



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN EQUIPO ELECTRÓNICO ORIENTADO A LA
DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MARMOLEO EN CORTES DE
CARNE DE RES BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y
APRENDIZAJE DE MÁQUINAS**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR(ES)

Cardenas Villanez, Enori Magaly (0000-0002-6322-3741)

Tabory Inga, Enrique Ruben (0000-0001-9544-9721)

ASESOR(ES)

Kemper Vasquez, Guillermo Leopoldo (0000-0002-7800-7769)

Sanchez Huapaya, Alonso Sebastian (0000-0002-4449-786X)

Lima, 11 de Octubre del 2024

DEDICATORIA

A nuestras familias y seres queridos que nos acompañaron en esta investigación. Estamos muy agradecidos por el constante apoyo y motivación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a nuestros asesores el Dr. Guillermo Kemper y el Msc. Alonso Sánchez por impartir su conocimiento, tiempo y guía constante en el desarrollo de este estudio y su publicación. Además, a la Oficina de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) por darnos las herramientas para continuar con el proyecto que venimos desarrollando desde Pregrado. Así mismo, al Ing. Cesar Osorio del INIA por darnos la oportunidad de poder asumir este reto, brindarnos orientación respecto a las características visuales para determinar la calidad de los cortes de carne de res. Finalmente, al Sr. Máximo Quispe de “La Carnicería” del Centro de Ventas UNALM, quien nos brindó su tiempo, conocimiento, espacio y sus productos para poder realizar nuestras evaluaciones y cumplir los objetivos trazados.

RESUMEN

La presente investigación se basa en el equipo desarrollado por los autores denominado: ‘An electronic equipment for marbling meat grade detection based on digital image processing and support vector machine’, el cual determina el grado de marmoleo de acuerdo a la escala americana utilizando un recinto de acero inoxidable 304 con iluminación uniforme. A continuación, se describen brevemente los aspectos más importantes que justifican la investigación realizada y su contribución:

Análisis y propósito de la investigación: Esta investigación propone determinar el grado de marmoleo en cortes de carne de res de acuerdo a la escala americana en respuesta a la problemática identificada por los investigadores del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), quienes requieren distinguir la calidad de la carne basándose en un estándar internacional sin depender de la evaluación subjetiva de especialistas. Según otros estudios identificados, se emplean computadores de alta gama, procesamiento en la nube o componentes de elevado costo como cámaras hiperespectrales, aditamentos y software de suscripción. Además, se utilizan algoritmos, que combinan procesamiento de imágenes con machine learning, orientados para pruebas en laboratorio sin considerar la implementación de un equipo portátil, la estandarización de los resultados de grasa intramuscular en la región del ojo de lomo ni la utilización en distintos espacios relacionados al rubro ganadero. Por otro lado, estos estudios emplean la precisión como métrica de desempeño de sus modelos, los cuales oscilan entre 60% y 85% con un valor atípico cercano al 100%, el cual destaca por emplear una cámara hiperespectral.

Diseño, metodología y/o aproximación: La solución a la problemática descrita se compone de un recinto portátil de acero inoxidable 304 con una iluminación controlada, capaz de identificar el grado de marmoleo de la región del ojo de lomo en cortes de carne de res de acuerdo con la escala americana e imprimir este resultado para certificar y etiquetar los cortes nacionales en carnicerías y mercados. El recinto cuenta con un computador de placa reducida, el cual, a través de sus periféricos, permiten la adquisición de imágenes en tiempo real. En cuanto al procesamiento, este se realiza localmente utilizando un lenguaje de programación Open-Source (Python) y técnicas de procesamiento de imágenes con un modelo de clasificación SVM, el cual es entrenado con una base de datos de aproximadamente 4900 imágenes adquiridas en el recinto y señalizadas por los especialistas.

Así mismo, se utiliza una métrica de precisión cuyo resultado es mayor al 90%, destacando respecto al desempeño del estado del arte.

Resultados: Se desarrollan tres modelos de clasificación, los cuales son comparados con la evaluación subjetiva de tres carniceros especialistas. Sin embargo, sólo se consideran como Gold Standard, las muestras cuyo análisis por los especialistas es coincidente. Por lo que, la métrica de validación utilizada es el porcentaje de coincidencia entre el Gold Standard y el resultado de los clasificadores (SVM, kNN, Random Forest), encontrándose un mejor desempeño en el SVM con 88.89% de coincidencia. En cuanto al estado del arte, los estudios que tienen mayor precisión emplean componentes o computadores de elevado costo a diferencia de los que obtuvieron una menor precisión respecto a esta investigación, los cuales no consideran un ambiente con iluminación controlada ni equipos sofisticados. A pesar de que se utiliza una cámara RGB de bajo costo, sus desventajas frente a otros componentes se contrarrestan con la construcción de un recinto cerrado con iluminación controlada que permite separar eficientemente la grasa intramuscular del musculo con una precisión de 95.40%.

Principal conclusión: Se reemplaza el método subjetivo de evaluación evitando sesgos en la determinación de la calidad de la carne y, mediante la estandarización de acuerdo con una escala internacional, se obtiene una retroalimentación a los ganaderos para el mejoramiento de los métodos de crianza y alimentación. Respecto al algoritmo propuesto, se logra separar la grasa intramuscular de la carne e identificar el grado de marmoleo satisfactoriamente. En cuanto al estado del arte, el principal aporte técnico es implementar un computador de placa reducida que ejecute, localmente y en tiempo real, el procesamiento de imágenes y la clasificación con una precisión mayor al 90% empleando pocos recursos computacionales. Así mismo, una impresora térmica que permita al usuario imprimir los resultados para uso comercial.

Palabras clave: carne; grado de marmoleo americano; grasa intramuscular; procesamiento de imágenes; SVM

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC EQUIPMENT FOR BEEF MARBLING DETECTION BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING AND MACHINE LEARNING

ABSTRACT

This investigation is based on the previous work done by the authors which is named as ‘An electronic equipment for marbling meat grade detection based on digital image processing and support vector machine’ which determines the marbling grade according to the American scale using a stainless steel 304 enclosure with controlled lightning. The most important features which justify this research, and its contribution are described below:

Analysis and Research Purpose: This research proposes the beef marbling grade detection according to the American scale in response to the issue identified by researchers from the National Institute of Agrarian Innovation (INIA), who require distinguishing the meat quality based on an international standard without depending on the specialists’ subjective evaluation. According to other identified studies, high-end computers, cloud processing or high-cost components such as hyperspectral cameras, peripherals and subscription software are implemented. In addition, algorithms, which combine image processing with machine learning, are used for laboratory testing without considering livestock industry field nor a portable equipment for intramuscular fat standardization in the rib-eye region. However, these studies apply accuracy as their model performance metric, ranging between 60% and 85% with an atypical value close to 100%, standing out for using a hyperspectral camera.

Design, methodology and/or approach: The solution to the described problem consists of a 304 stainless steel portable enclosure with controlled lightning, able to identify the rib-eye’s region marbling grade in beef cuts according to the American scale and to print this result to certify and label national beef in butcher shops and local markets. The enclosure has a small board computer, which, through its peripherals, allows real time image acquisition. As for processing, this is done locally using an Open-Source programming language (Python) and image processing techniques with an SVM classification model, which is trained with a database of approximately 4900 images acquired in the enclosure and labeled by specialists. Likewise, an accuracy metric is used which result is greater than 90% standing out regarding to the state of art performance.

Results: Three classification models are developed, which are compared with the subjective evaluation of three butchers. Nevertheless, only samples where all the butchers have an agreement, are considered as Gold Standard. Therefore, the validation metric used is the coincidence percentage between Gold Standard and the classifiers' outcome (SVM, kNN, Random Forest), having a better performance in the SVM classifier with a coincidence of 88.89%. Regarding the state-of-art in comparison to this research, the studies with greater accuracy use high-cost components or computers unlike to those with lower accuracy which do not consider an environment with controlled lightning nor sophisticated equipment. Even though, a low-cost RGB camera is used, its disadvantages are countered by the enclosure building with controlled lightning that allows an efficient intramuscular fat segmentation, achieving an accuracy of 95.40%.

Main conclusion: The subjective evaluation method is replaced, avoiding biases in determining meat quality and, through standardization according to an international standard, feedback is given to the farmers in order to enhance breeding and feeding methods. Regarding the proposed algorithm, it is possible to extract the intramuscular fat from rib-eye and identify the marbling grade successfully. In terms of the state-of-art, the main technical contribution is to implement a single-board computer which executes, locally and in real time, image processing and classification with an accuracy greater than 90% using few computational resources. Likewise, a thermal printer which allows butchers to print the results for commercial use.

Keywords: meat; american marbling grade; intramuscular fat; image processing; SVM.

u201613416_Enrique Rubén Tabory Inga_Desarrollo de un equipo electrónico orientado a la determinación del grado de marmoleo en cortes de carne de res basado en procesamiento de imágenes y aprendizaje

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	1%
2	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Curtin University of Technology Trabajo del estudiante	1%
5	oeis.org Fuente de Internet	1%
6	Submitted to University of Westminster Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Loughborough University Trabajo del estudiante	<1%
8	animalscience.com.ua Fuente de Internet	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCTION	1
2. MATERIALS AND METHODS	3
2.1 MATERIALS	3
2.2 METHODS	4
2.2.1 Marbling Grades based on the American Standard	4
2.2.2 Description of the equipment hardware and image acquisition	5
2.2.2.1 Visual Interface.....	8
2.2.2.2 Image acquisition.....	8
2.2.3 Image processing and marbling grade classification.....	10
2.2.4 ROI selection and HSV color model conversion	12
2.2.5 Intramuscular fat segmentation	15
2.2.6 Marbling grade classification	18
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	20
4. CONCLUSIONS	25
ANEXOS	26
ANEXO A - ASPECTOS INTRODUCTORIOS DEL PROYECTO	26
ANEXO B - DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA	57
ANEXO C - INFORMACIÓN ADICIONAL.....	63
REFERENCIAS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1 <i>Hardware and software used for American marbling grade classification</i>	3
Table 2 <i>Descriptors for training and testing</i>	18
Table 3 <i>Classifiers' accuracy</i>	22
Table 4 <i>Classifiers' coincidence percentage</i>	23
Table 5 <i>Results comparison with state-of-art</i>	24
Table 6 <i>Zona de evaluación por país</i>	26
Table 7 <i>Soluciones comerciales existentes</i>	30
Table 8 <i>Propiedad intelectual registrada</i>	32
Table 9 <i>Estado del arte</i>	38
Table 10 <i>Aportes de conocimiento</i>	43
Table 11 <i>Cuadro económico total</i>	53
Table 12 <i>Cuadro económico parcial</i>	54
Table 13 <i>Comparación de resultados</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1 <i>Marbling Grades based on the American Standard</i>	5
Figure 2 <i>Pictorial diagram</i>	6
Figure 3 <i>Electronic components' distribution</i>	7
Figure 4 a) <i>Portable 304 stainless steel enclosure design</i> and b) <i>Implemented equipment</i> ..	7
Figure 5 <i>Enclosure's visual interface</i>	8
Figure 6 <i>Implemented enclosure in the working field</i>	10
Figure 7 <i>System's algorithm block diagram</i>	11
Figure 8 <i>Selection of the region of interest (ROI) inside the interface</i>	12
Figure 9 <i>Hue, Saturation and Value histograms</i>	13
Figure 10 <i>Developed mask related to the green contour</i>	13
Figure 11 <i>Region of interest</i>	14
Figure 12 <i>Selected ROI with removed background</i>	15
Figure 13 <i>ROI's grayscale and histogram</i>	16
Figure 14 <i>Peak detection</i>	16
Figure 15 <i>Thresholding</i>	17
Figure 16 <i>Binary mask and opening morphological operation</i>	18
Figure 17 <i>Descriptors and Classifier Block Diagram</i>	20
Figure 18 <i>Confusion matrix for SVM model</i>	21
Figure 19 <i>Confusion matrix for kNN model</i>	21
Figure 20 <i>Confusion matrix for Random Forest model</i>	22
Figure 21 <i>Regions selected and analyzed by the specialists</i>	23
Figure 22 <i>Grados de marmoleo según escala americana</i>	27
Figure 23 <i>Diagrama de bloques de la solución propuesta</i>	44
Figure 24 <i>Producto final terminado</i>	46
Figure 25 <i>Diagrama de Gantt</i>	49
Figure 26 <i>Aplicaciones de la solución propuesta</i>	51
Figure 27 a) <i>Distancia entre la cámara y la base del recinto</i> , b) <i>distancia entre la cámara y la bandeja</i> y c) <i>altura máxima de la muestra de carne</i>	63
Figure 28 <i>Sistema de iluminación con perfiles de aluminio con difusores para tiras LED</i>	64
Figure 29 <i>Umbralización</i>	65
Figure 30 <i>Regiones seleccionadas y analizadas por los especialistas</i>	66

ARTÍCULO EXTENDIDO (JOURNAL PAPER)

1. INTRODUCTION

Cattle breeding has a significant impact in Peru, being considered one of the most important economic activities due to its increasing demand over the years. Consequently, modern cattle production considers several characteristics such as environment, production systems, animal breed and technology levels. According to the Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017; as cited in Marquina et al., 2019), 88% of the cattle population is distributed across all the Peruvian regions. Despite the high percentage of beef cattle in the country, The Creole breed is the most representative with 67% (Sánchez et al., 2019) and has several advantages in contrast to other varieties, such as high disease resistance, high fertility and lower nutritional demands (More, 2016). Evidently, a high meat quality combined with the aforementioned advantages would increase this breed's economic impact for Peruvian cattle producers. The meat's quality is determined by international marbling grade scales such as the Australian, Japanese, Canadian, South Korean and American. In this context, marbling refers to intramuscular fat in the *longissimus dorsi*, where a higher marbling correlates with a higher beef quality. Since 1980s, video-image solutions have been implemented in order to analyze carcass traits along the *longissimus thoracis* without carcass damage (Schulz & Sundrum, 2021). Even though the international grading systems are used in some countries, the classification procedures followed by the specialists in Peru are manual and subjective since they rely on the specialists' experience for visual inspection, who possess limited knowledge about alternative methods involving image processing. Therefore, over the last seven years, several methods have been developed to automate procedures or standardize the marbling grade using engineering techniques.

