

03-031

DESIGN OF A PROTOTYPE TO CLASSIFY LAMBS ACCORDING TO THEIR LIVE FAT LEVEL USING ULTRASOUND IMAGE CAPTURE.

Samperio Fernández, Enrique ⁽¹⁾; Heras-Romanos, Elena ⁽¹⁾; Gil-Pérez, Ignacio ⁽¹⁾; Manchado Pérez, Eduardo José ⁽¹⁾; Sanz Segura, Rosana ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Universidad de Zaragoza

There are many factors today that affect the quality of the meat we eat. Feeding, activity during growth or even the stress suffered by the animal are examples of these factors that can affect the quality of the meat or even the taste of the product. In the case of lamb, it has been observed that another factor is the fat level in the final product. Fat in lamb meat affects the quality of the product both in sale and consumption, and consequently the price of the product. However, there is currently no method to predict the level of fat in the final product. The aim of the present study is to design an additional station in a feedlot to measure the fat in a live lamb. The purpose of this station is to be able to classify the animals according to the level of fatness. Thus, the fat level in the final meat product can be predicted, improving the quality of the meat at the point of sale and adjusting the cost of the product to this quality.

Keywords: Meat quality; fat; classification; animal welfare.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA CLASIFICAR CORDEROS SEGÚN SU NIVEL DE GRASA EN VIVO MEDIANTE CAPTURA DE IMÁGENES DE ULTRASONIDOS.

Actualmente hay muchos factores que afectan a la calidad de la carne que consumimos. La alimentación, la actividad durante el crecimiento o incluso el estrés que sufre el animal son ejemplos de esos factores que pueden afectar a la calidad de la carne o incluso al sabor del producto. En el caso del cordero, se ha observado que otro de esos factores es la cantidad de grasa en el producto final. El engrasamiento de la carne afecta a la calidad del producto tanto en la venta como en el consumo, y consecuentemente al precio del mismo. Sin embargo, hoy en día no existe ningún método para predecir la cantidad de grasa que tendrá el producto final. El objetivo del presente estudio es el diseño de una estación adicional para una manga de manejo de un cebadero que permita medir la grasa en vivo de un cordero. El fin de esta estación es poder clasificar a los animales según el nivel de engrasamiento. De esta forma, se puede predecir la cantidad de grasa en el producto cárnico final, mejorando la calidad de la carne en el punto de venta y ajustando el coste del producto a dicha calidad.

Palabras claves: Calidad de la carne; grasa; clasificación; bienestar animal.

Correspondencia: Enrique Samperio Fernández esamperio@unizar.es

Agradecimientos: Los autores agradecen la colaboración de Casa Ganaderos, Franco y Navarro y la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino de Raza Rasa Aragonesa (ANGRA) entre otros compañeros y técnicos que han participado directa o indirectamente aportando datos para la elaboración del trabajo.



1. Introducción

Uno de los procesos característicos de una explotación ganadera, y más concretamente de un cebadero, es la clasificación de los animales según peso y sexo para llevar a matadero. Esto permite a los cebaderos, clasificar a los animales según las especificaciones de calidad de la carne y así ajustar el precio por animal a la calidad futura esperada. En otros sectores, dentro de los cebaderos se monitorizan procesos que sirven para controlar, además del peso y el sexo, el comportamiento animal o la alimentación de los mismos mediante técnicas de Precision Livestock Farming (PLF) o ganadería de precisión (Tullo, Finzi, & Guarino, 2019). Esto permite, por ejemplo, predecir enfermedades según los comportamientos del animal posibles (Byrne *et al.*, 2019). Sin embargo, todos estos procesos, en la ganadería ovina no están suficientemente extendidos a día de hoy. Características como la economía, la poca tecnificación del sector, y la diferencia de comportamiento de los corderos respecto a otras especies hacen más difíciles de implementar todos esos procesos que ya están realizándose en otros sectores.

