si la diferencia entre ambas medidas es lo suficientemente pequeña para establecer que el método propuesto, digital 3D, entrega medidas cercanas o iguales al tradicional utilizado como referencia. Mientras menor sea el error relativo, más se acercan ambos sistemas en sus medidas. De este modo, es posible observar que el error relativo obtenido en ambas maquetas fue inferior a 0,7 %

para cada una de sus medidas zoométricas, traduciéndose en medidas que fluctuaron entre 0,1 mm y 1,9 mm. Lo anterior muestra una alta exactitud del método digital 3D, ya que las magnitudes de sus medidas resultan ser subcentimétricas, al variar en escasos milímetros, obteniéndose gran confiabilidad con ello. En mediciones para obtener el tamaño corporal de ovejas, se utilizaron dos cámaras web de bajo costo instaladas en forma dual, las que reportaron un error relativo medio del 5% (Menesatti et al., 2014). Al utilizar una técnica de teledetección óptica con un sensor laser (LiDAR) para obtener las medidas zoométricas en caballos españoles, el error relativo medio reportado fue de 10,83 %, fluctuando entre 0,0 % y 78,57 % (Pérez-Ruiz et al., 2020). Con un método laser similar al anterior, en vacas, el error reportado fue de 2 %, lo que significó una variación en las mediciones de alrededor de 2 mm, resaltando ser aceptable (Huang et al., 2018). En cambio, en caballos de equitación, utilizando un dispositivo iPod de captura de imágenes 3D, para obtener las medidas corporales en forma digital, el error relativo de tal sistema fluctuó entre 0,0 % a 6,25 % (Matsuura et al., 2021). En todos los anteriores estudios, los autores señalan que el método digital 3D es confiable y sus medición muy cercanas y comparables a las obtenidas por los instrumentos de medición tradicionales.

El análisis de regresión lineal muestra la comparación entre las medidas tradicionales y digitales 3D (figura 15), obteniendo altas correlaciones (*r*) en las medidas de ambas maquetas, y altos coeficientes de determinación R^2, lo que

muestra una alta precisión del sistema digital 3D, ya que el modelo de regresión se ajusta a los datos tradicionales, por tanto es un sistema muy fiable. Complementariamente, los errores cuadráticos medios de predicción (ECMP) resultaron bajos, lo que muestra una diferencia mínima entre los valores predichos (digitales) y los reales (tradicionales), respaldando el alto grado de precisión del método 3D utilizado. Resultados similares, utilizando medidas tradicionales respecto a digitales mediante análisis de imágenes, fueron reportados en cabras, encontrando correlaciones entre 0,97 y 0,98 (Negretti et al., 2004), así como también para diferentes medidas corporales en búfalos mediterráneos, oscilando entre 0,91 y 0,99 según el rasgo medido (Negretti et al., 2008). En vacas lecheras, las correlaciones obtenidas con un método digital, respecto de diferentes dimensiones corporales, fluctuó entre 0,63 y 0,83 (Tasdemir et al., 2011).

Por otro lado, diferentes trabajos realizados con variados sistemas de análisis de imágenes 3D para obtener medidas corporales en diferentes animales, reportaron coeficientes de determinación que sus autores señalaron se encuentran dentro de un rango alto de precisión, como fue en vacas Holstein, obteniendo rangos de R^2 0,735 a 0,958 (Tasdemir et al., 2011) y en otras razas lecheras R^2 = 0,9991 (Gaudioso et al., 2014). En otros estudios, realizados en caballos españoles, se obtuvieron R^2 = 0,9723 y ECMP = 7,6172 (Pérez-Ruiz et al., 2020), y en caballos de monta R2 = 0,9994 y EMCP = 1,5218 (Matsuura et al., 2021), resaltando en ambos la alta coincidencia de las

medidas obtenidas digitalmente y un bajo error cuadrático medio. En camellos, los coeficientes de determinación conseguidos en las medidas digitales 3D realizadas en machos, fluctuaron desde R^2 0,61 a 0,99 destacando la fiabilidad de tales resultados y la facilidad de uso del sistema digital. Todos estos anteriores resultados son concordantes a los obtenidos en el presente estudio, debido a la alta precisión obtenida y bajo error relativo, principalmente debido a que al utilizar maquetas no existió movimiento como el reportado en animales vivos, facilitando su obtención y repetitividad. De la misma forma, la implementación del sistema de fotorestitución resulta ser fiable y fácil de implementar con el uso de un computador, permitiendo realizar nuevas medidas o repetirlas posteriormente a la obtención de las imágenes y su restitución 3D.

6 Conclusiones

Fue posible desarrollar e implementar un sistema de obtención de medidas zoométricas digitales 3D utilizando la fotorrestitución de maquetas animales. Las magnitudes de las mediciones 3D obtenidas, comparadas con las tradicionales, presentan una exactitud y precisión alta, lo que hace del método digital de fotorestitución un sistema fiable para obtener medidas corporales en modelos animales, y posible de replicar en animales vivos.

DISCUSIÓN GENERAL

Debido al creciente aumento de la población mundial, proyectado para las próximas décadas, y la necesidad de satisfacer con alimentos de origen ganadero a este crecimiento (OCDE-FAO, 2021), es que hay un constante interés por encontrar formas eficientes y beneficiosas de aumentar la productividad animal. Un ejemplo de esto fue el enfoque de lo realizado en la industria de cerdos, al utilizar los rasgos de la columna vertebral en sus programas de cría comercial para aumentar la producción de carne. Se reportó variación vertebral en la mayoría de las razas, mostrando gran variabilidad, pero se identificaron con mayor frecuencia en aquellas con aptitud carnicera (Shaw, 1929, 1930). En la actualidad, aún se profundiza en esta materia en el rubro porcino de carne, con la finalidad de seguir aumentando el potencial de la especie respecto a su producción derivada de vértebras extras (Mikawa et al., 2011a; Mikawa et al., 2011b; Rohrer et al., 2015; Thu et al., 2017). En tal sentido, este estudio, bajo similar enfoque, abordó la necesidad de ampliar el conocimiento respecto al potencial productivo de carne en una de las razas ovinas de aptitud carnicera comúnmente utilizadas, Suffolk Down, tanto en Chile como en América.