Da Costa Barbon et al. (2017) developed a Computer Vision System (CVS) and a k-Nearest Neighbors algorithm which analyses beef and pork's rib eye samples without carcass fat by using a high-resolution camera. Despite their strong segmentation based on color variation and contrast, the meat samples must only consider the rib eye area since the camera uses an automatic setting in a non-controlled environment. Sun et al. (2018) also develops a CVS with SVM to determine color and marbling in pork loins using an artificial intelligence

Este trabajo fue aceptado para ser publicado en Cardenas, E., Tabory, E., Sanchez, A., & Kemper, G. (2024). An electronic equipment for marbling meat grade detection based on digital image processing and support vector machine. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(7), 459-473. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.05.001> [Accedido: 27 de Setiembre del 2024]

prediction model based on LAB color model image segmentation with an accuracy of 75%, with the main limitations being the sample's color variation in laboratory tests and the use of a paid software (LabView National Instruments). Stewart et al. (2021) use the Meat Imaging Japan (MIJ) prototype camera system to obtain the intramuscular fat in order to predict the intramuscular fat using the Australian marbling score. They have developed a laser guide which is reflected through an optical system to find, capture the rib eye inside the samples and send them to the MIJ device. The marbling grade is determined by the Beef Analyzer II software and the analysis requires internet connection to function. Velásquez et al. (2017) develop image processing algorithms based on a decision tree method which classifies the beef's marbling level according to the Japanese standard in a laboratory with a non-controlled environment. The image acquisition is controlled by the SpectromPRO paid software; nonetheless, samples must have a thickness of 2cm to avoid lightning issues. Additionally, Kombolo-Ngah et al. (2023) developed prediction models for Australian Marbling Grade in French beef breeds (Limousine and Charolais) based on Near-Infrared Spectrometry (NIRS), using a portable NIR Spectrometer to collect beef spectra samples which serve as inputs to the aforementioned models. Some of the solutions mentioned, classify the intramuscular fat using the Japanese or Australian marbling score. However, these studies apply image processing techniques as CVS and color model segmentation with high-resolution cameras where pictures are taken in non-controlled imaging conditions such as laboratories. Therefore, their use is limited since they do not include any portable enclosures. Additionally, the samples must be previously prepared with a specific thickness and temperature in order to avoid lightning issues. Moreover, the image processing may not be done in real time and requires a paid software.

Taking into account the previously mentioned limitations, this work's main contribution is the development of a portable electronic device with controlled lighting conditions, which uses a single-board computer to determine the meat marbling grade according to the American standard, via image processing techniques and an SVM machine learning model with an accuracy of 95.40% when using a dataset of 4900 images taken with the developed device and labelled by beef specialists.

It is important to note that the solution proposed in this work also responds to a need of researchers at the National Institute of Agrarian Innovation of Peru (INIA-Peru), which requires analyzing the quality of commercial beef based on international standards without

relying on subjective evaluations by specialists. In addition, the use of these standards improves the quality of the information that is returned to cattle producers so that they can adjust their feeding and breeding methods.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

For the hardware and software development, accessible materials and components are considered to build and integrate the enclosure with a single-board computer (SBC) and its peripherals using an open-access software for image processing and marbling grade prediction. Table 1 shows the features considered for the component selection process.

Table 1

Hardware and software used for American marbling grade classification

Feature	Content	Benefit
SBC	Raspberry Pi 4B 8GB	Allows real time processing and control the system's peripherals.
Programming language	Python	Open-access software and a wide variety of libraries that can be applied.
Power Supply	12V 5A	Allow the functionality of the peripherals inside the enclosure.
Camera	Raspberry Pi Camera V2 8MP	Low-cost RGB camera.
Camera sensor	Sony IMX219 ¼" sensor with 3.04mm focal length	Allows to analyze meat samples up to 100 mm thickness.
User interface	10.1" Touchscreen Display	Makes user-machine interaction easier.
Lightning system	12V LED strips inside aluminum profiles with diffusers	Homogenize lightning inside the enclosure.

Printer	Adafruit thermal printer	Easy interaction with python. Prints results for packaging.
Operational mode	Through touchscreen display with stylus pen or by touch.	Easy to use with a friendly user interface.
Enclosure's material	304 stainless steel	Corrosion resistant food grade steel which can be cleaned and disinfected easily.
Enclosure's dimensions (H x W x D)	340 x 220 x 400 mm	Portable.
Enclosure's Weight	13.25 kg	Easy to carry.
Tray's material	400-serie steel	Wear resistant.
Tray's dimensions (H x W x D)	200 x 251 x 127 mm	Easy manipulation.

The equipment is designed to be used in any environment due to its portability and user-friendly interface shown in a wide touchscreen display allowing an easy and fast interaction with specialists.










2.2 Methods

2.2.1 Marbling Grades based on the American Standard

According to the U.S. Department of Agriculture (USDA), the marbling score is divided in 4 quality grades, from USDA Prime to USDA Standard, where USDA Standard is the lowest grade (Meadows, 2013). Figure 1 shows the characteristics of meat in each grade.

Figure 1

Marbling Grades based on the American Standard

MARBLING SCORE		USA
Abundant		USDA Prime
Moderately Abundant		
Slightly Abundant[†]		
Moderate		USDA Choice
Modest		
Small[†]		
Slight[†]		USDA Select
Trace		USDA Standard
Practically Devoid		

Note. Adapted from “Beef Grading”, from Canadian Beef Grading Agency, s.f. (<https://beefgradingagency.ca/livestock-grading-in-canada/beef-grading/>)

Meadows (2013) points out that the Prime grade has abundant intramuscular fat and is produced from young cattle with a strict nutritional diet. For the Choice grade, although it shows slightly less intramuscular fat than Prime grade, it is still considered as a high-quality meat. The Select grade has less juiciness and tenderness than the previous ones and the Standard, which does not have intramuscular fat, is usually sold in markets and processed products.

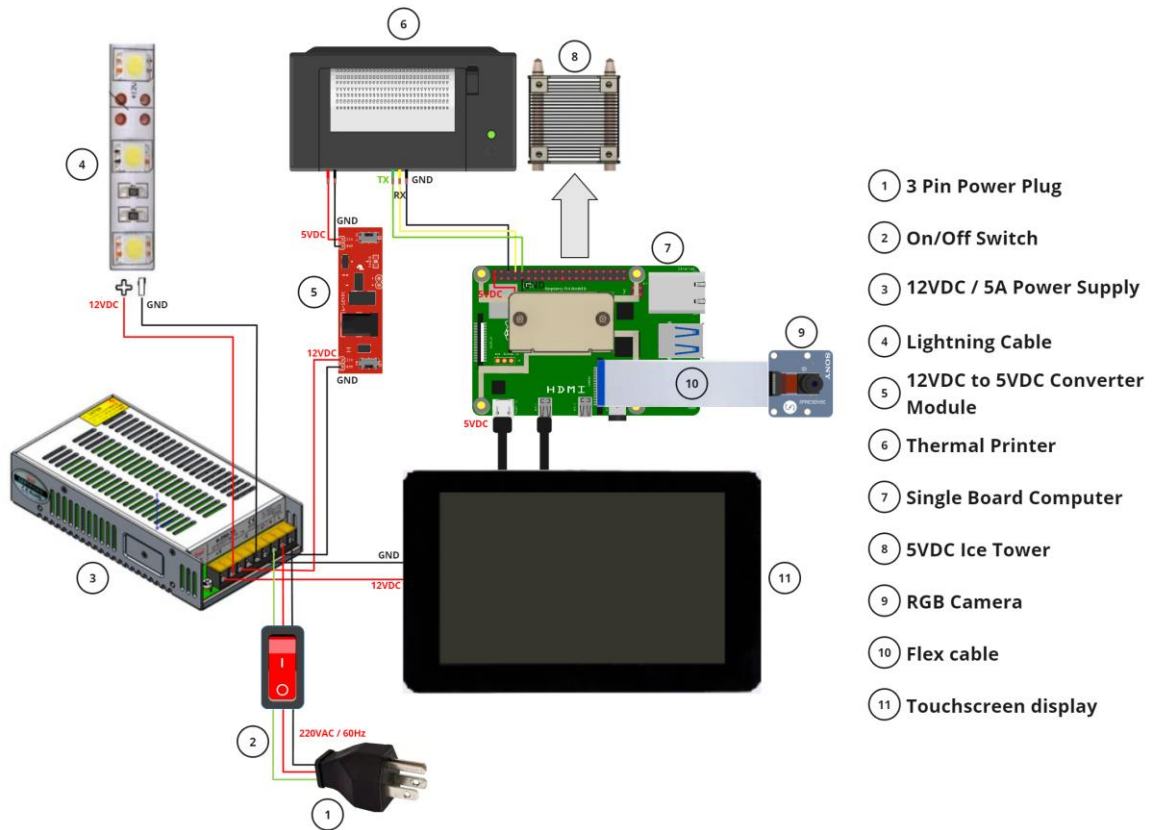
2.2.2 Description of the equipment hardware and image acquisition

Considering the work by Kuchida & Kano (2017) and Salirrosas et al. (2019), which evaluate food quality via a fixed camera with controlled lighting, an enclosure is developed where the electronic components are connected to the single board computer which is embedded in the

touchscreen display. As can be seen in Figure 2, a 12VDC 5A power supply powers the lightning system, the touchscreen display and a 12VDC to 5VDC module which energizes the printer since it needs 1.5A, which is more than the Raspberry Pi's outputs can supply.

Figure 2

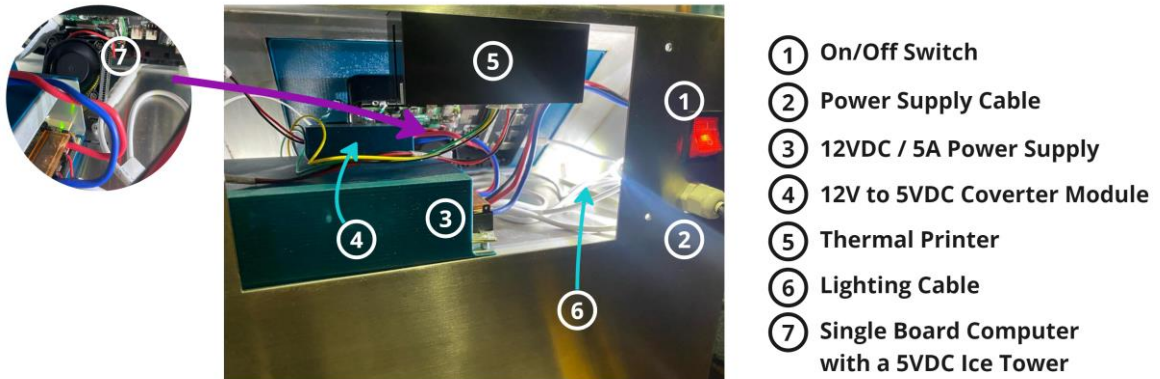
Pictorial diagram



For the enclosure's design, these components are distributed in the upper level, as can be seen in Figure 3, in order to improve the air flow and the equipment's maintenance.

Figure 3

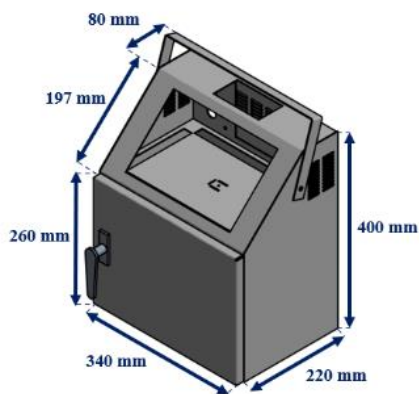
Electronic components' distribution



The equipment's upper level is designed based on the touchscreen's dimensions and its inclination angle to be user-friendly. Since the electronic components are distributed in this level, the printer is located at the top level to ease user's manipulation and ventilation grills are implemented on each side to guarantee the correct air flow. Furthermore, a handle is installed to secure the enclosure's transportation. On the other hand, the lower level's measures, see Figure 4, are determined by the distance between the tray and the camera's sensor which will be explained in the following sections.

Figure 4

a) Portable 304 stainless steel enclosure design and b) Implemented equipment



a)



b)

2.2.2.1 Visual Interface

A 10.1” Raspberry Pi touchscreen is located at the top front of the enclosure. This touchscreen is used to display the visual interface, see Figure 5, which contains a panel with four buttons as “Capture”, “Evaluate”, “Reset” and “Print” and a label which outputs the evaluated area, the system panel, the IMF (intramuscular fat) percentage and the American marbling grade.

Figure 5

Enclosure’s visual interface



2.2.2.2 Image acquisition

A RGB Raspberry Pi camera V2 8MP with a Sony IMX219 ¼” sensor, 3.04mm focal length and a 3280x2464 pixel resolution is selected and installed inside the enclosure’s center top lower area. However, for the image acquisition, this camera is configured with a 1504x1040 pixel resolution, non-auto white balance (AWB) setup and 1.6 gain for the red and blue channels. Furthermore, based on the camera’s characteristics, the enclosure’s bottom measures are calculated with the following equations according to Channel Systems (s.f.):

$$h = \frac{3.6 \times l}{f} \quad (1)$$

$$v = \frac{2.7 \times l}{f} \quad (2)$$

Where f is the lens focal length in millimeters, l is the distance from the lens to the enclosure's base, h and v are the horizontal and vertical dimensions of the base, respectively. h, v, l must have the same units. In consequence, for the camera's focal distance and using a lens distance to the base of 250 mm (235 mm considering the tray's elevation) the following measures are calculated using the distance between the base and the camera as a reference:

$$h = \frac{3.6 \times 250}{3.04} = 296 \text{ mm} \quad (3)$$

$$v = \frac{2.7 \times 250}{3.04} = 222 \text{ mm} \quad (4)$$

To facilitate the tray's manipulation, which has a dimension of 200 x 251 x 127 mm, the enclosure's horizontal dimensions are extended by 20 mm in each side. Additionally, its height is defined as 260 mm since the camera's case thickness is 10 mm. As a result, the inside lower-level measures were 340 x 220 x 260 mm. Regarding the lightning system, 12V LED strips are placed inside of four aluminum profiles with diffusers distributed along the top of the enclosure's lower level. The diffusers are used to achieve a uniform light distribution over the acquisition area; hence the lighting's brightness is reduced over the tray. As can be seen in Figure 6, the enclosure and the tray are made of 304 stainless steel and 400-serie steel, respectively, due to their interaction with meat. Moreover, the upper level is designed to support the electronic devices such as the power source, the printer, the lightning system, the 10.1" touchscreen with an embedded SBC. Therefore, the final enclosure's measures are 340 x 220 x 400 mm with a handle which makes it portable.