Uno de los principales factores de venta cárnica actualmente son la calidad y el precio de la carne. El segundo término suele ir ligado al primero, por lo que se puede decir que para que el ganadero tenga una mayor rentabilidad de su explotación tiene que cuidar diferentes aspectos a lo largo del crecimiento de los animales para que la calidad de la carne sea óptima. El peso en el que se lleva a sacrificio, la alimentación o la actividad que haya realizado el animal durante su crecimiento pueden afectar a la calidad de la carne (Lefaucheur, 2010)(Aguayo-Ulloa *et al.*, 2013). Además, el tratamiento sufrido durante el manejo de los animales o el estrés al que está sometido el animal pueden incluso afectar al sabor final de la misma (Pérez *et al.*, 2002)(Ferguson & Warner, 2008)(Adzitey, 2011). La cantidad y calidad de la grasa en un animal, también contribuye a la percepción de una carne con mayor o menor calidad (Webb & O'Neill, 2008). En el caso del cordero, se ha comprobado que esto último afecta al sabor de la carne (Realini *et al.*, 2021).

Actualmente, no existen procesos de control o clasificación automatizados según la cantidad de grasa en corderos previos a la matanza del animal. Esto hace que la calidad del producto cárnico y el precio no estén suficientemente ajustados en el punto de venta. Estos procesos deberían llevarse a cabo justo antes del sacrificio del animal, por lo que deberían realizarse en las últimas fases del proceso de manejo del cebadero.

Sin embargo, estos procesos tienen obstáculos difíciles de solventar y unos requisitos que cumplir para que sean efectivos. El cordero es una especie que tiende a agruparse y a ser muy inquieto en grupos pequeños o de forma individual (Nowak *et al.*, 2008). La medida de grasa tiene que ser lo suficientemente precisa para que el resultado sea relevante. Y, por último, el método de medida debe de ser no invasivo y lo menos estresante posible para el cordero.

En otros sectores y especies se han observado diferentes métodos de medición de grasa no invasivos. En ellos se proponen desde referencias corporales exteriores del animal (Fernandes *et al.*, 2010), hasta métodos que utilizan tecnología óptica 3D (Weber *et al.*, 2014) o resonancias (Carabús, Gispert, & Font-i-Furnols, 2016), pasando por el uso de ultrasonidos (Quaresma, Payan-Carreira, & Silva, 2013). Teniendo en cuenta las características de la ganadería ovina, su situación económica y lo estresante del resto de tecnologías revisadas, la tecnología de ultrasonidos podría ser la más cercana a los requisitos del proceso y al estado del sector.

El uso esta tecnología se ha visto reflejado en diferentes artículos de investigación que tienen como objetivo la medida de la grasa corporal en diferentes especies (Houghton & Turlington, 1992)(Greiner *et al.*, 2003)(Quaresma *et al.*, 2013). En muchos de ellos se ha comprobado que la medida de grasa corporal tiene relación directa con el peso del animal, el sexo, o incluso con medidas exteriores del mismo. En el caso de los corderos, se ha comprobado

anteriormente que esta tecnología podría ser efectiva para predecir la profundidad de grasa en vivo ya que tiene una muy buena correlación con la medida real en la canal del animal (Delfa *et al.*, 1991).

El procesamiento de imágenes de ultrasonidos es algo muy común en otros ámbitos de la investigación. Se han observado multitud de estudios que utilizan el procesamiento de imágenes para detectar y predecir la aparición de cánceres en medicina (Fan *et al.*, 2019)(Zhuang *et al.*, 2019). El procesamiento de este tipo de imágenes es relativamente sencillo ya que se trata de imágenes en blanco y negro con gran contraste entre si. En el caso de las imágenes de grasa, se puede diferenciar la primera capa inicial de grasa perfectamente del músculo e incluso detectar la sección del hueso u otras regiones de interés (Wang, Guo, & Wang, 2015). Por todo ello, el procesamiento de imágenes ultrasonidos permite unos resultados relativamente buenos con una rapidez casi inmediata o incluso a tiempo real.

Por todo ello, se propone la realización de un prototipo que permita inmovilizar al cordero para medir su grasa en vivo mediante imágenes de ultrasonidos. Estas imágenes obtenidas mediante un ecógrafo, se procesarán para obtener una medida real de grasa que se relacionará con el peso y el sexo del cordero para poder predecir la cantidad de grasa en una escala que permita su clasificación en tres grupos diferentes.