El objetivo general de este estudio fue determinar la variación del número de vértebras toracolumbares y su efecto sobre la talla, peso vivo de faena y

características de la carcasa en corderos Suffolk Down y el desarrollo de métodos digitales 2D y 3D como medio de detección.

Se realizó esta investigación en dos etapas, las que generaron 4 estudios que se abordaron en equivalentes capítulos.

En la primera etapa, compuesta por dos capítulos, se estudió en un mismo rebaño de ovinos Suffolk Down, la frecuencia con la cual aparecen individuos con vertebras extras, tanto en la zona lumbar como en la zona torácica, así como en ambas zonas corporales de la columna vertebral al mismo tiempo, observándose diferentes fórmulas toracolumbares.

De esta forma, en el Capítulo I se estudió el efecto de la aparición de vértebras extras respecto al peso vivo y la talla corporal al momento de la faena de los corderos Suffolk, con la finalidad de determinar si su multivertebralidad contribuiye a obtener animales objetivamente de mayores pesos y dimensiones al momento de su término productivo cuando son destinados a la faena. Al mismo tiempo, observar si las zonas corporales donde aparecen vértebras extras, que son el tórax y la región lumbar, también pudieran ser afectadas positivamente con mayores pesos, en conjunto con otras zonas como los brazos, piernas y cuello, producto de un mayor tamaño y peso general. Adicionalmente evaluar algunas de las características de calidad de la carcasa, como el espesor de grasa dorsal y la profundidad del lomo, sufrían alguna variación de acuerdo a lo observado.

En el Capítulo II, se estudió el efecto de vértebras extras sobre el peso de la carcasa de corderos Suffolk, justo antes de su despiece comercial. Junto con lo anterior, se registraron las dimensiones de las carcasas, con la finalidad de establecer si los corderos multivertebrados reflejaban su mayor tamaño también en la carcasa, así como sus mayores pesos, pero ahora en los diferentes cortes utilizados comercialmente, ya que algunos de estos cortes no corresponden en su formato a toda la pieza corporal desde donde fue fraccionado y extraído.

En la segunda etapa, compuesta por otros dos estudios, se exploró el desarrollo y utilización de métodos digitales que pudieran permitir identificar de forma objetiva mayores dimensiones corporales. Es así como en el Capítulo III, se capturan imágenes de carcasas y medias carcasas de corderos Suffolk utilizando una cámara compacta que permite implementar un método digital 2D para obtener sus medidas zoométricas, y luego compararlas con las obtenidas con el método de referencia conocido como tradicional, realizado con implementos manuales. Se utilizaron las mismas carcasas de corderos Suffolk estudiados, realizando ambos métodos de medición sobre ellas, observando si el sistema digital permitía detectar las mayores dimensiones existentes en carcasas de corderos multivertebrados como lo detecta el sistema tradicional.

Finalmente, en el Capítulo IV, se explora el desarrollo de otro método digital, el que utilizó varias cámaras compactas de disparo simultáneo para la captura de un mayor número de imágenes, desde diferentes ángulos a dos modelos de maqueta animal, que posibilitara la fotorestitución de esas

imágenes en un modelo 3D que posteriormente permitiera realizar sobre ellas mediciones corporales con mayor exactitud y precisión que el método digital 2D, por lo que también se comparó con los resultados de las mediciones tradicionales.

Ya concluidos estos estudios, es posible señalar, para cada etapa y capítulo, las siguientes apreciaciones:

1.1 Frecuencia observada de aparición de vértebras extras

En relación a la frecuencia con la cual aparecen individuos con vertebras extras, tanto en la zona lumbar como en la zona torácica, así como en ambas zonas corporales de la columna vertebral al mismo tiempo, fue posible evidenciar que en ambos estudios de la primera etapa, predominó un mayor número de corderos Suffolk con 13 vértebras torácicas (sobre 91 %) respecto de aquellos con T14 (9 %). Así como también se observó un mayor número de corderos con 7 vértebras lumbares (sobre 69,5 %) que con L6 (30,5 %). Por su parte, individuos con 19 vértebras toracolumbares, correspondientes a aquellos con formula ancestral, resultaron ser los menos frecuentes, 23 %, respecto de aquellos con 20 (75,5 %) y 21 (1,5 %) vértebras toracolumbares, denominados multivertebrados, que se presentaron en conjunto con una frecuencia de 77 %. Lo anterior difiere de otros estudios (Donaldson et al., 2013; Li et al., 2017; Zhang, 1998) donde reportan coincidentemente, tanto para ovinos de raza

Texel, Kazaja y Mongola, las mayores frecuencias observadas en individuos con 13 vértebras torácicas (sobre 79 %), 6 vértebras lumbares (sobre 60 %) y 19 vértebras toracolumbares (sobre 69 %). Lo anterior sugiere, para este estudio, que la mayor frecuencia de corderos Suffolk, con solo una vértebra extra, sería algo común en el rebaño estudiado, por lo que podrían ser utilizadas tales características para la selección de animales con mayor potencial carnicero, respecto de aquellos con un número vertebral ancestral, lo que permitiría profundizar estos antecedentes en próximas investigaciones.

La fórmula toracolumbar T14L7, correspondiente a dos vértebras extras (TL21), una en la zona torácica y otra en la zona lumbar al mismo tiempo, solo se presentó en uno de los dos estudios, con una frecuencia no superior a 3,9 %. Esto principalmente porque se reporta como una frecuencia baja, que ha sido también informada por otros investigadores (Donaldson et al., 2013; Li et al., 2017) en una proporción de 0,39 % y 0,21 %, en ovinos Texel y Kazajos, respectivamente. Sin embargo Zhang (1996) reporta una magnitud de 3,1 %, en ovejas Mongolas, incluso duplicando este valor a 6,6 % cuando se realizó selección (Zhang, 1997a; 1997b). Resalta también el hecho que esta particular característica multivertebral, que señala solo ser observada en ovejas Mongolas, no es superada por otras razas ovinas, y además presenta ventajas respecto de otros ovinos con fórmula ancestral (TL19), e incluso respecto de aquellos con 20 vértebras toracolumbares (TL20), al presentar 2 a 4 kg más de carne en la carcasa. Lo anterior es similar a lo encontrado en el presente

estudio, y aunque la cantidad de corderos no superó el número de 2 individuos, su desempeño en términos de peso de carcasa fue muy superior a otros con menor fórmula vertebral, obteniendo 4,5 kg más que aquellos T13L6 y 1,1 kg más que aquellos T14L6.