Figure 6

Implemented enclosure in the working field

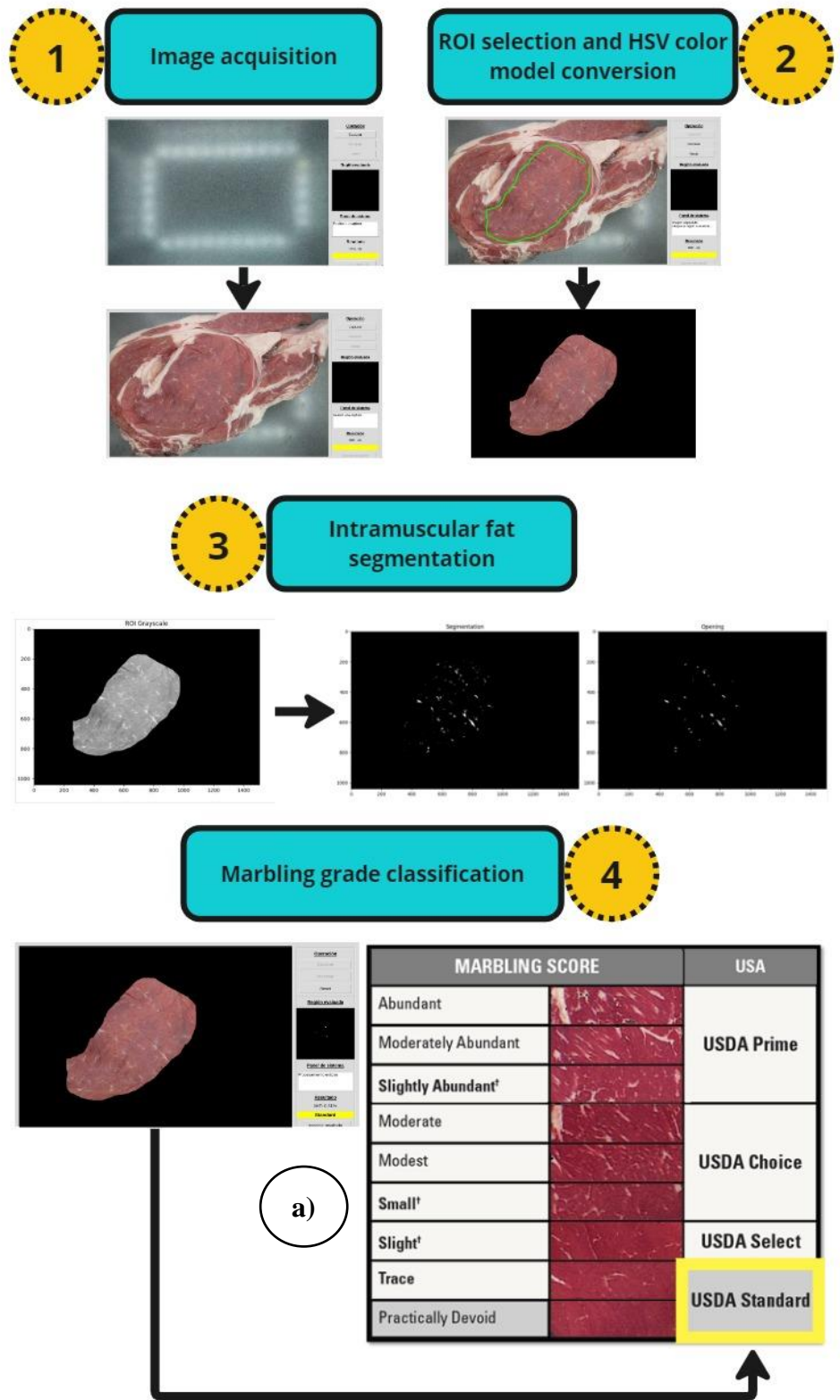


2.2.3 Image processing and marbling grade classification

The parts that make up the processing sequence of the acquired images, until the classification and visualization of the detected marbling grade are shown in Figure 7.

Figure 7

System's algorithm block diagram



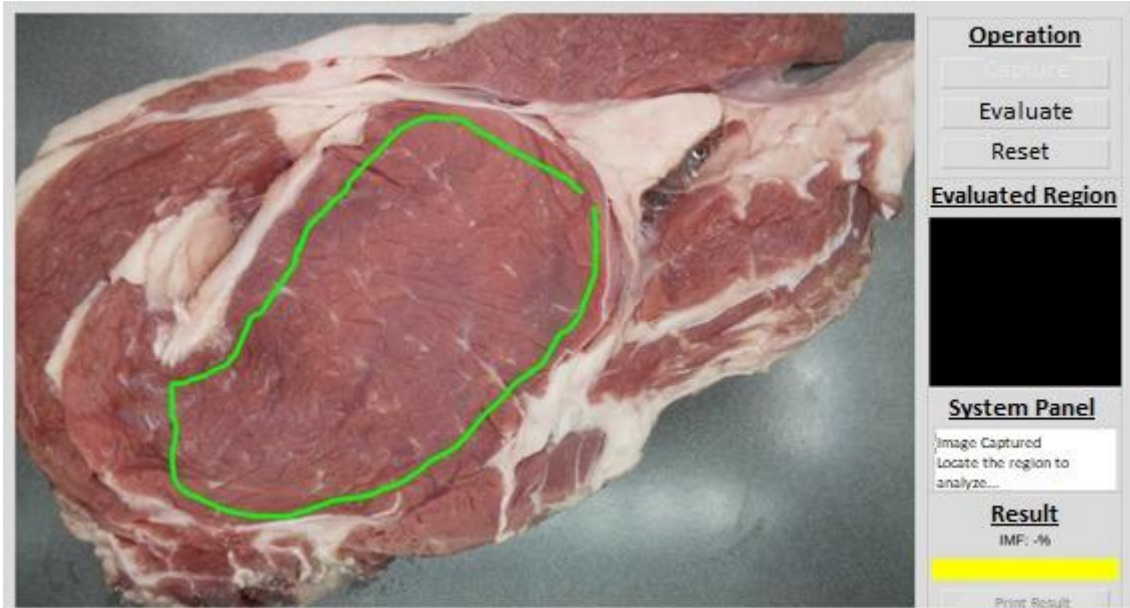
^aCanadian Beef Grading Agency (s.f.)

2.2.4 ROI selection and HSV color model conversion

Step 1: Once the user placed the meat sample on the tray, inserted them into the enclosure and closed its door, the button “Capture” must be pressed to manually draw and select the ROI inside the ribeye as can be seen in Figure 8.

Figure 8

Selection of the region of interest (ROI) inside the interface



Step 2: For its further processing, the original image in BGR format is converted to the HSV (Hue-Saturation-Value) color model, according to Gonzales and Woods (2018), to analyze its histograms illustrated in Figure 9 and detect the green contour marked by the user. The Hue component is defined as $H(x, y)$, the Saturation is $S(x, y)$ and the Value, $V(x, y)$.

Step 3: To extract the region of interest, which is inside the green contour mark, a thresholding mask $Mask1$ was developed according to equation 5 (see update in Annex C) and shown in Figure 10.

$$Mask1(x, y) = \begin{cases} 0, & H(x, y) = 60 \wedge \\ & S(x, y) = 255 \wedge \\ & V(x, y) = 255 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Figure 9

Hue, Saturation and Value histograms

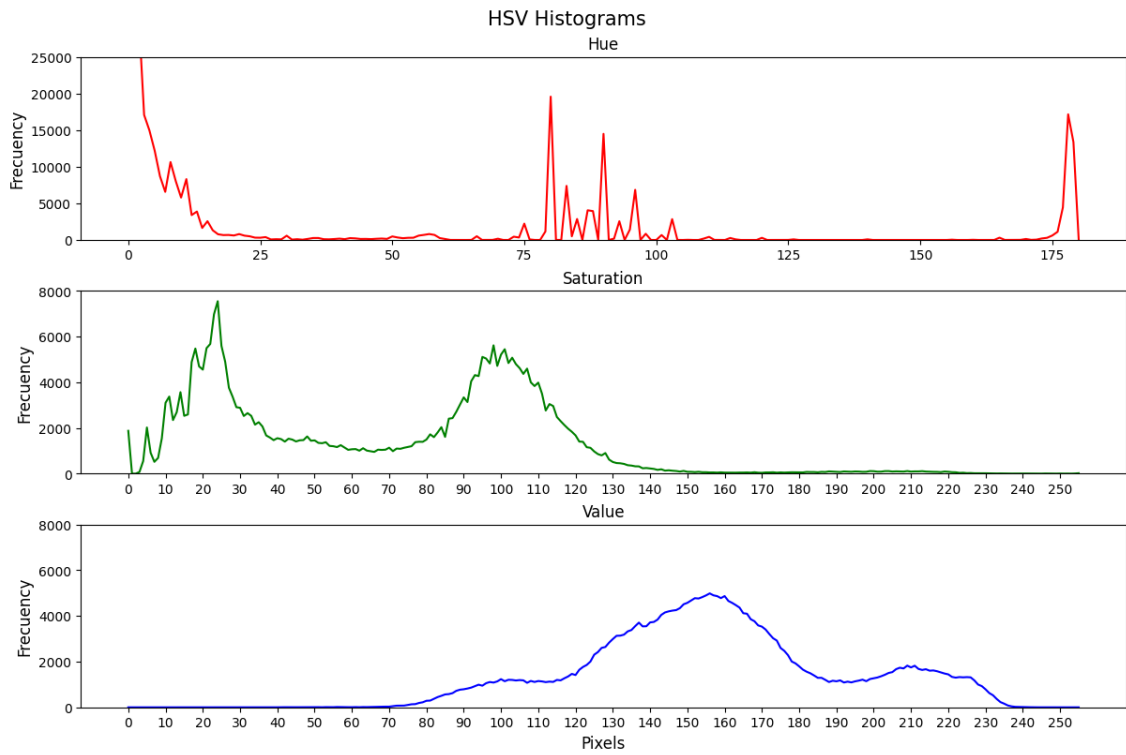
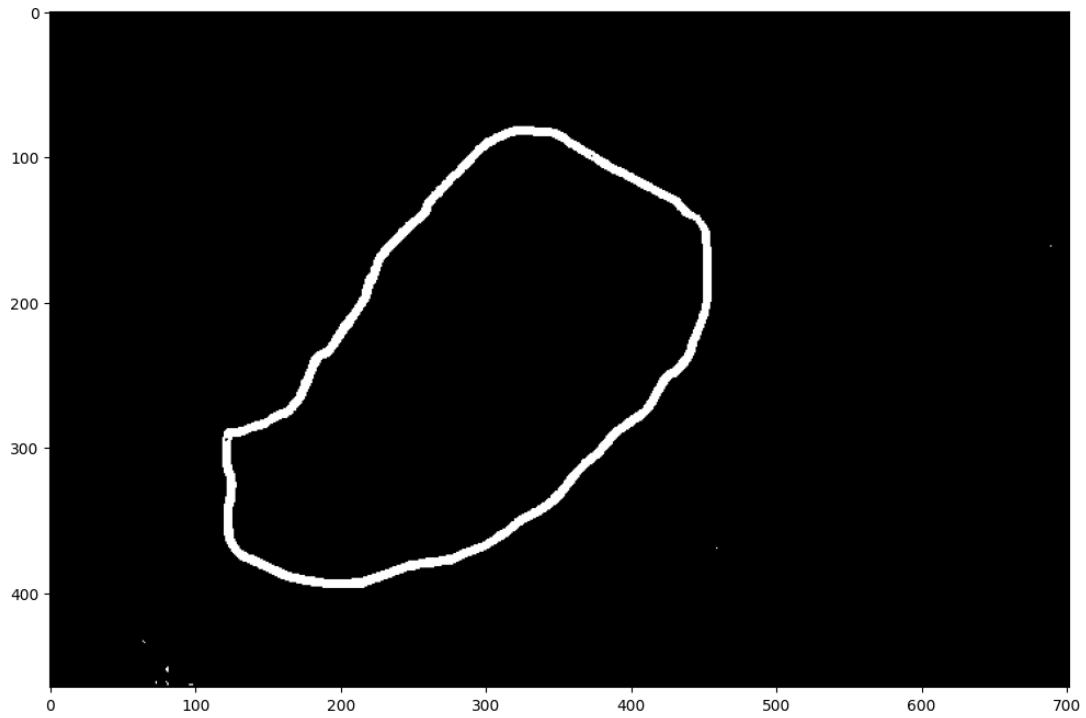


Figure 10

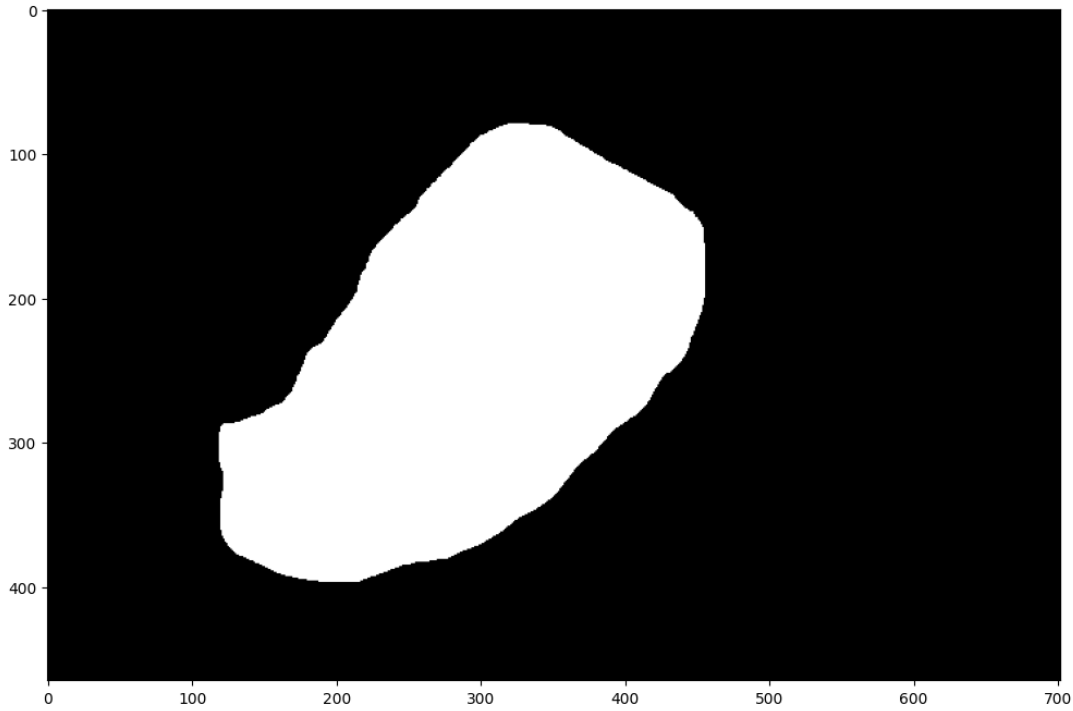
Developed mask related to the green contour



Step 4: In order to fill the ROI's contour, an image *Mask2* with same shape as the original mask is created, thus the ROI is delimited and isolated from the background for its further segmentation as it is seen in Figure 11.

Figure 11

Region of interest



Step 5: The Figure 12 is the result of applying the *Mask2* over the BGR original image with the following equations (Quispe et al., 2020).

$$I_{BB}(x, y) = I_B(x, y) \cdot \text{Mask2}(x, y) \quad (6)$$

$$I_{GG}(x, y) = I_G(x, y) \cdot \text{Mask2}(x, y) \quad (7)$$

$$I_{RR}(x, y) = I_R(x, y) \cdot \text{Mask2}(x, y) \quad (8)$$

Figure 12

Selected ROI with removed background



2.2.5 Intramuscular fat segmentation

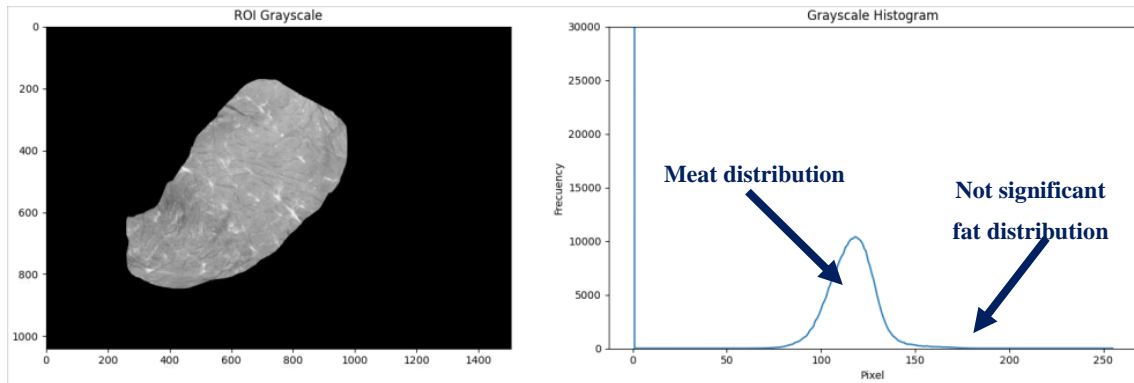
Step 1: As the ROI is extracted from the original image, it is converted to grayscale using the equation 9 with the BGR image components in equations 6,7 and 8.

$$I_{gray}(x, y) = 0.114 \cdot I_{BB}(x, y) + 0.587 \cdot I_{GG}(x, y) + 0.299 \cdot I_{RR}(x, y) \quad (9)$$

Step 2: Since the histogram behavior can be analyzed according to the meat's fat and color distribution, two peaks' positions are identified. The left peak is related to the presence of meat in the sample, while the right one is the amount of fat. Still, if the meat is predominant over the fat, the left peak will be more significant in the histogram, as can be seen in Figure 13.