2. Objetivos

Como se ha visto anteriormente, en los cebaderos, sobretodo en otros sectores que no son el ovino, se realizan muchos procesos ayudados por la PLF para el control y la clasificación de los animales antes de llevarlos a sacrificio. Estos procesos en el sector ovino no están tan avanzados. Por ello, el objetivo principal de esta comunicación es el de añadir una estación de medida de grasa en vivo de corderos que permita aumentar las opciones de clasificación que tiene un cebadero actualmente. De esta forma, mejorará la relación calidad-precio del producto cárnico final en el punto de venta y permitirá controlar el estado de engrasamiento de los corderos en el proceso. Otro objetivo será preservar el estrés y bienestar animal ya que puede afectar a la calidad de la carne. También es necesario tener en cuenta el tiempo requerido para medir la grasa, siendo necesario minimizar en lo posible la ralentización del proceso de clasificación global del cebadero.

3. Metodología

Este proyecto se desarrolló en dos fases distintas debido a que se divide en un producto físico y un software necesarios para cumplir con los objetivos del mismo. La primera fase fue el diseño y fabricación de un prototipo que simulase la forma y el tamaño de una manga de manejo de un cebadero, ya que se propone añadir una nueva estación de clasificación en una manga real. Este prototipo debía poder bloquear al cordero para que el operario pudiese medir correctamente la grasa sin estresar ni dañar al animal y de una forma rápida y sencilla. La segunda fase fue el diseño y desarrollo del software encargado de calcular la cantidad de grasa del animal. Este software debería poder visualizar la imagen que esta captando el operario sobre la grasa del cordero e indicarle cuantos milímetros de grasa tiene el animal en vivo.

3.1 Diseño y fabricación del prototipo

Antes de comenzar con el diseño del prototipo se realizó un estudio del tamaño de una manga de manejo de cebadero. Una vez detectado cual es el tamaño más común se procedió a realizar medidas sobre los pasillos de la manga para poder replicar un tramo exacto de la

misma, ya que lo que se quería conseguir era que, al realizar las pruebas, el cordero no lo sintiera como algo nuevo y desconocido y, así, las pruebas fuesen lo más reales posibles.

Una vez recreado el tramo se procedió al diseño del tramo principal del prototipo, el bloqueador. Para ello, se necesitaba saber cuales eran las medidas de un cordero del rango de peso en el que se encontrarían al realizar la medida de grasa. Se tomaron medidas de la cadera, los hombros, la cintura y la altura hasta la cruz de 70 corderos de entre 15,2 kg a 26 kg. Este rango de peso suele ser el más habitual para corderos que van al matadero, por lo que era el ideal para diseñar el bloqueador.

Figura 1: Bloqueador de corderos



Esas medidas, junto a la anchura y altura de la manga antes descrita, sirvieron para dotar a la estación de medida con un diseño adaptado a la forma real del cordero y a la posición habitual de un operario en el manejo de la manga. En la figura 1 se puede observar el prototipo final diseñado y construido.

Todas las mediciones a corderos se realizaron sobre ejemplares de Raza Rasa Aragonesa en las mismas condiciones de alimentación, luz y crecimiento. Todas ellas las llevo a cabo el mismo operario.

3.2 Diseño y desarrollo del software

Para el diseño y programación de la aplicación fue necesario recopilar datos sobre la relación entre la medida tomada con el dispositivo de medida y la medida real. Para ello, se necesitaron 151 corderos de pesos entre 19 y 27,6 kg. De las cuales 79 eran machos y 72 hembras.

A cada uno de ellos se le realizaron medidas del peso en vivo y se le tomaron diferentes imágenes y videos con un ecógrafo en la zona lumbar, ya que se considera la zona de mayor relevancia a la hora de ver la grasa del cordero como se puede observar en diferentes investigaciones (Delfa, Teixeira, & Colomer-Rocher, 1989).

Una vez tomadas las imágenes de todos los corderos, se procedió manualmente a medir la grasa de cada unos de los ejemplares según la escala de medida que proporcionaba el ecógrafo. Sin embargo, esa medida final en milímetros era necesaria que fuese automática en tiempo real. Para ello, se realizaron diferentes técnicas de procesamiento de imágenes de

forma que el software mostrase al operario directamente los milímetros de grasa que tiene el animal con un simple vistazo a la aplicación cuando este capturase la imagen.