Esta característica, de una vértebra más tanto en la zona torácica como lumbar, se destaca como muy inusual, pero con un gran potencial, ya que en estos individuos los pesos y tallas son mayores a otros, pudiendo obtener mayores resultados productivos (Zhang 1997b). De esta manera, la información obtenida permite visualizar un importante posible aumento en el potencial productivo de ovinos Suffolk, puesto que la selección por número vertebral toracolumbar es posible realizarla durante las primeras semanas de vida de los corderos, permitiendo identificarlos a temprana edad y realizar seguimientos de su crecimiento y comportamiento productivo, pudiendo ser sujetos de selección para programas que persiguen mejorar la productividad de carne.

1.2 Vértebra extra en la zona torácica versus lumbar

Aunque la mayor parte de los corderos Suffolk estudiados presentaron 13 vértebras torácicas (91 %), y solo un 9 % presentaron una vértebra extra en la zona torácica (T14), todos esto últimos, sin excepción, registraron mayores pesos vivos de faena (sobre 4 kg) y de carcasa (sobre 3 kg) por sobre los otros T13. Del mismo modo, las diferentes zonas anatómicas de estos corderos, así

como los cortes comerciales obtenidos de ellas, también resultan con mayor peso. No obstante lo anterior, la mayor parte de los corderos presentaron 7 vértebras lumbares (69,5 %), y el restante 30,5 % solo 6. Por lo que, a diferencia de lo observado con las vértebras torácicas, un mayor número de vértebras lumbares no tuvo efecto sobre tales pesos, tanto al momento de la faena como en la carcasa y los cortes obtenidos de ella. Y aunque en algunos casos si se observan aumentos, estos no fueron significativos ($P > 0,05$) para mostrar diferencias. Esto podría deberse a la mayor cantidad de órganos y tejidos musculares, óseos y grasos posibles de alojar en la zona torácica respecto de la lumbar, debido a una mayor profundidad y ancho observado en tal zona corporal, presentando en consecuencia mayores pesos.

Sin embargo, ovinos chinos Kazajos, con una vértebra más, torácica o lumbar, que el número ancestral, sí significó un aumento en el peso de su carcasa, de 1,9 y 1,7 kg, respectivamente. Tales resultados señalan que el aumento del número torácico o lumbar potencialmente tuvo efectos significativos en el peso de esos ovinos, por lo que aumentaría la producción potencial de carne. En ese caso, tanto una vértebra extra torácica, o bien una lumbar extra, tuvieron efecto sobre el peso de las carcasas de los ovinos chinos (Li et al., 2017).

La variación del número de vértebras en la columna de ovejas también ha sido estudiada en razas ovinas británicas (Texel, Scottish Blackface, Texel cruza Mula, y Poll Dorset cruza Mula). Sus observaciones mostraron que la

región torácica presentó desde 12 a 14 vértebras, y la lumbar de 4 hasta 8, lo que significó nueve diferentes combinaciones en las fórmulas vertebrales. Lo anterior mostró además, que el mayor número de vertebras no contribuyó a un aumento significativo en carne para todas las razas estudiadas (Donaldson et al., 2013). De esta manera, no en todas las razas ovinas el efecto de vértebras extras tiene efecto claro sobre su peso vivo y el de la carcasa, posiblemente debido a la variabilidad que es posible encontrar dentro y entre ellas, pudiendo jugar un papel importante el efecto ambiental, como lo es la selección constante con otros objetivos diferentes al número vertebral, o simplemente a la variación que le confiere las condiciones geográficas donde los ovinos se han desarrollado y naturalmente seleccionados por años.

1.3 Dimensiones corporales por efecto de vértebras extras

En este estudio, el tamaño de la estructura corporal de los corderos se determinó a través de medidas zoométricas, esto comprende la talla tanto del animal vivo como de su carcasa. En ciertas ocasiones un animal que se observa alto y/o ancho no necesariamente lo refleja en su carcasa, ya que sus dimensiones en altura tendrán efectos diferentes a los efectos de longitud al momento de obtener piezas comerciales. Sin embargo, aquellos corderos Suffolk con una vértebra extra en la zona torácica, presentaron una mayor talla al momento de la faena, observándose más altos, largos y anchos que otros

con un número toracolumbar ancestral. Del mismo modo, las carcasas de corderos con una vértebra torácica extra fueron más largas y, profundas y anchas en el tórax, además de más anchas en la grupa. Y cuando se presentaron vertebras adicionales en el tórax y zona lumbar al mismo tiempo, los corderos se hicieron más largos y profundos, pero con baja variación en el ancho de pecho y grupa, donde aunque existieron aumentos, estos no fueron significativos ($P > 0,05$). Li et al. (2017) señalan al respecto que el aumento de la fórmula vertebral en la zona toracolumbar en los ovinos Kazajos con una vértebra más, torácica o lumbar, que la ancestral, significó un aumento en largo de la carcasa de 2,93 y 2,22 cm, respectivamente. Tales resultados señalan que el aumento vertebral potencialmente tuvo efectos significativos en la longitud del cuerpo, por lo que contribuiría a obtener más carne en las carcasas de ovinos Kazajos. Lo anterior avalaría la oportunidad de implementar un sistema de selección de corderos Suffolk y/o sus carcasas con mayores dimensiones que otras, permitiendo con esto detectar corderos, antes o después de la faena, que entreguen potencialmente mayores producciones de carne. Para esto, explorar la utilización de sistemas digitales de medición para ayudar en la rapidez de la detección, podría ser valioso.