Figure 13

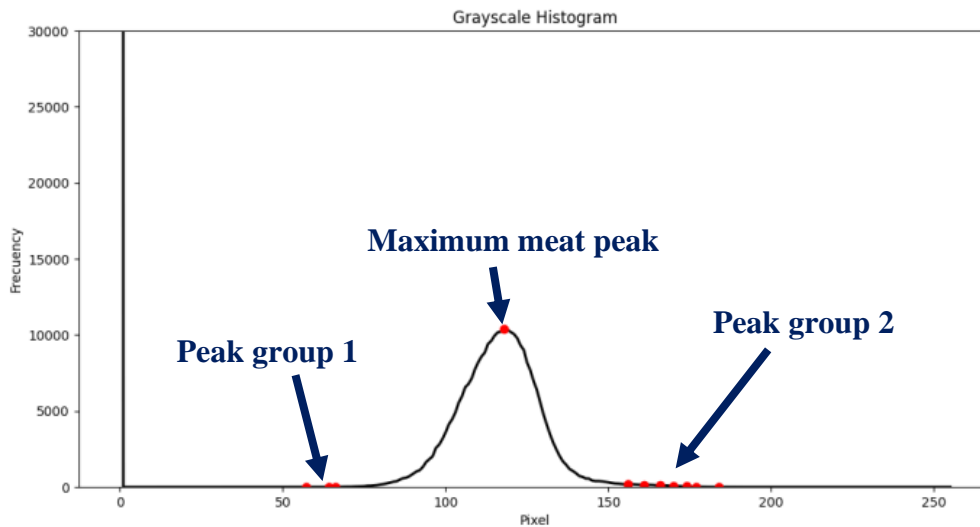
ROI's grayscale and histogram



Step 3: For the segmentation, to identify the threshold value, a peak detection method is needed since the relationship between the fat and meat inside the ROI have a particular distribution. Then, several peaks are detected. See Figure 14.

Figure 14

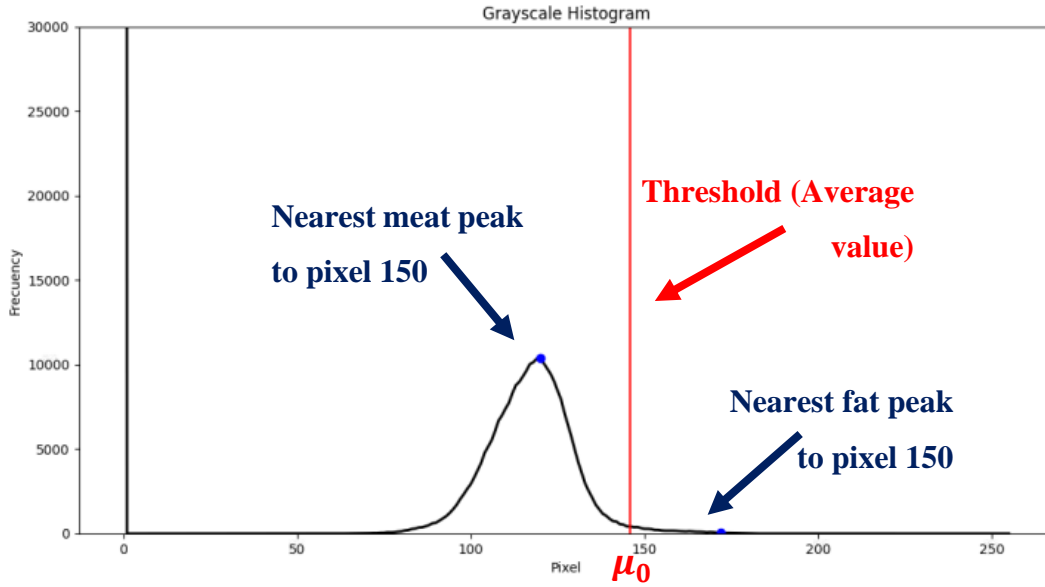
Peak detection



Step 4 (See update in Annex C): According to the histograms' distributions, the division of both areas (meat and fat) is around a pixel intensity of 150. Hence, to determine the threshold between the meat and fat peaks, it is necessary to group the nearest peaks, represent them with the middle value and choose the nearest one to the division pixel intensity (150). The nearest meat and fat peaks are defined as P_m and P_f , respectively. Thus, the average pixel μ_0 in equation 10 will be used as a threshold for image binarization as can be seen in Figure 15.

$$\mu_0 = \frac{P_m + P_f}{2} \quad (10)$$

Figure 15
Thresholding

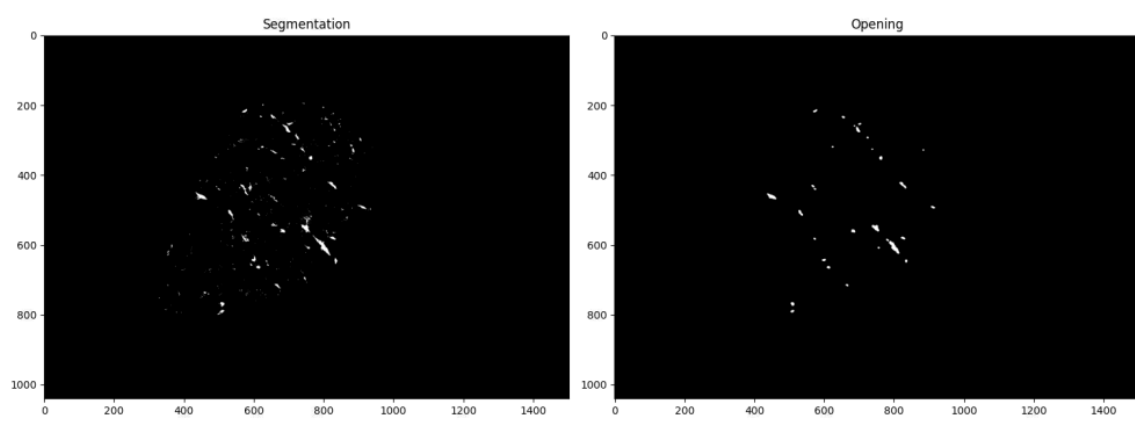


Step 5: After thresholding, undesired regions still appear, which are eliminated via a morphological opening operation. Equation 11 is applied to the mask **Mask3** with a 5x5 elliptical kernel $\mathbf{k}_{5 \times 5}$ due to its similarities with the intramuscular fat shape, as can be seen in Figure 16.

$$\mathbf{Mope} = (\mathbf{Mask3} \ominus \mathbf{k}_{5 \times 5}) \oplus \mathbf{k}_{5 \times 5} \quad (11)$$

Figure 16

Binary mask and opening morphological operation



A labeling algorithm (Gonzales & Woods, 2018) is applied over the binarized image represented by the **Mope** matrix, to segment each white object and determine its area from the pixel's numbers. The area from each object “ n ” obtained is named as A_n . These areas are used to determine the classifier input descriptors since they represent the fat distribution along the ROI.

2.2.6 Marbling grade classification

For this stage, 4921 ROI samples are divided into two groups, 70% for training and 30% for testing, using stratification to avoid sampling problems, overfitting or underfitting. In order to obtain more than 1000 samples per grade and a more balanced dataset, the dimensions considered are 150 x 150 pixels. Furthermore, the following descriptors for a $M \times N$ image mentioned in Table 2 are considered as input features for the classification model since these variables can be extrapolated to bigger and non-rectangular-shaped ROIs drawn by the specialists through the visual interface. Also, the equations related to the descriptors are expressed mathematically and through a block diagram as it can be seen in Figure 17.

Table 2

Descriptors for training and testing

Descriptors	Variable Type	Explanation
<i>IMF</i>	Independent	Fat percentage inside the ROI
<i>Mper</i>	Independent	Meat percentage inside the ROI

<i>Minper</i>	Independent	ROI's minimum fat area percentage
<i>Maxper</i>	Independent	ROI's maximum fat area percentage
<i>Mgrade</i>	Dependent	Marbling grade

$$IMF = \left(\frac{1}{M \times N} \sum_{n=1}^P A_n \right) \times 100 \quad (12)$$

$$Mper = 100 - IMF \quad (13)$$

$$Minper = \frac{A_{n_0}}{M \times N} \times 100 \quad (14)$$

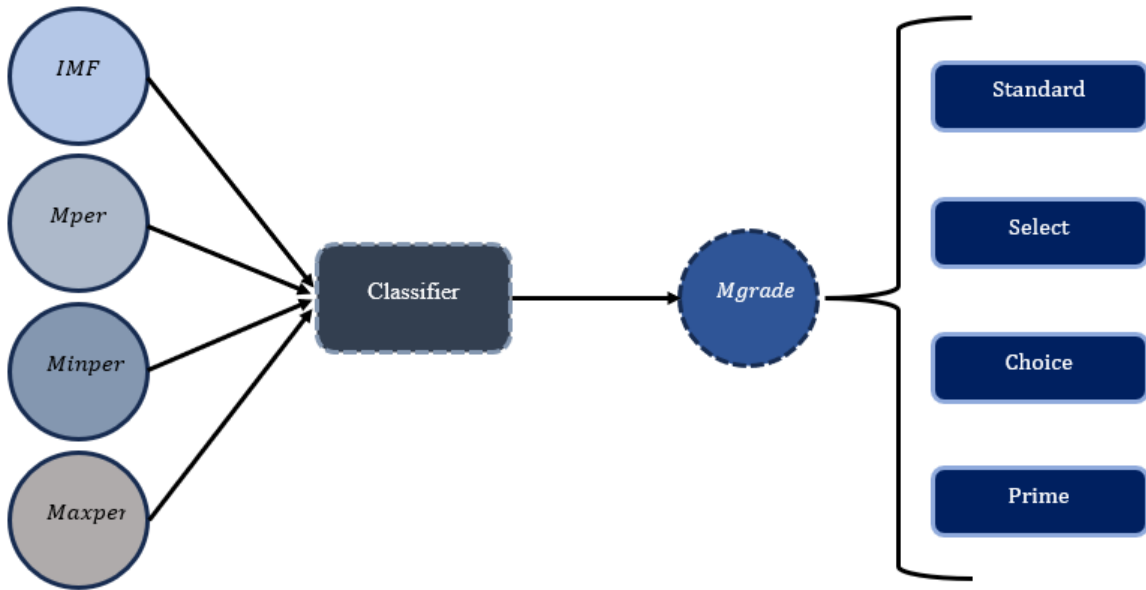
where $A_{n_0} < A_n \quad \forall n \neq n_0$

$$Maxper = \frac{A_{n_1}}{M \times N} \times 100 \quad (15)$$

where $A_{n_1} > A_n \quad \forall n \neq n_1$

Figure 17

Descriptors and Classifier Block Diagram



Therefore, the selected classifier is SVM since it can perform multi-class classification. The model is used with a linear kernel and a C hyperparameter set to 1. This value is inversely proportional to the regularization strength of the model. Since the marbling grades can be separated linearly, a small-margin hyperplane is not required, which guided the choice of C.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In addition to the SVM, k-Nearest Neighbors (kNN) and Random Forest classifiers were considered to evaluate and compare their performance and their accuracies as are shown in Figures 18, 19, 20 and Table 3.

Figure 18*Confusion matrix for SVM model*

SVM model					
TARGET \ OUTPUT	Standard	Select	Choice	Prime	SUM
Standard	504 34.12%	7 0.47%	2 0.14%	0 0.00%	513 98.25% 1.75%
Select	10 0.68%	258 17.47%	15 1.02%	3 0.20%	286 90.21% 9.79%
Choice	0 0.00%	9 0.61%	304 20.58%	10 0.68%	323 94.12% 5.88%
Prime	0 0.00%	1 0.07%	11 0.74%	343 23.22%	355 96.62% 3.38%
SUM	514 98.05% 1.95%	275 93.82% 6.18%	332 91.57% 8.43%	356 96.35% 3.65%	1409 / 1477 95.40% 4.60%

Figure 19*Confusion matrix for kNN model*

kNN model					
TARGET \ OUTPUT	Standard	Select	Choice	Prime	SUM
Standard	502 33.99%	9 0.61%	2 0.14%	0 0.00%	513 97.86% 2.14%
Select	7 0.47%	263 17.81%	11 0.74%	5 0.34%	286 91.96% 8.04%
Choice	1 0.07%	12 0.81%	304 20.58%	6 0.41%	323 94.12% 5.88%
Prime	0 0.00%	5 0.34%	6 0.41%	344 23.29%	355 96.90% 3.10%
SUM	510 98.43% 1.57%	289 91.00% 9.00%	323 94.12% 5.88%	355 96.90% 3.10%	1413 / 1477 95.67% 4.33%

Figure 20*Confusion matrix for Random Forest model*

Random Forest model					
TARGET \ OUTPUT	Standard	Select	Choice	Prime	SUM
Standard	504 34.12%	7 0.47%	2 0.14%	0 0.00%	513 98.25% 1.75%
Select	1 0.07%	267 18.08%	15 1.02%	3 0.20%	286 93.36% 6.64%
Choice	0 0.00%	6 0.41%	312 21.12%	5 0.34%	323 96.59% 3.41%
Prime	0 0.00%	1 0.07%	13 0.88%	341 23.09%	355 96.06% 3.94%
SUM	505 99.80% 0.20%	281 95.02% 4.98%	342 91.23% 8.77%	349 97.71% 2.29%	1424 / 1477 96.41% 3.59%

Table 3*Classifiers' accuracy*

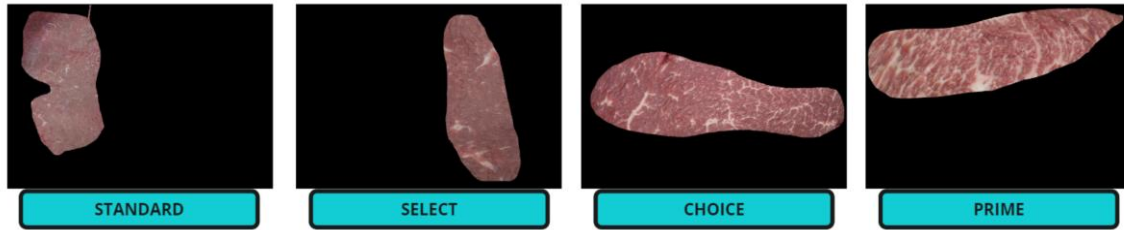
Classifier	Accuracy
SVM	95.40%
kNN	95.67%
Random Forest	96.41%

Regarding the classifiers' performance, for the Standard grade, the SVM and Random Forest classifiers outstand with an accuracy of 98.25%. For the Select grade, the Random Forest model is the best with an accuracy of 93.36%. For the Choice grade, SVM and kNN models had less accuracy than Random Forest. For the Prime grade, the kNN model outstands with an accuracy of 96.90%. Despite these differences, their accuracies have a variation of around +/- 2%, which is not very significant. The best model may be chosen after executing the validation process, where they are compared with the specialists' quality grades. For the

validation process, the following images shown in Figure 21 are the most representative samples for each marbling grade.