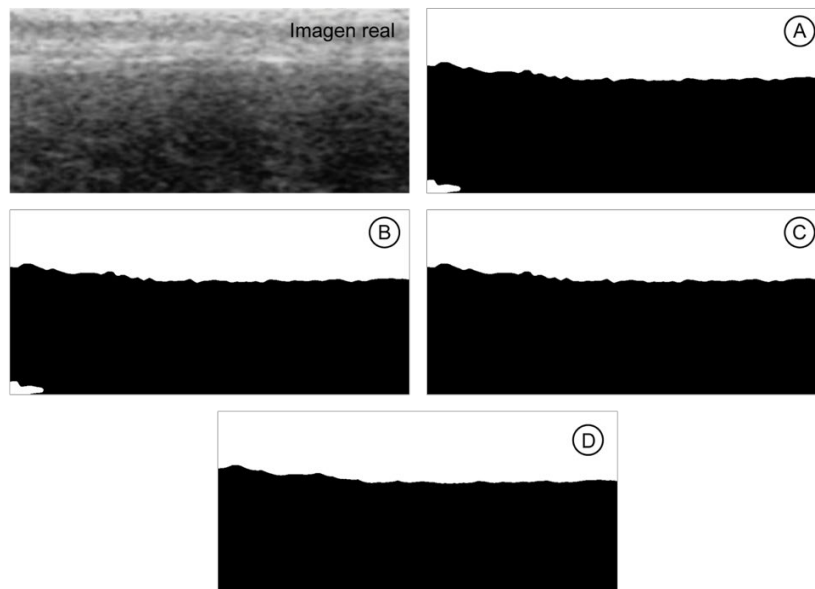
El siguiente paso, fue seleccionar los rangos de milímetros que pertenecían a las diferentes clasificaciones de corderos por su grasa. Como es un proceso que actualmente se realiza post mortem, se media la grasa de los corderos en vivo, y a los dos días se observaba la grasa del mismo ejemplar en la canal una vez sacrificado, con la ayuda de un experto. Este experto clasificaba las canales en tres grupos: Escaso de grasa, Óptimo y Exceso de grasa. De esta forma se podía relacionar los milímetros calculados con las imágenes obtenidas del ecógrafo con la clasificación del operario.

Todas las mediciones a corderos se realizaron sobre ejemplares de Raza Rasa Aragonesa en las mismas condiciones de alimentación, luz y crecimiento. Todas ellas las llevo a cabo los mismos operarios.

3.3 Métodos de visión

Para el calculo de los milímetros de grasa en vivo del animal, anteriormente descrito, se capturaron imágenes en JPG y videos en MP4, de los cuales se seleccionaron las imágenes correctas según el punto de vista de un experto. Una vez seleccionada una o varias imágenes correctas de grasa, estas se pasaban por un preprocesado para detectar con mayor precisión la capa de grasa real como se ve en la figura 2. Primero se ha realizado un filtro OTSU para determinar el parámetro ideal de umbral de binarización para cada foto (a). Una vez diferenciada la Región de Interés (ROI) del resto de la imagen, se eliminaron los objetos pequeños y el resto de objetos se etiquetaron (b). El siguiente paso fue eliminar todos los objetos etiquetados más pequeños para quedarnos con el de mayor tamaño que representa la grasa (c). Una vez segmentado, se dilató y se erosionó el objeto final para obtener una imagen más nítida y recta del nivel de grasa (d).

Figura 2: Procesamiento de la imagen



El valor obtenido en mm de la zona blanca se uso posteriormente para determinar en que estado (Escaso de grasa, Óptimo o Exceso de grasa) de engrasamiento se encontraba el