1.4 Más cortes comerciales

Teniendo en cuenta el análisis ya realizado y, considerando la necesidad de obtener una mayor proporción de cortes comerciales fraccionados y extraídos desde las carcasas de animales de mayor peso vivo, se observa que el mayor número vertebral toracolumbar aportaría positivamente a este fin, ya que tanto corderos con una vértebra torácica extra o dos vértebras extras (una torácica y una lumbar), aportan mayores pesos en cada corte obtenido de las regiones corporales correspondientes a tórax, lomo y brazos que, al ser fraccionados y transformados en diferentes chuletas y espaldillas, respectivamente, alcanzan los mayores precios comerciales (ODEPA, 2020a; SNA, 2020)

1.5 Sistema digital 2D como método de medición de carcasas de corderos multivertebrados

En forma general no se cuenta con información que entregue detalles respecto al número vertebral en ovinos, ya que esta particular característica aún se encuentra en desarrollo y estudio. Sin embargo, debido a la evidencia ya conocida, tanto de otros estudios como también la obtenida en este, sería relevante detectar animales, desde su nacimiento, con características multivertebrales. Este estudio realizó tal detección por medio de radiografías a escasa semanas de nacidos los corderos, pero, no es un método de fácil acceso, los equipos tienen un alto costo y requiere de un técnico con

preparación y experiencia, por lo que explorar un sistema de bajo costo, que utilice cámaras compactas y software fácilmente instalables en un computador, puede ser una herramienta al alcance de variados tipos de explotaciones ganaderas. Tal método digital podría ayudar en la detección, tanto de carcasas como de animales con mayores dimensiones corporales, las que en este estudio se observaron evidencialmente provenir de corderos multivertebrados. La zoometría de los corderos Suffolk estudiados reveló, que las mayores dimensiones las obtuvieron las carcasas de aquellos con vertebras extras, en la zona torácica o toracolumbar, lo que fue detectado en forma tradicional obteniendo la zoometría de los animales y sus carcasas. Implementado el sistema digital 2D, con el uso de una cámara y el análisis realizado en las imágenes capturadas, se determinó que la exactitud de este método se encontró dentro de los parámetros normales, y que su precisión, evaluada por la correlación existente entre las medidas digitales y tradicionales, fueron moderadas a altas. Estas últimas complementadas por el coeficiente de determinación de su regresión lineal que mostró un robusto ajuste. No obstante lo anterior, que deja de manifiesto que el método 2D es posible de utilizar para obtener las medidas zoométricas deseadas, la prueba t de comparación de medias mostró que las medidas tenían diferencias ($P \leq 0,05$), debido al error relativo entre ellas, pero se encontraban lo suficientemente asociadas y proporcionadas para ser utilizado con tales fines. Otros estudios (Gherissi et al., 2022; Menessati et al., 2014; Pallottino et al 2015) coinciden que el método

digital puede estimar con alta precisión las medidas zoométricas deseadas, por lo que los resultados indican que obtener las dimensiones corporales por medio de imagen sería más fácil de implementar que el método tradicional y, que también tendría como ventajas una menor carga de trabajo, mayor rapidez en la obtención de las medidas, menor riesgo de accidentes, entre otras. Sin embargo, se requiere explorar la mejora de estos sistemas digitales para aumentar la fiabilidad e implementación. En este sentido, los resultados de este capítulo, llevaron a la necesidad de explorar una técnica 3D, en busca de mayor exactitud y precisión en las medidas y, con ello el desarrollo de una posible futura herramienta de detección de animales y/o carcasas de corderos multivertebrados.

1.6 Sistema digital 3D para la obtención de medidas zoométricas por fotorestitución

El constante desarrollo y uso de nuevas tecnologías ha requerido de la ganadería de precisión, la que requiere a tiempo real obtener datos y monitorear el desempeño individual y productivo de los animales, agregando valor a los productos (Callejo, 2014). Entre las tecnologías utilizadas se encuentra el análisis de imágenes, que puede ser obtenida mediante procesamiento de video, fotografías, entre otras, o procesamiento de imágenes mediante técnicas 2D o 3D, como fue el caso de este capítulo. El realizar

mediciones morfológicas o zoométricas cobra interés en este estudio, ya que el uso del método tradicional requiere de mayor tiempo y no está exento de riesgos para los manipuladores y el animal durante las mediciones, al mismo tiempo que estas medidas permiten obtener datos de las dimensiones del animal que luego permitirán tomar decisiones productivas. Usando un método digital por fotorestitución de las imágenes de un animal, y en este particular caso, de maquetas animales, las dimensiones corporales fueron obtenidas de sus modelos 3D. La fotorestitución de las maquetas animales, a través del modelado 3D realizado por el software Agisoft Photoscan, fue una herramienta clave para obtener las mediciones digitales. Luego de una puntual capacitación, fue posible instalar y utilizar esta herramienta en un computador, permitiendo medir cuantas veces se requiera, repetirlas y hasta realizar nuevas mediciones en forma posterior, luego de obtenidas las imágenes en terreno. Este método resultó ser suficientemente exacto y preciso, existiendo solo pequeñas diferencias de magnitud entre las medidas tradicionales y digitales 3D, no superiores a 1,9 mm y que no logran diferencias estadísticas ($P > 0,05$). Diferentes estudios con diferentes animales y metodologías para lograr mediciones zoométricas en modelos 3D (Gaudioso et al., 2014; Matsuura et al., 2021; Pérez-Ruiz et al., 2020; Tasdemir et al., 2011), coinciden en que esta metodología permite con fiabilidad y facilidad obtener las dimensiones corporales, con pequeñas diferencias en sus magnitudes respecto de instrumentos convencionales tras el sistema tradicional. Estos autores señalan,

además, que es posible realizar seguimientos durante el proceso de crecimiento del animal, y con ello realizar selección, identificación y corrección de su morfología, permitiendo individualizar y detectar individuos con mejores características, o las deseadas según se requiera.

De acuerdo con la evidencia obtenida, este método sería extrapolable a cualquier especie animal, sin embargo, será necesario explorar la utilización de esta metodología con animales vivos, donde el movimiento de estos será un factor a evaluar en la exactitud y precisión de las mediciones, por lo que se espera realizar en un próximo estudio.

CONCLUSIONES GENERALES

- Frecuencia vertebral observada

  Se observó una mayor frecuencia de corderos con T13 que con T14, en cambio L7 predominó respecto de L6. El numero ancestral TL19 se observó en menor proporción que el grupo TL20 y TL21, encontrando un mayor número de corderos con vértebras extras. La fórmula T14L7 se observó en la menor proporción respecto del total de animales estudiados, no obstante, esos corderos, con una vértebra extra torácica y lumbar, presentaron los pesos más altos y las mayores dimensiones.