Figure 21

Regions selected and analyzed by the specialists



For the validation process, 56 samples are analyzed by the specialists disagreeing in only two samples according to their visual evaluation. The remaining samples are considered as Gold Standard since the three specialists analyzed the samples and agreed on their marbling grade choices. This is reflected as a coincidence percentage Cp , shown in equation 16 and Table 4.

$$Cp = \frac{\text{Number of coincidences between equipment and specialists}}{\text{Number of Gold Standard samples}} \times 100 \quad (16)$$

Table 4

Classifiers' coincidence percentage

Classifier	Number of coincidences	Coincidence percentage
SVM	48	88.89%
kNN	47	87.04%
Random Forest	47	87.04%

As a result, according to Table 4, the SVM classifier outperforms the other models with an 88.89% of coincidence.

Table 5*Results comparison with state-of-art*

Reference	Marbling grade standard	Performance
Da Costa Barbon et al. (2017)	Not specified	Accuracy of 81.59%
Kombolo-Ngah et al. (2023)	Australian Marbling Grade	Accuracy of 61%
Lee et al. (2022)	South-Korean Marbling Grade	Correlation coefficient of 0.952
Pinto et al. (2023)	Not specified	Accuracy of 83.05%
Sun et al. (2018)	Not specified	Accuracy of 75%
Velásquez et al. (2017)	Japanese Marbling Grade	Accuracy of 99.92%

Although the developed equipment has a lower accuracy than Velásquez et al. (2017), the aforementioned work uses a hyperspectral camera which provides more characteristics than the RGB camera used in this work. Nonetheless, the present work uses a larger dataset for training and testing to identify the intramuscular fat variations, since this characteristic has a random nature. Moreover, the employed RGB camera is low-cost rather than the hyperspectral camera and it is used in an environment with controlled lightning which helps to balance the sensor's behavior and ease the image segmentation. Additionally, the work from Kombolo-Ngah et al. (2023) achieved a prediction accuracy of 61% based on their NIR models, which is the lowest performance of the state-of-art results. They mention that using image processing algorithms would increase the accuracy of their proposed method comparing their study to Velásquez et al. (2017) by emphasizing their high accuracy related to the use of a hyperspectral camera. Regarding Da Costa Barbon et al. (2017) and Sun et al. (2018), they do not use an international standard and their models' accuracies are below 90%. Furthermore, their evaluations are done in non-controlled environments and their equipment are limited to laboratory testing. On other hand, Lee et al. (2022) use a different metric for marbling classification and the image acquisition was done by a mobile phone (Apple iPhone 8), gathering more than 10k samples. Even though it has a high correlation

coefficient, the images were processed in a high-performance computer instead of using a SBC; consequently, it is designed for laboratory purposes. Equivalently, Pinto et al. (2023) also requires a high-end computer for image processing, since a Decision Tree and Random Forest algorithm are developed. Despite Random Forest has an accuracy more than 80%, for a SBC, it requires more computational load. Meanwhile, the device proposed in this paper works for laboratory settings, production and distribution centers and even field quality control applications due to its portability and controlled image acquisition conditions.

4. CONCLUSIONS

In this study, a portable 304 stainless steel enclosure with a controlled lighting system was made to determine meat quality according to the American marbling grade. Moreover, a friendly user interface was designed to facilitate interaction with the specialists since they are able to manually select the ribeye on the picture taken from the sample inside the enclosure. For a correct marbling grade acquisition, the specialists must recognize the ribeye section inside the samples. Besides, the marbling grade result is determined locally in real-time and can be printed for commercial purposes. Even though the Random Forest classifier is more accurate, it has a poor performance when it comes to comparing with the specialists; hence, having a higher accuracy does not mean that the model will predict efficiently the marbling grade. Finally, the samples are stochastic, the proposed algorithm efficiently separates the intramuscular fat from the meat and identifies the marbling grade with an accuracy of 95.40% and a coincidence percentage of 88.89% regarding the specialists' sample evaluation.

The proposed equipment analyses intramuscular fat in beef cattle and could be improved by considering other features such as meat and carcass fat coloration, which are part of the determination of meat quality. According to the specialists, fat patterns inside the ribeye are correlated to the cattle's breed; hence, future research could also analyze these patterns in order to provide consumers with more information about the acquired meat, regarding quality and breed.

ANEXOS

ANEXO A - ASPECTOS INTRODUCTORIOS DEL PROYECTO

A continuación, se explican los conceptos más importantes a considerar, la descripción de la problemática, el estado de arte, productos y soluciones comerciales existentes. Además, la propiedad intelectual registrada y las publicaciones científicas, identificando el aporte de innovación, contribución, objetivos, tanto general como específicos con su cronograma en diagrama de Gantt, alcance y viabilidad.

A.1. Breves conceptos, fundamentos y definiciones teóricas introductorias

A.1.1. Región del ojo de lomo

Es definido como el espacio donde se distribuye visiblemente la cantidad de grasa intramuscular. De acuerdo con Cheng et al. (2015), esta región se extrae del corte realizado en una posición del músculo *longissimus dorsi*, por lo que países como Australia, Japón y Estados Unidos poseen distintas zonas de evaluación como se visualiza en la Tabla 6.

Table 6

Zona de evaluación por país

País	Tipo de carne	Zona de evaluación
E.E.U.U.	Res	Entre la 12va y 13va costilla
Japón	Res	Entre la 6ta y 7ma costilla
Australia	Res	Entre la 5ta y 13va costilla

Nota. De “Marbling analysis for evaluating meat quality: methods and technics”, por W. Cheng, J. H. Cheng, D. W. Sun y H. Pu, 2015. (<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12149>)

A.1.2. Marmoleo de la carne

El marmoleo es considerado como una de las características más importantes para determinar la calidad de la carne y es un factor primario para los países desarrollados donde hay una correlación entre este y el precio (Platter et al., 2005, como se cita en Torrescano et al., 2017). Además, se encuentra dentro de la región del ojo de lomo y está asociado a la cantidad de grasa intramuscular. Los métodos convencionales para identificar la cantidad de marmoleo están asociados a la apreciación visual y a los análisis químicos, los cuales tienen la desventaja de ser demandantes de tiempo y ser subjetivos. Según Caridade et al. (2020), mencionan que, actualmente, aquellos métodos están siendo reemplazados por técnicas más

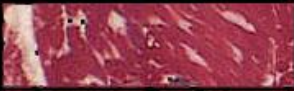








avanzadas para cuantificar la grasa intramuscular. Sin embargo, estos son de costo elevado e invasivos.

A.1.3. Escala Americana

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el grado de marmoleo se divide en 4 grados de calidad desde USDA Prime hasta USDA Standard, donde USDA Standard representa el menor grado (Meadows, 2013). En la Figura 22. se muestra las características asociadas para cada grado.

Figure 22

Grados de marmoleo según escala americana

MARBLING SCORE		USA
Abundant		USDA Prime
Moderately Abundant		
Slightly Abundant[†]		
Moderate		USDA Choice
Modest		
Small[†]		
Slight[†]		USDA Select
Trace		USDA Standard
Practically Devoid		

Nota. Adaptado de “Beef Grading”, de Canadian Beef Grading Agency, s.f. (<https://beefgradingagency.ca/livestock-grading-in-canada/beef-grading/>)

Meadows (2013) menciona que el USDA Prime tiene abundante grasa intramuscular y es el resultado de terneras con estricta dieta nutricional. Para el grado Choice, a pesar de que muestra menos grasa intramuscular respecto al grado Prime, también es considerado como

carne de alta calidad. Respecto al grado Select, este posee menos jugosidad y suavidad respecto a los grados previamente mencionados. Finalmente, el grado Standard no posee grasa intramuscular, sin embargo, es el que usualmente se vende en los mercados nacionales y es utilizado en productos procesados.

A.2. Descripción de la situación problemática del proyecto

La situación problemática se identifica en el Área de Ganadería del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, s.f.) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, situada en la Avenida La Molina 1981 - La Molina, Lima 12, Perú, el cual se encarga de elevar el nivel tecnológico de la investigación ganadera en el país mediante métodos de mejoramiento genético entre los cuales resaltan la fecundación in vitro, inyección intracitoplasmática, multiovulación de embriones. En la actualidad, en la etapa ante-mortem, el ganado se evalúa con un ecógrafo para poder analizar el grado de marmoleo o cantidad de grasa intramuscular en la zona dorsal, lo cual permite estimar su calidad. En la etapa post-mortem, se extrae el área que converge la pierna y la costilla y se procede a realizar el corte transversal entre la sexta y séptima costilla para que finalmente, mediante la vista, se calcule el porcentaje de grasa infiltrada o grado de marmoleo en el ojo de lomo, lo cual evidencia un análisis basado en el criterio del especialista encargado. En consecuencia, al no tener un estándar definido, se requiere de la implementación de un sistema capaz de detectar y clasificar el grado de marmoleo de cualquier raza criada en el Perú, basándose en una escala de marmoleo internacional.

A.3. Estado del arte y aportes de innovación y conocimiento



Da Costa Barbon et al. (2017) desarrollan un sistema de visión computacional (CVS) y un algoritmo del vecino K más cercano, donde se analizan muestras del longissimus thoracis de cerdo y de res sin grasa de carcasa mediante una cámara de alta resolución. A pesar de realizar una buena segmentación basada en la variación de color y contraste, las muestras sólo deben contemplar el ojo de lomo, ya que la cámara utiliza segmentación automática en un ambiente no controlado. Sun et al. (2018) también desarrollan un CVS con SVM para determinar el color y marmoleo en lomo de cerdo utilizando un modelo de predicción basado en una segmentación de imagen utilizando el modelo de color LAB con una precisión de 75%, con la principal limitación de la variación de los colores de las muestras en las pruebas de laboratorio y el uso de un software de pago (LabView National Instruments). Stewart et al. (2021) desarrollan una guía láser, la cual es reflejada a través de un sistema óptico, para

encontrar y capturar el ojo de lomo dentro de las muestras utilizando la cámara del Meat Image Japan (MIJ), enviándolas a su servidor y prediciendo la grasa intramuscular conforme a la escala de marmoleo australiana mediante el software Beef Analyzer II. Sin embargo, este análisis requiere conexión a internet para su operatividad. Velásquez et al. (2017) desarrollan un algoritmo de procesamiento de imágenes basado en un método de árbol de decisión, donde clasifican el marmoleo de carne de acuerdo con el estándar japonés en un espacio con iluminación no uniforme. La adquisición de imagen es controlada por el software de pago SpectronomPRO, sin embargo, las muestras deben tener un espesor de 2cm para evitar problemas de iluminación. Entonces, se puede afirmar que algunos estudios clasifican la grasa intramuscular utilizando la escala japonesa o australiana. No obstante, al no utilizar un recinto portátil, su uso es limitado. Adicionalmente, las muestras deben ser previamente preparadas con un grosor y temperatura específica para evitar problemas de iluminación. De igual manera, puede que las imágenes no sean procesadas en tiempo real y requieran un software pagado.

A.3.1. Productos y soluciones comerciales existentes

Table 7

Soluciones comerciales existentes

N°	Producto	Fabricante y costo	Función	Ventajas	Desventajas
1	Cámara MIJ-30 ^a 	MEAT IMAGE JAPAN Aprox. \$35,000 (subasta)	Dispositivo capaz de identificar automáticamente el ojo de lomo y analizar más de 10 elementos como el contenido de la grasa, BMS, BCS, etc. Estos datos son recopilados y procesados para mejorar la calidad de la carne bovina.	<ul style="list-style-type: none"> • Es portátil. • Puede capturar más de 200 imágenes por hora. • Base de datos robusta en la nube. 	<ul style="list-style-type: none"> • El procesamiento sólo se realiza en la nube. • Adquisición limitada (sólo a entidades relacionadas al MIJ-lab).
2	SR-3500 ^b 	SPECTRAL EVOLUTION Costo: \$60,000	Espectroradiómetro capaz de medir la ternura de la carne de res de una forma rápida y no invasiva en cualquier lugar mediante una configuración de detector de tres matrices que cubran todo el espectro	<ul style="list-style-type: none"> • Es ligero y fácil de transportar. • Captura rápida y no invasiva. • Datos guardados en archivos ASCII para 	<ul style="list-style-type: none"> • Para analizar los datos obtenidos, se necesitan paquetes de software de terceros. • Accesorios con elevado costo. (Luz

3

Aloka SSD 500V^c



BIOTRONICS

Software:

Sin Costo

Hardware:

\$10,000

UV/VIS/NIR.

Es un software especializado en el análisis de ecografías de animales vivos para determinar la cantidad de marmoleo presente en el músculo de la zona del lomo.

uso inmediato (No necesita pre-procesamiento)

halógena - \$6,000 aprox)

- Prueba sencilla y no invasiva.
- Requiere de hardware para hacer las pruebas.
- Por el momento, es compatible solo con Aloka SSD 500V.
- Requiere un especialista para operar el ecógrafo.

^aMeat Image Japan (s.f.). ^bSpectral Evolution (2020). ^cBiotronics-Inc. (2021).