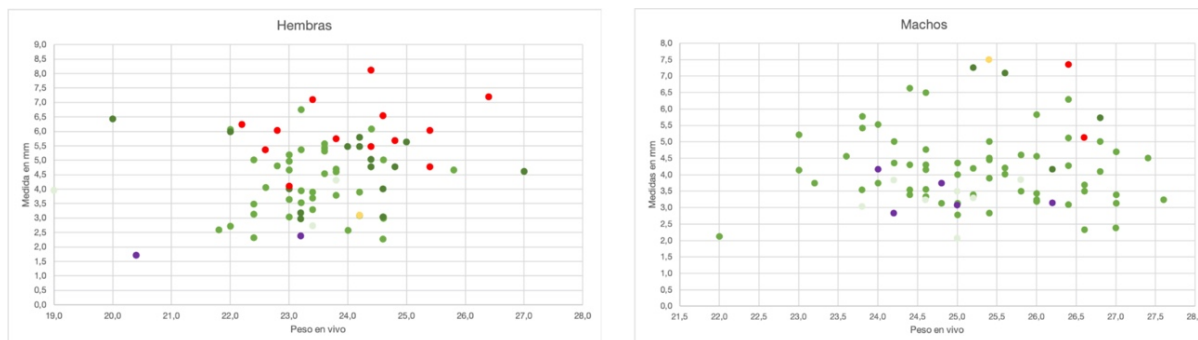
animal según su sexo y su peso. Esta valoración se realizó comparando lo obtenido con la valoración que realizaba un experto observando la misma canal que el cordero estudiado.

4. Resultados

4.1 Análisis de los datos del modelo

Analizando los datos obtenidos para calcular los milímetros de grasa de cada ejemplar, se pueden observar ciertas tendencias que están relacionadas con los mm de grasa medidos manualmente, el peso y el sexo del cordero. Según el rango establecido por la Denominación de Origen Ternasco de Aragón (entre 19 y 26 kg de peso en vivo) se puede observar en la figura 3 como la mayoría de los corderos entre 3 y 5,5 mm de grasa se encuentran en un estado Óptimo para su venta según la opinión del experto nombrado anteriormente. Sin embargo, las hembras tienden a tener más casos de Exceso de grasa que de Escasos de grasa mientras que los machos todo lo contrario. Estos datos pueden ayudar a simplificar el proceso de medida de grasa en la manga de manejo.

Figura 3: Comparativa por sexos de mm de grasa y peso



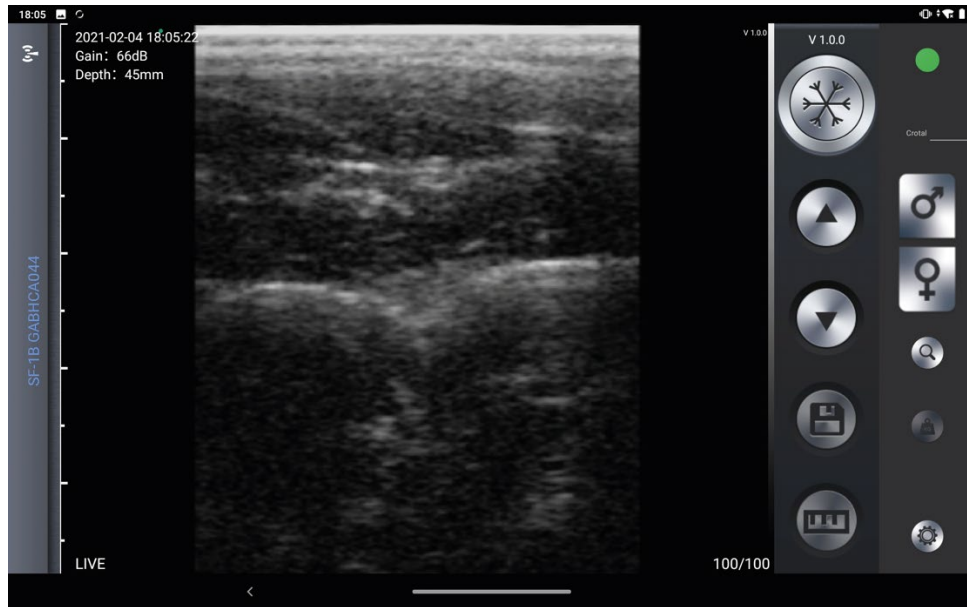
Uno de los objetivos nombrados anteriormente, es el de no ralentizar el actual proceso de clasificación de corderos en los cebaderos. Es una evidencia que al añadir una estación más de clasificación en el recorrido de la manga, este proceso se va a volver más lento que el actual. Sin embargo, con los datos obtenidos podemos intentar acelerar el paso por la nueva estación. Como se puede observar en la figura 3, hay grupos de corderos muy claros, en especial en los machos, que nos pueden permitir no realizar medidas innecesarias ya que pertenecen claramente a uno de los tres grupos de clasificación descrito por el experto. De esta forma, solo sería necesario realizar la medida a los corderos que están en el límite de los grupos y por lo tanto son dudosos en cuanto al nivel de engrasamiento.