- Zoometría a la faena y en la carcasa

  Los corderos con una vértebra más torácica y 20 vértebras toracolumbares respecto de las 19 ancestrales, presentan mayores dimensiones corporales al momento de la faena, siendo más altos, largos y anchos. Del mismo modo, estas dimensiones se reflejan en la talla de las carcasas, siendo estas de mayor longitud y, profundas y anchas de pecho.

- Peso vivo a la faena y peso de carcasa

  Una vértebra torácica extra genera como efecto un mayor peso vivo de faena y de carcasa, no así cuando se presenta una vértebra extra en la zona lumbar. Sin embargo, el efecto es mayor cuando se presentan en conjunto una vértebra torácica y una lumbar.

- Profundidad lomo y grasa

  La profundidad del lomo fue mayor en corderos con TL20, en cambio la grasa de cobertura aumentó solo cuando se observó una vértebra torácica extra en la fórmula toracolumbar (T14L6).

- Peso de regiones corporales y cortes comerciales

  Todas las regiones corporales, a excepción de las piernas, aumentaron su peso cuando se presentó una vértebra más torácica. El mismo efecto se apreció en cada uno de los cortes comerciales cuando los corderos fueron multivertebrados.

- Método digital 2D

  El método digital 2D presenta diferencias en las magnitudes de las medidas zoométricas en las carcasas, no obstante están altamente correlacionadas y ajustadas a las mediciones manuales como para ser un método suficientemente exacto y preciso para determinar las

dimensiones de una carcasa y diferenciarlas por sus medidas. Sin embargo, se podría aumentar la exactitud y precisión aumentando el número de cámaras.

- Método digital 3D

  El método digital 3D no presentó diferencias en las magnitudes de las medidas zoométricas obtenidas, y debido a su exactitud y precisión es un método muy fiable, pero debe ser estudiado en una siguiente etapa con animales vivos.

PERSPECTIVAS

Las observaciones realizadas en esta investigación muestran que existe variabilidad dentro de la raza estudiada, respecto del número de animales observados con una vértebra extra en la zona torácica, una vértebra extra en la zona lumbar, o en ambas zonas al mismo tiempo, al igual que lo reportan otros estudios. Esta variabilidad podría ser detectada a una edad temprana en los corderos, y ser utilizada como criterio de selección para los animales que constituirán el rebaño en la temporada siguiente, puesto que es posible obtener una mayor producción con ellos. Sin embargo, el grado de heredabilidad de estas características aún no ha sido medido, siendo necesario futuros estudios para obtener mayor certeza respecto al efecto de tal selección.

La diferencia observada en la zoometría de los corderos Suffolk con vértebras extras, puede tener claras aplicaciones prácticas en rebaños de esta aptitud carnicera, además de un efecto positivo para la producción que estos entregan, tanto al productor como a la industria. No obstante, de acuerdo a los resultados obtenidos, será necesario estudiar si aquellos animales con mayores tallas corporales, producto de vértebras adicionales, son detectables a la vista del seleccionador, evidenciando con esto la posibilidad de ser utilizadas sus mayores dimensiones como una herramienta fiable de selección en terreno.

La evidencia obtenida muestra que aquellos corderos con vertebras extras en la zona torácica presentaron mayores pesos a la faena y de carcasa que aquellos que solo presentaron una vértebra extra en la zona lumbar. Sin embargo, aquellos corderos con vértebras extras en ambas zonas corporales, torácica y lumbar, presentan mayores pesos y tallas. Al respecto, la frecuencia con la que estos animales se encuentran en el rebaño es baja, y es de interés conocer su potencial, por lo que se requiere contar con un mayor número de animales para estudiar y comparar sus características y potencialidades productivas, lo que podría ser observado en rebaños de gran tamaño como ocurre en la zona austral de Chile.

La selección y utilización de ovinos multivertebrados, como medio de obtención de mayores producciones de este tipo de carne, podría ser un nuevo enfoque para la ganadería ovina, tal como ocurrió en la industria del cerdo. Sin embargo, conocer los genes asociados a esta característica particular de ovinos con vértebras extras, se hace necesario y requiere nuevos estudios, ya que detectar a tiempo real ovinos adultos o jóvenes que carguen esta característica genética, sin la utilización de equipos de alto precio o difíciles de implementar en estos sistemas ganaderos, requiere del desarrollo de un método que permita utilizar la técnica de PCR para dar respuesta rápida a la selección y compra de animales que no poseen esta información de interés.

El desarrollo de tecnologías orientadas a mejorar la eficiencia en las explotaciones ganaderas, y con ello la calidad de los productos obtenidos, permite hacer un uso más racional y eficiente de los recursos. Los datos recolectados sirven para analizar objetivamente todo el proceso productivo, y propender a mejorar la calidad del rebaño, y con esto generar mayor eficiencia, ahorro de tiempo en los procesos, manejo sostenible de recursos, mejoras en la competitividad, reducción de costos y generar valor agregado. Sin embargo, será necesario profundizar en las tecnologías que permitan facilitar la labor del ganadero, pero que también estos métodos sean de bajo costo, amigables y en lo posible intuitivos, ya que esto genera una barrera difícil de vadear cuando la tecnología no está al nivel y entendimiento del usuario, por lo que se hace necesario aumentar la investigación asociada a este rubro, e incluir tecnología de punta que permita mantener competitivo al sector. Se espera estudiar el uso de tecnologías 3D implementada en animales vivos, y su uso en sectores de alto tráfico animal en la granja, de manera de recoger datos diarios que permitan tomar decisiones rápidas y contingentes. Se espera explorar el uso de tecnologías de video imagen, que complementen el uso de otras tecnologías digitales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Böhmer, C., Amson, E., Arnold, P., van Heteren, A. H., Nyakatura, J. A. 2018. Homeotic transformations reflect departure from the mammalian 'rule of seven'cervical vertebrae in sloths: inferences on the Hox code and morphological modularity of the mammalian neck. BMC Evolutionary Biology, 18(1), 1-11.