A.3.2. Propiedad intelectual registrada

Table 8

Propiedad intelectual registrada

N°	Nombre de la invención	Instituto de registro y N° de patente	Breve descripción	Innovaciones que se podrían adicionar
1	Método, sistema y dispositivo de clasificación de carne fresca basado en el marmoleo. ^a	Universidad China Agrícola CN201910626413	Esta invención comprende la adquisición y clasificación de una imagen de carne fresca. El modelo de clasificación se basa en un conjunto de muestras etiquetadas de acuerdo con un grado según una tabla de datos. El dispositivo comprende una unidad de adquisición de las imágenes y una faja transportadora.	Diseñar un recinto con iluminación controlada de tal forma que favorezca la captura de las muestras a medida que pasen a través de este.
2	Método de inspección de marmoleo en carne comestible. ^b	Universidad de Agricultura y Medicina Veterinaria de	Esta invención utiliza un método para identificar el marmoleo a lo largo de una sección transversal	Implementar el algoritmo en un procesador de placa reducida para realizar la clasificación en

	Obihiro AU20130321855	de una carne comestible que comprende la extracción del ojo de lomo por procesamiento de imágenes, separar el ojo de lomo y calcular el área de grasa a partir de la división de la suma total de las longitudes límite de las partículas marmoleadas por la raíz cuadrada del área del ojo de costilla. Luego, se evalúa el grado de marmoleo en base a la proporción de área del índice de finura y área de grasa.	campo.	
3	Proceso de estimación del marmoleo de la carne utilizando método óptico. ^c	Instituto de Agricultura y Biotecnología en Alimentos PL20120399231	Este método se caracteriza por la medición de la luz reflejada con una frecuencia no menor a una medición por 1 mm. Sobre la base de los datos recopilados se determinan los límites del tejido	Tratar de realizar un algoritmo de procesamiento mediante imágenes capturadas desde una cámara hiperespectral o RGB para finalmente comparar resultados.

muscular. En base al algoritmo diseñado se estima el grado de marmoleo mediante desviaciones de color de la estructura uniforme del músculo.

- | | | | | |
|---|--|---|--|--|
| 4 | Método de diagnóstico de la calidad de la carne usando marcador de ADN asociado al nivel de marmoleo en carne Hanwoo. ^d | Administración de Desarrollo Rural
KR101376277B1 | Este método utiliza un marcador asociado a la cantidad de marmoleo que permite interpretar la acumulación de la grasa en el músculo utilizando polimorfismos de nucleótido único (SNP) del gen FAS en Hanwoo a un nivel biológico molecular con el objetivo de seleccionar carne Hanwoo de alta calidad. | Utilizar un método no invasivo para determinar el grado de marmoleo en base a un estándar. |
| 5 | Dispositivo fotográfico, método | Japanese Patent Office | Este dispositivo es capaz de rotar | Implementar una impresora |

fotográfico y método de evaluación de la calidad de la carne en base a la grasa de carcasa.^e

JP2017083523A

el lente de la cámara y ajustar la temperatura para imprimir los resultados y marcar los cortes inclinación de las fuentes de luz para fines comerciales laser con la finalidad de adquirir una imagen enfocada en toda el área a analizar.

^aPeng et al. (2019). ^bKuchida y Kanai (2015). ^cLisiak et al. (2013). ^dChoi et al. (2014). ^eKuchida y Kano (2017).

A.3.3. Aportes de Innovación

A partir de las soluciones comerciales mencionadas, se identifica que son de elevado costo, ya que se necesitan comprar paquetes de software para acceder a librerías de procesamiento o adquirir almacenamiento en la nube para llevar a cabo la clasificación del marmoleo de la carne. En cuanto a la propiedad intelectual registrada, se detecta que se emplean métodos invasivos para determinar la calidad de la carne o no cuentan con un recinto y/o hardware para realizar la clasificación. Por lo tanto, un recinto con dimensiones aproximadas al tamaño de los cortes, iluminación uniforme, enfoque al área a evaluar puede ser adicionado para facilitar la segmentación y procesamiento de las muestras. Así mismo, se puede introducir este algoritmo dentro de un ordenador de placa reducida y con una interfaz visual para realizar las mediciones en campo. Las deficiencias o limitaciones encontradas se enfocan en métodos o procedimientos que dependen de operadores que manipulen un ecógrafo y sustraigan la muestra a analizar, así como la necesidad de invertir económicamente en hardware y software. Por otro lado, se descuidan características que pueden afectar el procesamiento como la iluminación del entorno o el reflejo de la base donde se posiciona la carne. Además, no se considera una escala o estándar para clasificar la muestra. Por lo tanto, el aporte de conocimiento es la implementación de un recinto portátil con iluminación uniforme para determinar la calidad de la carne según el grado de marmoleo americano en el ojo de lomo utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y SVM con una base de datos de 4900 imágenes adquiridas en este y clasificadas por los especialistas.

- **Novedad de la solución**

Para esta solución se utiliza un recinto de acero inoxidable 304 de grado alimenticio, el cual se acondiciona en un ambiente de iluminación uniforme. Esta iluminación está conformada por luces led colocadas en perfiles de aluminio con sus respectivos difusores, los cuales se encuentran distribuidos en la parte superior de la primera planta junto con la cámara RGB que se encuentra adosada en el centro. Además, se utiliza una bandeja de acero al carbono con revestimiento antiadherente, donde se colocan las muestras de carne a analizar. Por otro lado, respecto a la segunda planta, se considera instalar una pantalla táctil de 10.1", la cual está protegida por una carcasa de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), con un ángulo de inclinación de 45° para facilitar la interacción con el usuario. Respecto a la ubicación del computador de placa reducida, esta se encuentra embebida a la pantalla aislada de la

estructura de acero. Así mismo, se optó por instalar una impresora térmica con el objetivo de que el resultado se imprima y se utilice para fines comerciales.

- **Ventaja técnica de la solución**

El equipo no utiliza métodos invasivos ni accesorios de elevado costo para analizar las muestras de carne. Su diseño se ha acondicionado para facilitar su uso y transporte, por lo que puede ser utilizado en laboratorios y comercios.

A.3.4. Publicaciones Científicas/Académicas/Ingenieriles

Table 9

Estado del arte

N°	Título de la Publicación	Datos de la Publicación	Ventajas de la solución o método presentado en la publicación	Resultados y limitaciones que podrán ser mejoradas o resueltas como aporte o contribución de la solución propuesta
1	Development of a flexible Computer Vision System for marbling classification.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Da Costa Barbon et al. (2017) • Medio Indexado de Publicación: Computers and Electronics in Agriculture • Datos de la Publicación: 10.1016/j.compag.2017.11.017, Vol. 142, Pag. 536-544 	<p>Utiliza una cámara de alta resolución.</p> <p>Algoritmo aplicable para muestras del ojo de lomo en cortes de carne de res y de cerdo.</p> <p>Segmentación robusta frente a variaciones de color y contraste en el ojo de lomo.</p>	<p>Los cortes sólo deben de considerar la región del ojo de lomo de lo contrario el algoritmo presentará fallas.</p> <p>No utiliza cortes comerciales.</p> <p>Las pruebas se realizaron sólo en laboratorio.</p> <p>Se utilizaron 45 muestras de carne cuyas capturas se realizaron sobre un papel azul como imagen de fondo y en un estudio (no se empleó un recinto).</p>

2	<p>Across countries implementation of handheld near-infrared spectrometer for the on-line prediction of beef marbling in slaughterhouse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Kombolo-Ngah et al. (2023) • Medio Indexado de Publicación: Meat Science • Datos de la Publicación: 10.1016/j.meatsci.2023.109169, Vol. 200 	<p>Emplea un modelo de predicción NIRS para la determinación de la escala de marmoleo australiana sobre el músculo <i>longissimus thoracis</i>. Emplea un sensor molecular SCiO™ el cual es un espectrómetro portátil inalámbrico que opera sobre la región NIR de modo reflectancia.</p>	<p>Mencionan que, si hubiesen implementado una cámara hiperespectral junto con procesamiento de imágenes, la precisión del modelo aumentaría notablemente el cual es de 61% actualmente.</p>
3	<p>MSENet: Marbling score estimation network for automated assessment of Korean beef.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Lee et al. (2022) • Medio Indexado de Publicación: Meat Science • Datos de la Publicación: 10.1016/j.meatsci.2022.108784, Vol. 188 	<p>Utiliza un celular Apple iPhone 8 para la adquisición de imágenes recolectando más de 10k muestras. Las imágenes fueron procesadas en un computador de alta gama. Utiliza la escala de marmoleo coreana.</p>	<p>Diseñado para operar en laboratorio. La red propuestas tiende a sobreestimar la determinación del grado de marmoleo cuando las imágenes contienen mucha grasa intramuscular en los cortes no homogéneos.</p>

4	<p>Image feature extraction via local binary patterns for marbling score classification in beef cattle using tree-based algorithms.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Pinto et al. (2023) • Medio Indexado de Publicación: Livestock Science • Datos de la Publicación: 10.1016/j.livsci.2022.105152, Vol. 267 	<p>Implementa Local Binary Patterns (LBP) el cual tiene alta tolerancia a los cambios de iluminación monótona. Requiere de una computadora de alta gama para realizar el procesamiento de imágenes ya que ocupa una elevada carga computacional.</p>
5	<p>Determining relationships between marbling scores and carcass yield traits of german beef bull carcasses using video-image analysis at the 12th and 10th rib position of Longissimus thoracis and EUROP classification.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Schulz y Sundrum (2021) • Medio Indexado de Publicación: Applied Sciences (Switzerland) • Datos de la Publicación: 10.3390/app11010269, Vol. 11, Pag. 1-10 	<p>Utiliza el VBG2000 el cual es un equipo especializado en realizar capturas en los cortes del ojo de lomo entre la 10ma y 11va costilla del <i>longissimus thoracis</i>. Si el corte no es homogéneo, no es posible capturar toda la carcasa en la imagen por lo que no todos los parámetros pueden ser adquiridos correctamente. Solo se evalúa una región rectangular dentro del ojo de lomo.</p>

6	Association between visual marbling score and chemical intramuscular fat with camera marbling percentage in Australian beef carcasses.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Stewart et al. (2021) • Medio Indexado de Publicación: Meat Science • Datos de la Publicación: 10.1016/j.meatsci.2020.10836 9, Vol. 181 	Se refleja un láser guía mediante unos espejos, los cuales permiten que el operario pueda ubicar la región del ojo de lomo dentro de este.	El análisis no se realiza en tiempo real, ya que se envían las imágenes al MIJ para su procesamiento mediante el software Beef Analyzer II.
7	Prediction of pork loin quality using online computer vision system and artificial intelligence model. Meat Science.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Sun et al. (2018) • Medio Indexado de Publicación: Meat Science • Datos de la Publicación: 10.1016/j.meatsci.2018.03.005, Vol. 140, Pag. 72-77 	Segmentación mediante el modelo de color LAB.	Pruebas hechas en laboratorio. Precisión del 75% para el grado de marmoleo.
8	An application based on the decision tree to classify the marbling of beef by	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Publicación: Artículo Científico de Revista • Autores: Velásquez et al. 	Determina el grado de marmoleo de acuerdo a la escala japonesa.	Evaluaciones realizadas en laboratorio. No utiliza recinto (Ambiente con

hyperspectral imaging

(2017)

- **Medio Indexado de**

Publicación: Meat Science

- **Datos de la Publicación:**

10.1016/j.meatsci.2017.06.00

2, Vol. 133, Pag. 43-50

iluminación no controlada).

El proceso de adquisición de imágenes fue controlado por el software SpectrononPRO (software de terceros).

Pocas muestras (35 animales). Se utilizó 10 muestras para entrenar y 25 para clasificar.

A.3.5. Aportes y contribución de nuevo conocimiento, procedimientos y/o métodos

Table 10

Aportes de conocimiento

Título de la publicación	Aporte
Development of a flexible Computer Vision System for marbling classification. ^a	El estudio se basará en determinar y clasificar la calidad de la carne en base a la escala americana con una precisión mayor al 90%
Image feature extraction via local binary patterns for marbling score classification in beef cattle using tree-based algorithms. ^b	Se utilizará un computador de placa reducida capaz de realizar el procesamiento en tiempo real sin conexión a internet.
An application based on the decision tree to classify the marbling of beef by hyperspectral imaging. ^c	El equipo por desarrollar utilizará una cámara RGB de bajo costo en un ambiente con iluminación uniforme. El modelo será entrenado con una base de datos conformada por muestras capturadas y evaluadas por los especialistas.

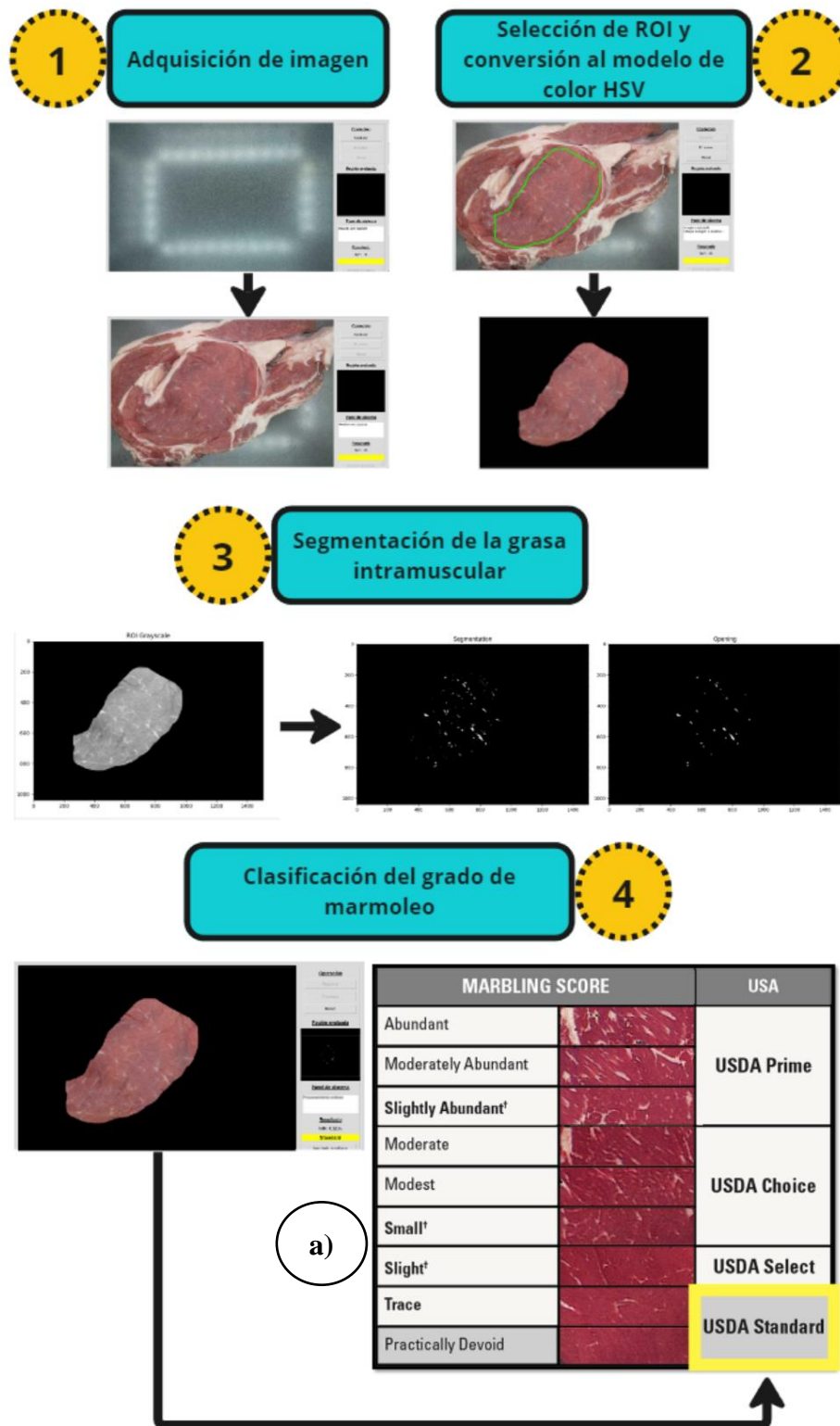
^aDa Costa Barbon et al. (2017). ^bPinto et al. (2023). ^cVelásquez et al. (2017).