4.2 Software

El software se ha desarrollado en Python 3.6 y la interfaz se ha diseñado con la biblioteca Kivy. Como se observa en la figura 4, la interfaz es muy simple para que el ganadero pueda interactuar con ella con facilidad teniendo en cuenta que una mano la tendrá ocupada con el ecógrafo. Todo el diseño se ha realizado teniendo en cuenta las características previas que ofrecía la aplicación nativa del ecógrafo y la posición real del operario al tomar la medida. Por ello, todos los botones son de tamaño grande para que el operario no tenga errores de pulsación. La parte principal de la aplicación es la visualización de la imagen de la grasa del cordero a tiempo real. Todos los botones de interacción con el usuario se han colocado a la derecha del interfaz como se puede ver en la figura 4, ya que la pantalla esta colocada al lado

derecho del prototipo, puesto que en el lado izquierdo del puesto del operario se encuentran los mandos para manejar el bloqueador.

Figura 4: Interfaz de la aplicación



Para facilitar la captura de una imagen correcta, se ha diseñado un piloto rojo y verde que indica al usuario si la imagen es correcta según la valoración del experto a tiempo real. De esta manera el operario solo deberá analizar una imagen que de base es buena para medir la grasa. De esta forma, la única interacción que tiene el operario a nivel táctil con la aplicación será si decide asignar un nombre o un crotal al cordero, si quiere comprobar que la imagen que ha capturado es buena o si quiere guardar la medida en un csv. Si no fuese necesario realizar ninguna de esas acciones, el operario podría realizar todo el proceso con la pulsación del botón que se encuentra en el propio ecógrafo.

4.3 Secuencia del proceso de medida

El primer paso para poder tomar una medida correcta es bloquear al cordero. Para realizar este bloqueo el operario deberá presionar el botón “Cerrar” del cuadro de mandos situado a su izquierda para accionar la pared móvil del prototipo, la cual es impulsada neumáticamente, cuando este considere que el cordero esta en la posición adecuada como se ve en la figura 5. La presión realizada contra la otra pared estática se adapta a la fuerza necesaria para no

dañar al cordero. Ambas paredes están recubiertas de goma flexible para que la inmovilización sea efectiva sin que el cordero sufra ningún daño.

Figura 5: Cordero bloqueado



Una vez inmovilizado, el operario aplicará alcohol en la zona lumbar y presionará levemente el ecógrafo contra la piel del cordero. Durante este proceso, el operario podrá observar a tiempo real la imagen que capta el ecógrafo en la App. Para que el operario pueda diferenciar si la imagen que esta tomando es correcta para realizar una medición buena, siempre tiene visible una alerta que se ilumina en color verde o rojo dependiendo si la imagen es correcta o no. Cuando la imagen sea correcta, el operario solo tendrá que presionar el único botón que tiene el ecógrafo para saber cual es la medida real de grasa del cordero que esta siendo medido. Si fuese necesario, la App tiene la opción de guardar lo datos del cordero en una hoja de calculo que se puede exportar para analizar los datos posteriormente.

Por último, el operario solo tiene que pulsar el botón “Abrir” situado en el mismo cuadro de mandos mencionado anteriormente para soltar la presión de la compuerta y liberar al cordero para que tome dirección hacia el corral adecuado.

5. Discusión

La estación de medida de grasa diseñada permite al cebadero añadir un tipo de clasificación adicional, adaptándose a los métodos anteriores como el peso o el sexo. Como se ha comentado en la introducción, la calidad de la carne y el precio de la misma son importantes en la ganadería, pero en un sector como el ovino donde la ganancia de los ganaderos es menor que en el resto, cobra mayor importancia. Esta estación permite al cebadero ajustar el precio de la carne a la calidad que se espera de ella, ya que permite saber los milímetros de grasa que tiene el animal antes de ser llevado a sacrificio.