2. Borchers N., Reinsch N. y Kalm E. 2004. The number of ribs and vertebrae in a Pietrain cross: variation, heritability and effects on performance traits. Journal of Animal Breeding and Genetics 121, 392–403.

3. Çağli, A., and Yilmaz, M. 2021. Determination of some body measurements of camels with three-dimensional modeling method (3D). Tropical Animal Health and Production, 53, 1-12.

4. Callejo, A. 2014. Ganadería de precisión. Mundo Ganadero, 261, 28-33.

5. Chiari Y., Wang B., Rushmeier H., Caccone, A. 2008. Using digital images to reconstruct three-dimensional biological forms: a new tool for morphological studies. Biol. J. Linn. Soc., 95 (2) (2008), pp. 425-436.

6. Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., y Aiken, L. S. 2013. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Routledge.

7. De Oliveira Nascimento, V. S., and De Oliveira Pinheiro, G. 2022. Application of Artificial Intelligence in Cattle Farming: A Scope Review. Revista Electronica de Veterinaria, 30-40.

8. Delfa, R., A. Teixeira y F. Colomer-Rocher. 2005. Composición regional y tisular de la canal caprina. pp: 189-198. En: INIA (Eds.) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. (3a. ed.) Madrid, España. ISSN 1577-3167.

9. Donaldson, C., Lambe, N., Maltin, C., Knott, S., Bunger, L. 2013. Between- and within-breed variations of spine characteristics in sheep. Journal of animal science, 91(2), 995-1004.

10. Elias, E., Aney, S., Duff, G., Gifford, C., Spiegal, S., Cibils, A., ... and Estell, R. 2020. Snapshot of rancher perspectives on creative cattle management options. Rangelands, 42(6), 191-195.

11. FAO. 2023a. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Faostat, Datos sobre alimentación y agricultura, Comercio, Cultivos y productos de ganadería. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP [2023, 08 de enero].

12. FAO. 2023b. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Faostat, Datos sobre alimentación y agricultura, Producción, Ganadería primaria. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL [2023, 08 de enero].

13. Freeman, V. 1939. Variations in the number of vertebrae of swine. Journal of Heredity, 30(2), 61-64.

14. Gamarra Fernández, D. 2022. Genetic characterization and gene expression associated with the fatty acid profile in cattle.

15. Gaudioso, V., Sanz-Ablanedo, E., Lomillos, J. M., Alonso, M. E., Javares-Morillo, L., and Rodríguez, P. 2014. “Photozoometer”: A new photogrammetric system for obtaining morphometric measurements of elusive animals. Livestock Science, 165, 147-156.

16. Gherissi, D. E., Lamraoui, R., Chacha, F., and Gaouar, S. B. S. 2022. Accuracy of image analysis for linear zoometric measurements in dromedary camels. Tropical Animal Health and Production, 54(4), 232.

17. Grill L., Ringdorfer F., Baumung R., Fuerst-Waltl B. 2013. Evaluation of ultrasound scanning to predict carcass composition of Austrian meat sheep. Small Ruminant Research Journal, vol. 123, pp. 260-268.

18. Gungor, O. F., Unal, N. and Ozbeyaz, C. 2021. The First Identification and Some Carcass Characteristics of the 7 Lumbar Vertebrae in Sheep in Turkey.

19. Huang, L., Li, S., Zhu, A., Fan, X., Zhang, C., and Wang, H. 2018. Non-contact body measurement for qinchuan cattle with LiDAR sensor. Sensors, 18(9), 3014.

20. InfoStat. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

21. King, J., y Roberts, R. 1960. Carcass length in the bacon pig; its association with vertebrae numbers and prediction from radiographs of the young pig. Animal Science, 2(1), 59-65.

22. Lambe, N. R., Donaldson, C. L., McLean, K. A., Gordon, J., Menezes, A. M., Clelland, N., & Bunger, L. 2015. Genetic control of CT-based spine traits in elite Texel rams. In Proceedings of the 4th Animal Imaging Conference. Edinburgh, UK.

23. Li, C., Zhang, X., Cao, Y., Wei, J., You, S., Jiang, Y., y Chen, C. 2017. Multi-vertebrae variation potentially contribute to carcass length and weight of Kazakh sheep. Small Ruminant Research, 150, 8-10.

24. Macías U., Álvarez F., Rodríguez J., Correa A., Torrentera N., Molina L, Avendaño L. 2010. Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. Arch Med Vet 42, 147-154.

25. Martin, A. y Fredeen H. 1966. Radiography of the live animal as a technique for predicting carcass characteristics in swine. Can. J. Anim. Sci. 46:83–89.

26. Matsuura, A., Dan, M., Hirano, A., Kiku, Y., Torii, S., and Morita, S. 2021. Body measurement of riding horses with a versatile tablet-type 3D scanning device. Journal of equine science, 32(3), 73-80.

27. McLaren, A., Kaseja, K., McLean, K. A., Boon, S. and Lambe, N. R. 2021. Genetic analyses of novel traits derived from CT scanning for implementation in terminal sire sheep breeding programmes. Livestock Science, 250:104555.

28. Mendizabal, J., Ripoll, G., Urrutia, O., Insausti, K., Soret, B., and Arana, A. 2021. Predicting beef carcass fatness using an image analysis system. Animals, 11(10), 2897.

29. Menesatti, P., Costa, C., Antonucci, F., Steri, R., Pallottino, F., and Catillo, G. 2014. A low-cost stereovision system to estimate size and weight of live sheep. Computers and Electronics in Agriculture, 103, 33-38.

30. Mikawa S., Arai M., Yamaguchi T., Okumura N., Kanaya M., Mikawa A., ... y Kenmigi H. 2011a. Vertnin gene that controls number of vertebrae in pigs, and use of same. The Japanese journal of swine science, 48 (4), 188.

31. Mikawa S., Hayashi T., Nii M., Shimanuki S., Morozumi T. y Awata T. 2005. Two quantitative trait loci on Sus scrofa chromosomes 1 and 7 affecting the number of vertebrate. Journal of Animal Science 83, 2247–54.

32. Mikawa, S., Sato, S., Nii, M., Morozumi, T., Yoshioka, G., Imaeda, N., ... y Awata, T. 2011b. Identification of a second gene associated with variation in vertebral number in domestic pigs. Genética BMC, 12 (1), 5.