A.4. Descripción de la solución hipotética propuesta

A.4.1. Diagrama de Bloques

Figure 23

Diagrama de bloques de la solución propuesta



^aCanadian Beef Grading Agency (s.f.)

A.4.2. Funcionamiento

Paso 1. Encender el sistema con el botón de encendido de la fuente de alimentación ubicado en la parte posterior de la segunda planta. Una vez encendido, se verificará la conexión de los periféricos y se inicializará la interfaz visual.

Paso 2. Abrir la puerta del recinto, colocar la muestra de carne a analizar sobre la bandeja y verificar en la interfaz visual que la muestra se encuentra centrada.

Paso 3. Al haber verificado lo del paso anterior, proceder a cerrar la puerta y utilizar el lápiz táctil para elegir la opción “Captura” y realizar la captura.

Paso 4. Verificar la captura realizada y, sobre esta, elegir la región de interés y presionar el botón “Procesar”. En el caso que la captura no sea la deseada, presionar el botón “Reset” para regresar al paso anterior.

Paso 5. Luego de haber presionado el botón “Procesar”, se mostrará el grado de marmoleo y el porcentaje de grasa intramuscular en la interfaz visual.

Paso 6. Si se requiere imprimir el grado de marmoleo obtenido, se debe presionar el botón “Imprimir”.

A.4.3. Ilustración del Producto Final Estimado (Terminado)

Figure 24

Producto final terminado



A.5. Justificación del Proyecto

A.5.1. Justificación respecto a beneficios para usuarios potenciales y/o sectores productivos o de servicios.

La solución a la problemática planteada beneficiará al rubro ganadero en los siguientes aspectos:

- Aumentará la precisión y rigurosidad de la clasificación del grado de marmoleo.
- Optimizará el tiempo de clasificación de todos los cortes a evaluar.
- Incorporará el estándar americano en la evaluación de la calidad de la carne en el Perú.
- Aumentará la demanda de cortes de mayor calidad a partir de la concientización en los consumidores de la relación entre la calidad de la carne de res y la escala internacional americana.

- Se estima que al certificar la carne nacional permitirá a los usuarios finales identificar y discernir cuál consumir.
- Brindará a los carniceros un sistema que permite certificar la calidad de la carne con imparcialidad y mayor precisión, ya que no depende de su subjetividad.
- Fomentará mayor competitividad en el sector ganadero, ya que aparecerá una demanda potencial en los grupos consumidores de carne con grasa infiltrada ocasionando una retroalimentación en este sector, incentivando la mejora de técnicas de crianza y alimentación del ganado nacional.
- A diferencia de otros países, el Perú no es conocido por producir carne de calidad, por lo que al clasificar los cortes nacionales de acuerdo con el estándar americano, se dará a conocer la existencia de un mercado de carne nacional de alta calidad.

A.5.2. Justificación Social:

En el aspecto social, el proyecto se justifica por lo siguiente:

- La utilización del equipo en carnicerías permitirá certificar, de acuerdo a la escala americana, los cortes que posean la región del ojo de lomo brindando información del producto adquirido a los usuarios finales.
- La implementación del equipo en carnicerías permitirá conocer el estándar internacional americano, lo cual despertará la demanda potencial en grupos de usuarios consumidores de carne con alto contenido de grasa intramuscular.

A.6. Objetivo general

Desarrollar un sistema electrónico que aumente la precisión en la identificación y clasificación de la calidad de los cortes de res a través del procesamiento del grado de marmoleo de acuerdo con la escala americana en tiempo real.

A.7. Objetivos específicos de desarrollo e implementación de la solución propuesta

- **OE1:** Investigar la asociación entre la grasa intramuscular presente en el ojo de lomo y la calidad de la carne. **Indicador:** Un reporte especificando e interpretando la escala americana en la clasificación del porcentaje de grasa en el ojo de lomo de una muestra de carne en un rango del 1 al 5 (donde 1 es de baja calidad y 5 es de alta calidad).
- **OE2:** Construir un recinto portátil con iluminación uniforme que permita la segmentación y clasificación de la muestra de carne utilizando una cámara digital

debidamente instalada. **Indicador:** Un recinto con dimensiones de aproximadamente 340x220x400mm donde se distribuirá en la primera planta la cámara, iluminación y bandeja de tal manera que no genere brillo ni sombras sobre el corte a evaluar.

- **OE3:** Implementar e integrar un hardware electrónico con la capacidad de ejecutar eficientemente los algoritmos computacionales de gestión del equipo y procesamiento de imágenes, así como la adecuada y eficiente conexión de periféricos. **Indicador:** Un hardware electrónico programable en lenguaje de programación de alto nivel basado en un ordenador de placa reducida con desempeño computacional apropiado para ejecutar los algoritmos requeridos y capacidad de comunicarse eficientemente con dispositivos externos como pantalla LCD, impresoras y teclados entre otros.
- **OE4:** Desarrollar el algoritmo para la identificación del grado de marmoleo de acuerdo con la escala americana con una precisión mayor a 90%. **Indicador:** Un algoritmo que separe la grasa intramuscular en el ojo de lomo con el objetivo de determinar el porcentaje de grasa intramuscular y clasificarlo mediante una máquina de soporte vectorial (SVM).
- **OE5:** Validar el prototipo y sus clasificadores tomando como referencia la escala americana y los resultados de evaluación por parte de especialistas de laboratorio. **Indicador:** Informe de validación conteniendo los porcentajes de coincidencia entre los resultados obtenidos por los clasificadores computacionales (SVM, KNN y Random Forest) y especialistas de laboratorio.

A.9. Alcance y aplicaciones de la solución propuesta

A.9.1. Alcance

- El recinto es portátil, lo que facilita la adquisición de muestras en distintos ambientes.
- El sistema facilita la interacción con el usuario para delimitar la región de interés dentro del ojo de lomo y es capaz de determinar su grado de marmoleo.
- Mediante la interfaz visual se brinda al usuario la información acerca de los resultados obtenidos a partir del área analizada.
- El procesamiento es en tiempo real, ya que no necesita que las capturas sean almacenadas en la nube para luego ser analizadas.
- El sistema cuenta con una máquina de soporte vectorial (SVM) que permite clasificar con una precisión mayor a 90%.

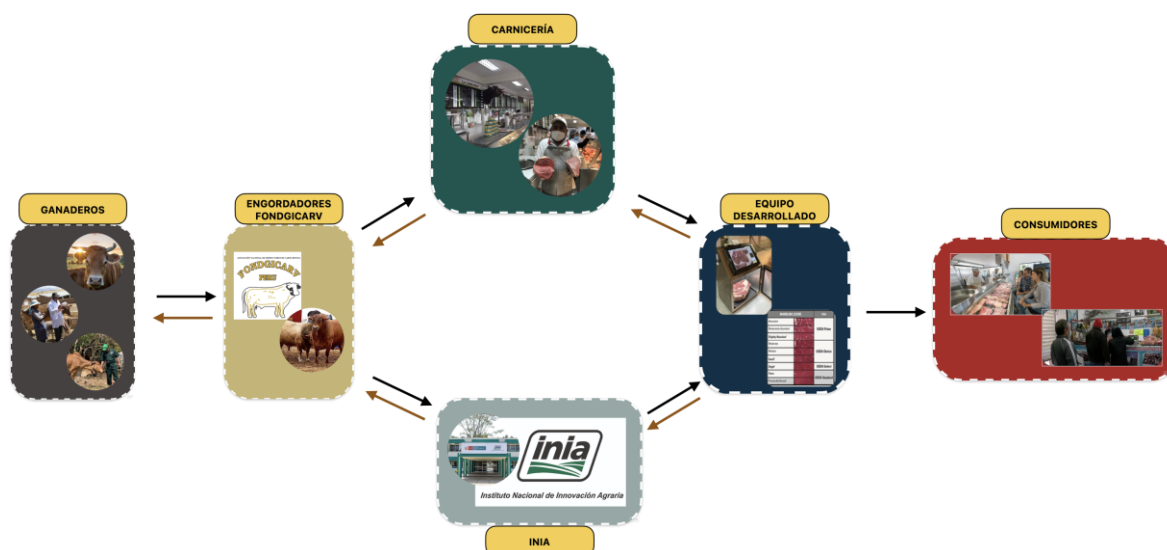
A.9.2. Limitaciones

- Para la toma de las muestras, se emplea una cámara RGB de 8MP de bajo costo lo que limita la calidad de las muestras tomadas.
- Sólo se permite el análisis de un corte de carne que tenga dimensiones menores a 340 x 220 x 100 mm.
- El sistema está diseñado para identificar el grado de marmoleo sólo para carne de res.
- El entrenamiento depende de los tipos de carne que se encuentren disponibles en el mercado local.

A.9.3. Aplicaciones

Figure 26

Aplicaciones de la solución propuesta



El equipo electrónico desarrollado podrá ser utilizado en las carnicerías para certificar el grado de marmoleo de los cortes vendidos. Este resultado brindará confianza al consumidor, ya que, al categorizar la calidad de la carne bajo un estándar internacional, despertará una demanda potencial en los grupos consumidores de carne con altos niveles de grasa intramuscular. Así mismo, para suplir la creciente demanda, se requerirá mejorar las condiciones de crianza y alimentación del ganado, lo cual será trabajado en conjunto con el INIA y la Asociación Nacional de Productores de Carne Bovina (FONDGICARV), quienes se encargan de brindar técnicas de mejoramiento genético, herramientas y supervisión a los ganaderos.

A.10. Viabilidad del proyecto

La viabilidad del proyecto y el desarrollo de la solución propuesta son descritas a continuación:

A.10.1. Viabilidad técnica

a. Capacitación del personal

Conocimientos en electrónica y sistemas embebidos: Aplicados para el acondicionamiento y conexión del computador de placa reducida con sus periféricos para el correcto funcionamiento del equipo.

Conocimientos en diseño y modelamiento de la estructura del recinto: Aplicados para la elección del material y diseño que permita una distribución optimizada del hardware dentro del equipo y una fácil manipulación por parte de los usuarios.

Conocimientos en procesamiento de imágenes: Aplicado para identificar modelos de color y operaciones morfológicas necesarias que permitan separar la grasa intramuscular dentro del ojo de lomo en cortes de carne de res.

Conocimientos en machine learning: Aplicado para extraer las características de las imágenes binarizadas del ojo de lomo para luego entrenar, comparar modelos de clasificadores con las evaluaciones de los especialistas y elegir el más eficiente.

Conocimientos en el lenguaje de programación Python y sus librerías: Aplicado para desarrollar una aplicación que permita al usuario llevar a cabo el procesamiento por medio de una interfaz visual y obtener el grado de marmoleo de acuerdo a la escala americana.

Conocimientos sobre los distintos cortes de carne de res, marmoleo y estándares internacionales: Aplicado para reconocer los tipos de cortes donde se visualice la región del ojo de lomo. Así mismo, saber diferenciar la grasa intramuscular de tendones e identificar el grado de marmoleo asociado a la escala americana.

b. Asesoramiento Técnico / Ingenieril

Cesar Mauro Osorio Zavala, Ingeniero Zootecnista, INIA, Especialista en ganadería: Evaluación y monitoreo de proyectos de investigación.

Máximo Quispe Herrera, “La Carnicería” - Centro de Ventas UNALM, Proveedor: Encargado del sector carnes de “La Carnicería”.

c. Infraestructura y Equipamiento Técnico

Para la implementación del equipo y validación de su funcionamiento, no se requiere el uso de equipos industriales ni la dependencia de infraestructura por parte de entidades y/o empresas.

d. Proceso de validación

El proceso de validación consistirá en mostrar las regiones del ojo de lomo a tres especialistas para que procedan con la evaluación visual. Las 56 muestras utilizadas para el entrenamiento serán adquiridas por los autores (Standard y Select) y proporcionadas por “La Carnicería” del Centro de Ventas de la UNALM. Cabe mencionar que “La Carnicería” sólo

brindará las muestras de mayor marmoleo (Choice y Prime) y un espacio donde se tenga una toma de corriente para llevar a cabo la evaluación y comparación de resultados con 3 carniceros especialistas quienes laboran en “La Carnicería”. Estas muestras serán previamente evaluadas por el equipo y, luego de obtener la evaluación de los especialistas, se procederá a realizar el análisis de los resultados, donde se obtendrá el Gold Standard a partir de la coincidencia del grado de marmoleo identificado por los especialistas. Las muestras Gold Standard se compararán con el resultado de los tres clasificadores (SVM, kNN, Random Forest), se calculará el porcentaje de coincidencia para cada caso y se determinará el clasificador más eficiente.

e. Disponibilidad de componentes y materiales

Todos los componentes son accesibles a nivel nacional y, en el caso de que se solicite su importación, no existen restricciones por parte del Estado Peruano.

A.10.2. Viabilidad económica

A continuación, se detallan los siguientes cuadros económicos:

a. Cuadro económico total

En la Tabla 11 se puede visualizar todos los componentes, materiales, equipamiento, software y servicios de terceros que serán empleados para el desarrollo de la solución propuesta.

Table 11

Cuadro económico total

Ítem	Proveedor	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Recinto de Acero Inoxidable Mate 304	Universidad	1	1,770.00	1,770.00
Bandeja de acero al carbono	Autores	1	50.00	50.00
Pata de goma	Autores	4	1.25	5.00
Kit Oficial Raspberry Pi 4B 8GB	Universidad	1	896.44	896.44
Cámara Raspberry V2	Universidad	1	145.41	145.41
Cable flex 1m	Universidad	1	15.25	15.25
Pantalla para Raspberry de 10.1"	Universidad	1	1,308.74	1,308.74
Protector de pantalla	Autores	1	20.00	20.00

Tira de luces LED	Universidad	1	161.82	161.82
Uniones para tira de luces LED	Universidad	1	128.38	128.38
GeeekPi Ventilador de refrigeración	Universidad	1	269.10	269.10
Impresora térmica Adafruit	Universidad	1	579.85	579.85
Filamento PETG	Universidad	1	280.71	280.71
Fillamento ASA	Universidad	1	280.71	280.71
Filamento PVB	Universidad	1	233.91	233.91
Perfiles de aluminio con difusores	Autores	1	12.00	12.00
Cable de alimentación	Autores	1	4.00	4.00
Conector C14 Macho	Autores	1	1.50	1.50
Interruptor de encendido	Autores	1	2.00	2.00
Fuente de alimentación 12V 5A	Autores	1	40.00	40.00
Cable categoría 14 1m Negro	Autores	1	6.00	6.00
Cable categoría 14 1m Rojo	Autores	1	6.00	6.00
Cable categoría 14 1m Azul	Autores	1	6.00	6.00
Tubo termo retráctil	Autores	2	2.00	4.00
Terminal aislado hembra	Autores	6	0.50	3.00
Terminal aislado anillo	Autores	4	0.50	2.00
Módulo conversor 12V-5V	Autores	1	15.00	15.00
Módulo RTC	Autores	1	21.00	21.00
Muestras de carne (Choice y Prime)	C.V. UNALM	113	80	9,040.00
Muestras de carne (Standard y Select)	Autores	107	12	1,284.00
Inversión total (S/.) *Incluido I.G.V.				16,591.82

b. Cuadro Económico Parcial

En la Tabla 12 se evidencia solo aquellos ítems que serán adquiridos por los autores.