En un nivel más específico, se ha intentado que el animal no sienta que se dirige a un lugar desconocido, realizando la estación con los materiales y formas de los que están hechos los demás elementos de la manga por donde se mueven actualmente. Esto ayuda a que los animales no se estresen en exceso y por lo tanto disminuya la calidad de la carne (Adzitey, 2011). Por este mismo motivo y para que el animal no sufra golpes que devalúen la calidad,

se han realizado las paredes del bloqueador en goma flexible. Cuando están bloqueados, los corderos se encuentran tranquilos y no luchan por salir de la estación, dando a ver que no les genera demasiado estrés, ya que este tipo de actuaciones están relacionadas con picos o momentos estresantes para el animal (Nowak *et al.*, 2008).

El uso de técnicas de PLF como el procesamiento de imágenes en el software, ha permitido generar una aplicación sencilla y con poca interacción del operario con la misma. Esto ha sido útil para intentar reducir el tiempo de cada medida y por lo tanto no ralentizar en exceso el proceso de clasificación. En general, se ha comprobado que el uso de este tipo de técnicas pertenecientes al PLF, mejoran la efectividad y la productividad de las explotaciones ganaderas (Berckmans, 2014)(Tullo *et al.*, 2019).

Mejorar la calidad del servicio, aumentar las posibilidades de clasificación y control de los animales, o realizar procesos que faciliten el manejo sin empeorar las condiciones de los animales, son características claras de mejora de la cadena de valor del sector ovino. Como se ha visto en la literatura, este tipo de procesos u otros similares se utilizan a menudo en otros sectores, pero no en el ovino (Tullo *et al.*, 2019). El sector ovino tiene unas características especiales que han hecho que las mejoras tecnológicas no se hayan introducido a la velocidad que lo han hecho en otros sectores, como el movimiento de la especie o la capacidad económica de los ganaderos. Innovaciones como la que se ha descrito en esta comunicación hacen que el sector de un paso más hacia la tecnificación y favorecen a la aceptación de esta tecnología entre los ganaderos del sector (Kaler & Ruston, 2019).

6. Conclusiones

Se ha realizado un dispositivo capaz de bloquear a un cordero y una aplicación que permite al operario visualizar la imagen en vivo de la grasa del cordero con la información detallada sobre los milímetros de grasa. Además, todo el proceso se realiza produciendo el menor estrés posible en el animal e intentando no ralentizar el proceso de clasificación, de manera que el beneficio que genere este nuevo método de clasificación en el sector ovino no se vea mermado por el tiempo que se necesita para medir la grasa.

6.1 Futuro y limitaciones

A pesar de que el dispositivo diseñado cumple perfectamente las especificaciones citadas en los objetivos propuestos y las necesidades del proyecto planteado, puede mejorarse en diferentes aspectos. Aunque la medida obtenida es muy precisa, sería más cómodo para el operario que la clasificación fuese automática. Esto debería realizarse mediante un aprendizaje por parte del software que predijese automáticamente en que nivel de engrasamiento se encuentra el animal según los milímetros de grasa obtenidos. Sin embargo, para ello serían necesarias más medidas de corderos con Exceso de grasa o con Escasez de grasa, ya que los datos actuales no son suficientes para generar un modelo matemático que prediga con precisión. En cuanto a la funcionalidad del dispositivo, sería necesario diseñar un pequeño dispositivo que ayude al operario a dosificar el alcohol con mayor rapidez o que lo haga automáticamente solo con el movimiento de empuje del operario. De esta forma se podría reducir el tiempo de la estación de medida lo que haría más viable la clasificación y facilitaría que la inserción de esta estación se admita más fácilmente en el sector.

Además, mejorar el tiempo del proceso, hace que el animal sufra menos estrés en el proceso y mejoraría la ganancia económica con la optimización del tiempo.

7. Referencias

Adzitey, F. (2011). Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *International Food Research Journal*, 18(2), 485–491.