33. Mueller, J., y Aranguren, E. 2022. Implementación y resultados de un programa de mejora genética en ovinos. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 48(1), 16-23.

34. Narita, Y. y Kuratani, S. 2005. Evolution of the Vertebral Formulae in Mammals: A Perspective on Developmental Constraints. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution, 304 (2), 91-106.

35. Negretti, P., Bianconi, G., 2004. Morphological survey through computerised image analysis. In: Proceedings of the. 7th World Conference on Brown Swiss Cattle Breeders, pp. 195–201.

36. Negretti, P., Bianconi, G., Bartocci, S., Terramoccia, S., and Verna, M. 2008. Determination of live weight and body condition score in lactating Mediterranean buffalo by Visual Image Analysis. Livestock Science, 113(1), 1-7.

37. Negretti, P., Bianconi, G., D'Angelo, A., Gaviraghi, A., Noè, L., 2004. Application of the opto-informatic system to the morpho-weighted evaluation of goats: preliminary communication. In: 39 Simposio Internazionale di Zootecnia 'Meat Science and Research' Roma, Italy, pp. 433–440.

38. OCDE/FAO. 2021. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. Recuperado de https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2021-2030/en/. [2023,10 de enero].

39. ODEPA. 2020. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Estadísticas, Comercio Exterior. Bases de datos comercio exterior. https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/bases-de-datos-comercio-exterior [2020, 20 de mayo].

40. Pallottino, F., Steri, R., Menesatti, P., Antonucci, F., Costa, C., Figorilli, S., and Catillo, G. 2015. Comparison between manual and stereovision body traits measurements of Lipizzan horses. Computers and electronics in agriculture, 118, 408-413.

41. Parés, P. 2009. Zoometría. pp: 171-196. En: C. Sañudo (Coord.). Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.

42. Parés, P.M. 2007. Índices de interés funcional en la raza bovina "Bruna Dels Pirineus". Red. Electrón. Vet. 3(6): 1-9.

43. Partida de la Peña, J. A., Braña Varela, D., Martínez Rojas, 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).

44. Peña De la, A., L. Pérez, F. González Alique y P. Arana. 2006. Utilización de técnicas fotogramétricas para el estudio de la morfología del caballo. Arch. Zootec. 55(211): 309-312

45. Pérez-Ruiz, M., Tarrat-Martín, D., Sánchez-Guerrero, M. J., y Valera, M. 2020. Advances in horse morphometric measurements using LiDAR. Computers and Electronics in Agriculture, 174, 105510.

46. ProChile. 2016. Estudio de Mercado: Carne Ovina Congelada en España. Ministerio de relaciones exteriores. p 33.

47. Rees Evans, E. 1954. Investigations on the Vertebral Column of the Welsh Pig. Proceedings of the British Society of Animal Production, 1954, 65-73.

48. Rohrer, G., Nonneman, D., Wiedmann, R., & Schneider, J. 2015. A study of vertebra number in pigs confirms the association of vertnin and reveals additional QTL. BMC genetics, 16(1), 129.

49. Ruiz de Huidobro, F., E. Miguel, V. Cañeque y S. Velasco. 2005. Conformación, engrasamiento y sistemas de clasificación de la canal ovina. pp: 143 – 169. En: INIA (Eds.) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. (3a. ed.) Madrid, España. ISSN 1577-3167.

50. Sahin, E. H., Yardimci, M., Cetingul, I. S., Bayram, I., y Sengor, E. 2008. The use of ultrasound to predict the carcass composition of live Akkaraman lambs. *Meat Science*, *79*(4), 716-721.

51. Sañudo C. 2009. Valoración morfológica de los animales domésticos, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino , Madrid, España.

52. Shaw, A. 1929. Variations in the skeletal structure of the pig. Scientific agriculture, 10(1), 23-27.

53. Shaw, A. 1930. A method of determining the variations in the vertebral column of the live pig. Scientific Agriculture, 10(10), 690-695.

54. Slijepčević M., Galis F., Arntzen J.W. and Ivanović A. 2015. Homeotic transformations and number changes in the vertebral column of Triturus newts. PeerJ 3:e1397.

55. SNA. 2020. Servicio Nacional de Aduanas (SNA). Estadísticas COMEX. Exportación por producto. Recuperado de https://www.aduana.cl/exportacion-por-productos/aduana/2020-04-02/091449.html [2020, 22 de mayo].

56. Spiegal, S., Cibils, A. F., Bestelmeyer, B. T., Steiner, J. L., Estell, R. E., Archer, D. W., ... and Waterhouse, A. 2020. Beef production in the southwestern United States: strategies toward sustainability. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 114.

57. Tasdemir, S., Urkmez, A., and Inal, S. 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. Computers and electronics in agriculture, 76(2), 189-197.

58. Teixeira, A., Matos, S., Rodrigues, S., Delfa, R., y Cadavez, V. 2006. In vivo estimation of lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science*, *74*(2), 289-295.

59. Thu H., Ole F., Bjarne N. y Goutam S. 2017. Genome-wide association study for conformation traits in three Danish pig breeds. Genetics Selection Evolution 49:12.

60. Todd, T. 1922. Numerical significance in the thoracicolumbar vertebrae of the mammalia. The Anatomical Record, 24(5): 260-286.

61. Vázquez E., Partida de la Peña, J., Rubio Lozano, M., y Méndez D. 2011. Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruza de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 2(3), 247-258.

62. Villaplana, Á. 2013. Teorías y modelos: formas de representación de la realidad. Revista comunicación, 12(1), 33-46.

63. Wakholi, C., Kim, J., Kwon, K. D., Mo, C., Seo, Y., Cho, S., ... and Cho, B. K. 2022. Nondestructive estimation of beef carcass yield using digital image analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 194, 106769.

64. Ward S., Campo M., Liste G. 2017. The effects of artificial rearing and fostering on the growth, carcass and meat quality of lambs. Small Ruminant Research Journal. Vol 149, pp. 16-22.

65. Weller, R., Pfau, T., Babbage, D., Brittin, E., May, S. A., and Wilson, A. M. 2006. Reliability of conformational measurements in the horse using a

three-dimensional motion analysis system. Equine veterinary journal, 38(7), 610-615.

66. Willis T. 1929. An analysis of vertebral anomalies. The American Journal of Surgery 6 (2): 163-168.

67. Willis, T. 1923. The thoracicolumbar column in white and negro stocks. The Anatomical Record, 26(1): 31-40.

68. Wong, S. F. L., Agarwal, V., Mansfield, J. H., Denans, N., Schwartz, M. G., Prosser, H. M. and McGlinn, E. 2015. Independent regulation of vertebral number and vertebral identity by microRNA-196 paralogs. Proceedings of the National Academy of Sciences 112(35):E4884-E4893.

69. Wu J., Tillett R., Mcfarlane N., Ju X., Siebert J.P., Schofield P. 2004. Extracting the three-dimensional shape of live pigs using stereo photogrammetry. Comput. Electron. Agric., 44 (2004), pp. 203-222.

70. Zhang L. 1996. Características genéticas poblacionales de la variación del número vertebral en ovejas Wuzhumuqin. Inner Mongolia Animal Science, (4), 1-3.

71. Zhang L. 1997a. Estudio de genética de poblaciones de genes de múltiples espinas en ovejas mongolas. Genética, (S1), 67-69.

72. Zhang L. 1997b. Relationship between the evolution of animal vertebral column and the variation of vertebrea in mongolian sheep. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 18 (6):1-3.

73. Zhang L., Luo X. y Siqinbilig Z. 1998. The lengths of thoracic and lumbar vertebrae and the performance of mongolia sheep. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 19 (3), 1-5.

74. Zhang L., Shali, Siqin B. 1996. Investigación sobre la mutación del gen Homeobox y la variación del número vertebral en ovejas Mongol. Actas del Décimo Congreso Nacional de Membresía y Conferencia Académica Anual de la Sociedad China de Ganadería y Medicina Veterinaria, China. Agricultural University Press, 164-167.

75. Zhang, Z., Sun, Y., Du, W., He, S., Liu, M., y Tian, C. 2017. Effects of vertebral number variations on carcass traits and genotyping of Vertnin candidate gene in Kazakh sheep. Asian-Australasian journal of animal sciences, 30(9), 1234.

ANEXOS

1. **Anexo 1.** Esquema de despiece en cinco zonas corporales para la carcasa ovina

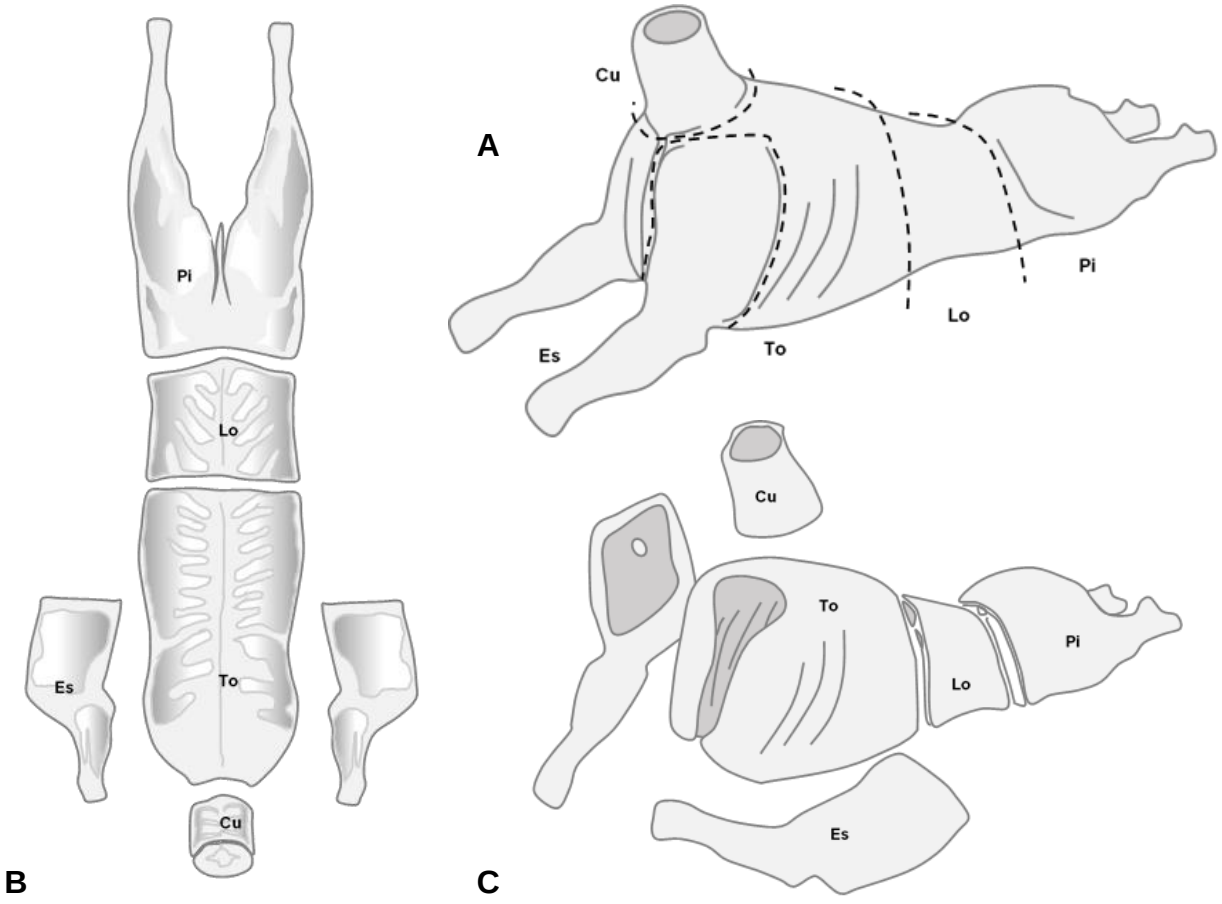

Figura 16. Esquema detalle de despiece de regiones corporales en carcasa de ovino. **A**: carcasa con representación de zonas de corte; **B**: carcasa en vista dorsal; **C**: carcasa con representación de despiece. Pi: piernas; Lo: zona lumbar; To: tórax; Es: brazos; Cu: cuello (Fuente: elaboración propia).