- Aguayo-Ulloa, L. A., Miranda-de la Lama, G. C., Pascual-Alonso, M., Fuchs, K., Olleta, J. L., Campo, M. M., ... María, G. A. (2013). Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare, production performance and meat quality. *Small Ruminant Research*, 111(1–3), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.09.011>
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 33(1), 189–196. <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>
- Byrne, D. T., Esmonde, H., Berry, D. P., McGovern, F., Creighton, P., & McHugh, N. (2019). Sheep lameness detection from individual hoof load. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158(August 2018), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.048>
- Carabús, A., Gispert, M., & Font-i-Furnols, M. (2016). Imaging technologies to study the composition of live pigs: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(3), 1–16. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016143-8439>
- Delfa, R., Teixeira, A., Blasco, I., & Rocher-Colomber, F. (1991). Ultrasonic estimates of fat thickness, C measurement and longissimus dorsi depth in rasa aragonesa ewes with same body condition score. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires*, 13, 25–30.
- Delfa, R., Teixeira, A., & Colomer-Rocher, F. (1989). A note on the use of a lumbar joint as a predictor of body fat depots in Aragonesa ewes with different body condition scores. *Animal Production*, 49(2), 327–329. <https://doi.org/10.1017/S0003356100032487>
- Fan, H., Meng, F., Liu, Y., Kong, F., Ma, J., & Lv, Z. (2019). A novel breast ultrasound image automated segmentation algorithm based on seeded region growing integrating gradual equipartition threshold. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-07884-8>
- Ferguson, D. M., & Warner, R. D. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80(1), 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.004>
- Fernandes, H. J., Tedeschi, L. O., Paulino, M. F., & Paiva, L. M. (2010). Determination of carcass and body fat compositions of grazing crossbred bulls using body measurements. *Journal of Animal Science*, 88(4), 1442–1453. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1919>
- Greiner, S. P., Rouse, G. H., Wilson, D. E., Cundiff, L. V., & Wheeler, T. L. (2003). The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81(3), 676–682. <https://doi.org/10.2527/2003.813676x>
- Houghton, P. L., & Turlington, L. M. (1992). Application of ultrasound for feeding and finishing animals: a review. *Journal of Animal Science*, 70(3), 930–941. <https://doi.org/10.2527/1992.703930x>
- Kaler, J., & Ruston, A. (2019). Technology adoption on farms: Using Normalisation Process Theory to understand sheep farmers' attitudes and behaviours in relation to using precision technology in flock management. *Preventive Veterinary Medicine*, 170(November 2018), 104715. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104715>
- Lefaucheur, L. (2010). A second look into fibre typing - Relation to meat quality. *Meat Science*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.004>
- Nowak, R., Porter, R. H., Blache, D., & Dwyer, C. M. (2008). Behaviour and the Welfare of the Sheep. *The Welfare of Sheep*, 81–134. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8553-6_3

- Pérez, M. P., Palacio, J., Santolaria, M. P., Aceña, M. C., Chacón, G., Gascón, M., ... García-Belenguer, S. (2002). Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. *Meat Science*, 61(4), 425–433. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00216-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00216-9)
- Quaresma, M., Payan-Carreira, R., & Silva, S. R. (2013). Relationship between ultrasound measurements of body fat reserves and body condition score in female donkeys. *Veterinary Journal*, 197(2), 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.12.031>
- Realini, C. E., Pavan, E., Johnson, P. L., Font-i-Furnols, M., Jacob, N., Agnew, M., ... Moon, C. D. (2021). Consumer liking of *M. longissimus lumborum* from New Zealand pasture-finished lamb is influenced by intramuscular fat. *Meat Science*, 173(September 2020), 108380. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108380>
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*, 650, 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Wang, X., Guo, Y., & Wang, Y. (2015). Automatic detection of regions of interest in breast ultrasound images based on local phase information. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 26, S1265–S1273. <https://doi.org/10.3233/BME-151424>
- Webb, E. C., & O'Neill, H. A. (2008). The animal fat paradox and meat quality. *Meat Science*, 80(1), 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.029>
- Weber, A., Salau, J., Haas, J. H., Junge, W., Bauer, U., Harms, J., ... Thaller, G. (2014). Estimation of backfat thickness using extracted traits from an automatic 3D optical system in lactating Holstein-Friesian cows. *Livestock Science*, 165(1), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.022>
- Zhuang, Z., Li, N., Raj, A. N. J., Mahesh, V. G. V., & Qiu, S. (2019). An RDAU-NET model for lesion segmentation in breast ultrasound images. *PLoS ONE*, 14(8), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221535>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