Table 12

Cuadro económico parcial

Ítem	Proveedor	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Bandeja de acero al carbono	Autores	1	50.00	50.00
Pata de goma	Autores	4	1.25	5.00

Protector de pantalla	Autores	1	20.00	20.00
Perfiles de aluminio con difusores	Autores	1	12.00	12.00
Cable de alimentación	Autores	1	4.00	4.00
Conector C14 Macho	Autores	1	1.50	1.50
Interruptor de encendido	Autores	1	2.00	2.00
Fuente de alimentación 12V 5A	Autores	1	40.00	40.00
Cable categoría 14 1m Negro	Autores	1	6.00	6.00
Cable categoría 14 1m Rojo	Autores	1	6.00	6.00
Cable categoría 14 1m Azul	Autores	1	6.00	6.00
Tubo termo retráctil	Autores	2	2.00	4.00
Terminal aislado hembra	Autores	6	0.50	3.00
Terminal aislado anillo	Autores	4	0.50	2.00
Módulo conversor 12V-5V	Autores	1	15.00	15.00
Módulo RTC	Autores	1	21.00	21.00
Muestras de carne (Standard y Select)	Autores	107	12	1,284.00
Inversión total (S/.) *Incluido I.G.V.				1,481.50

c. Argumentación

De acuerdo con los cuadros económicos, este proyecto ha obtenido el financiamiento de la Oficina de Investigación UPC a través del “IX Concurso Anual de Incentivo a la Investigación” con código D-110-2022, por lo que se ha listado los materiales y componentes que serán brindados para la implementación del equipo. Así mismo, los componentes o materiales que no representen un gasto considerable serán asumidos por los autores.

A.10.3. Viabilidad social:

El equipo desarrollado es viable a nivel social, ya que su chasis está construido en acero inoxidable 304 de grado alimenticio, el cual es resistente a la corrosión y al uso de químicos. Además, está conformado por una bandeja de acero al carbono con revestimiento antiadherente, cuyo material es utilizado para repostería en hornos a altas temperaturas, y por componentes electrónicos instalados durante el proceso de acoplamiento que no representan un riesgo para la salud de los autores, especialistas y consumidores.

A.10.4. Viabilidad operativa:

La solución propuesta requiere de una toma de corriente de 220V 60Hz para su funcionamiento. La parte electrónica se encuentra ubicada en el nivel superior del recinto, aislada de la zona donde se realiza la evaluación de los cortes de carne de res, por lo que los carniceros no pueden manipular los componentes internos del equipo. Por otro lado, la clasificación de los cortes se basa en el estándar americano, el cual consiste en cuatro grados de marmoleo (Standard, Select, Choice y Prime). Además, la integración de una impresora térmica permite el etiquetado de los cortes evaluados y que el público tenga conocimiento de lo que está comprando.

ANEXO B - DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

En este Anexo se detalla las constancias de conformidad por parte del encargado del sector carnes del Centro de Ventas UNALM, del especialista del sector ganadero del INIA. Así mismo, la constancia de financiamiento por parte de la Oficina de Investigación UPC, el informe Turnitin de similitud, el correo de aceptación de sometimiento a un Journal internacional y la constancia de trámite de patente en INDECOPI.

B.1. Constancia de Conformidad del Sr. Máximo Quispe – Encargado del sector carnes del Centro de Ventas UNALM

CONSTANCIA DE CONFORMIDAD

La Molina, 24 de Marzo del 2024


Estimada Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC),

A través de la presente, quisiera hacer de su conocimiento que estamos conformes con el excelente trabajo de la Srta. Enori Magaly Cardenas Villanez identificada con el DNI 45818377 y del Sr. Enrique Ruben Tabory Inga identificado con el DNI 70330667, quienes han realizado la puesta en marcha y validación del correcto funcionamiento de su equipo electrónico desarrollado para la detección del grado de marmoleo en cortes de carne de res de acuerdo a la escala americana.

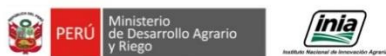
Así mismo, le informo que todos los trabajos de recolección de muestras y validación de los resultados obtenidos por el equipo, fueron realizados dentro de las instalaciones de "La Carnicería" ubicada dentro del Centro de Ventas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), por lo que reiteramos nuestra conformidad con los servicios que nos han prestado.

De antemano, gracias por su atención y esperamos poder continuar con esta relación enfocada en la investigación y mejora de procesos tan beneficiosa.

Atentamente,

 24/03/2024
Máximo Quispe Herrera 09972888
Encargado del Sector Carnes del Centro de Ventas UNALM

B.2. Constancia de Conformidad del Ing. Cesar Osorio Zavala – Especialista en Ganadería INIA



Dirección de Desarrollo
Tecnológico Agrario

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA DE CONFORMIDAD

La Molina, 16 de mayo del 2024

Estimada Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC),

A través de la presente, quisiera hacer de su conocimiento que estamos conformes con el excelente trabajo de la **Srta. Enori Magaly Cardenas Villanez** identificada con el DNI N° 45818377 y del **Sr. Enrique Ruben Tabory Inga** identificado con el DNI N° 70330667, quienes han realizado la puesta en marcha y validación del correcto funcionamiento de su equipo electrónico desarrollado para la detección del grado de marmoleo en cortes de carne de res de acuerdo a la clasificación americana.

A corto plazo, se espera que este equipo brinde al cliente la garantía que está comprando cortes de calidad de acuerdo a una escala internacional. Asimismo, a largo plazo, promover la oferta de carne de calidad a un precio asequible.

De antemano, gracias por su atención y esperamos poder continuar con esta relación enfocada en la investigación y mejora de procesos tan beneficiosa.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:
OSORIO ZAVALA Cesar Mauro
FAU 20131385094 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16/05/2024 16:34:06-0500

Av. La Molina 1981, La Molina
Central Telefónica: 240-2100 Anexo 214
www.gob.pe/inia
www.gob.pe/midagri

B.3. Constancia de Financiamiento de la Oficina de Investigación UPC.

Constancia

El Director de la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – UPC deja constancia:

Que el Dr. Guillermo Leopoldo Kemper Vásquez (Titular del proyecto – Investigador Principal), el Prof. MSc. Alonso Sebastián Sánchez Huapaya (Coinvestigador), la Srta. Bach. Enori Magaly Cárdenas Villanez (Coinvestigador) y el Sr. Bach. Enrique Rubén Tabory Inga (Coinvestigador) desarrollaron el proyecto de investigación intitulado “Desarrollo de un equipo electrónico orientado a la determinación del grado de marmoleo en cortes de carne de res” con código D-110-2022, el cual fue seleccionado en la categoría D del IX CONCURSO ANUAL DE INCENTIVO A LA INVESTIGACIÓN organizado por la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – UPC.

El proyecto inició sus actividades en el mes de julio de 2022 y finalizó en diciembre de 2023 cumpliendo con los objetivos establecidos.

Se extiende la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen convenientes.

Lima, 23 de agosto del 2024



Dr. Alfredo García Quesada
Director de la Dirección de Investigación
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)



UPC
Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

Prologación Primavera 2024
Monterrico, Surco
Lima 33 - Perú
T 911 313 3333
www.upc.edu.pe

exígete, innova

B.5. Correo de Aceptación de Sometimiento al Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.



Guillermo Kemper <guillermo.kemper@gmail.com>

Decision on submission to Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences

Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences <em@editorialmanager.com>

12 de mayo de 2024, 12:00 a.m.

Responder a: Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences <support@elsevier.com>

Para: Guillermo Kemper <guillermo.kemper@gmail.com>

Manuscript Number: JSSAS-D-23-01340R2

An electronic equipment for marbling meat grade detection based on digital image processing and support vector machine

Dear Dr. Kemper,

Thank you for submitting your manuscript to Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.

I am pleased to inform you that your manuscript has been accepted for publication.

My comments, and any reviewer comments, are below.

Your accepted manuscript will now be transferred to our production department. We will create a proof which you will be asked to check, and you will also be asked to complete a number of online forms required for publication. If we need additional information from you during the production process, we will contact you directly.

We appreciate you submitting your manuscript to Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences and hope you will consider us again for future submissions.

Kind regards,
Abdulrasoul Alomran, Ph.D.
Editor-in-Chief

Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences

Editor and Reviewer comments:

More information and support

FAQ: When and how will I receive the proofs of my article?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/6007/p/10592/supporthub/publishing/related/

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

At Elsevier, we want to help all our authors to stay safe when publishing. Please be aware of fraudulent messages requesting money in return for the publication of your paper. If you are publishing open access with Elsevier, bear in mind that we will never request payment before the paper has been accepted. We have prepared some guidelines (<https://www.elsevier.com/connect/authors-update/seven-top-lips-on-stopping-app-scams>) that you may find helpful, including a short video on identifying fake acceptance letters (<https://www.youtube.com/watch?v=o5l8thD9XIE>). Please remember that you can contact Elsevier's Researcher Support team (<https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>) at any time if you have questions about your manuscript, and you can log into Editorial Manager to check the status of your manuscript (https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/29155/c/10530/supporthub/publishing/kw/status/). #AU_JSSAS#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/jssas/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

B.6. Constancia de trámite de patente en Indecopi.

N° DE EXPEDIENTE 002728-2022/DIN

Fecha de Presentac. Original	2022-11-23	Lugar Presentación	INDECOPI-Sede Central
Fecha de Inicio:	2022-11-23		
Ver Gráfico			

Datos del Registro		Modelo de Utilidad	
Título :	EQUIPO ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MARMOLEO EN CORTES DE CARNE DE RES		
Fecha de Concesión :		Fecha de Vencimiento :	
Clasificación :	A01K 29/00; G06F 17/30		
N° Título :		Fecha Publicación :	2023-12-19
Prioridades :			
Resumen :	<p>La presente invención describe un equipo portátil que utiliza técnicas de procesamiento de imágenes para la segmentación de la grasa intramuscular y una máquina de soporte vectorial para la determinación del grado de marmoleo en cortes de carne de res de acuerdo con una escala japonesa. El equipo electrónico portátil comprende: un compartimento dividido en dos niveles; uno inferior provisto de una puerta (19) y otro superior cerrado provisto de una rejilla (22), en el compartimento inferior se instala un sistema de iluminación (9-12), una cámara RGB (13) y una bandeja (15) donde se colocará la carne a analizar; en el compartimento superior se instala una pluralidad de componentes electrónicos, una fuente de alimentación (2), un ventilador (5), una impresora térmica (8); en la parte externa del equipo, se instala un asa (18), una pantalla LCD (6), y una ranura (23) por donde se expulsará un pedazo del rollo o etiqueta (24) con el grado de marmoleo obtenido.</p>		

Personas Jurídicas / Naturales

SOLICITANTE :	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C. (Perú)
INVENTOR :	CARDENAS VILLANEZ Enari Magaly (Perú)
INVENTOR :	KEMPER VÁSQUEZ Guillermo Leopoldo (Perú)
INVENTOR :	SÁNCHEZ HUAPAYA Alonso Sebastián (Perú)
INVENTOR :	TABORY INGA Enrique Ruben (Perú)
REPRESENTANTE :	GARCÍA QUESADA Alfredo Augusto (Perú)

Conclusión del Expediente y Estado Actual

Conclusión :		Fecha de Conclusión :	
Estado Actual :	TRAMITE	Fecha Estado :	2022-11-23

Seguimientos Administrativos

Fecha	Acción
2022-11-23	PAGO POR EXAMEN DE PATENTABILIDAD
2022-11-23	ADMISIBLE
2023-01-20	EX. DE FORMA CONCLUIDO
2023-12-18	PROYECTO DE RESUMEN
2023-12-18	ORDEN DE AVISO EMITIDO
2023-12-19	PUBLICACION
2024-05-31	ARMADO
2024-06-01	ELABORACION DE EXAMEN DE PATENTABILIDAD
2024-07-01	ENTREGA DE EXAMEN DE PATENTABILIDAD PARA REVISION
2024-08-22	EXAMEN DE PATENTABILIDAD EMITIDO
2024-08-22	EXAMEN DE PATENTABILIDAD COMUNICADO
2024-08-23	CARGO EXAMEN DE PATENTABILIDAD COMUNICADO
2024-08-23	PRORROGA A EXAMEN DE PATENTABILIDAD COMUNICADO

ANEXO C - INFORMACIÓN ADICIONAL

En este anexo se explican los métodos complementarios a lo descrito en el manuscrito y los resultados de su aplicación para el desarrollo de la solución propuesta.

C.1. Métodos

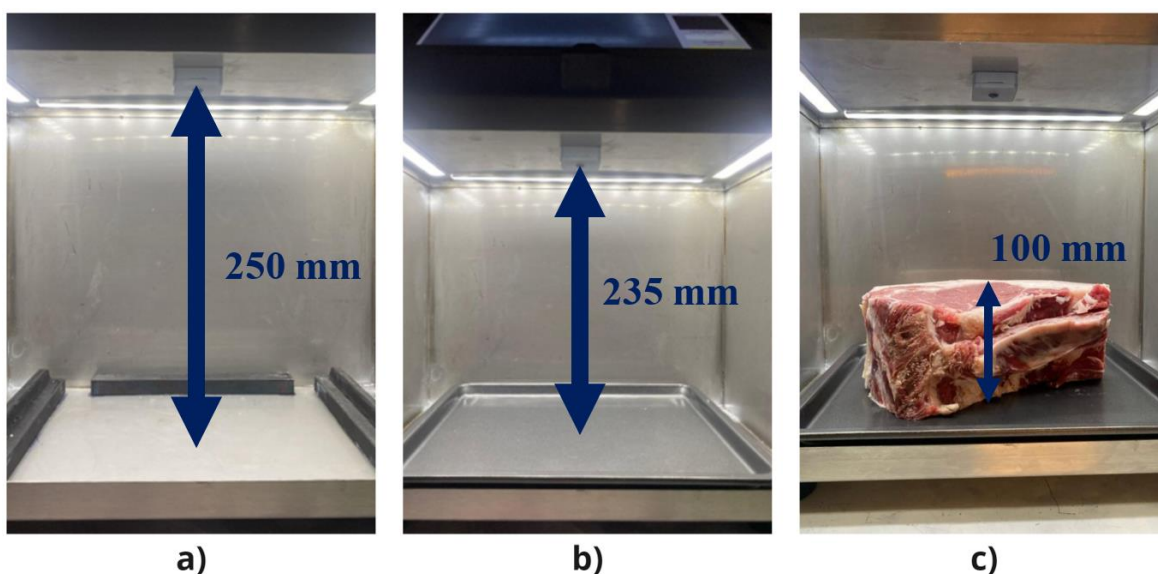
C.1.1. Descripción del hardware del equipo y la adquisición de imágenes

C.1.1.1. Adquisición de imágenes (Referencia sección 2.2.2.2.)

En base a los cálculos realizados a partir de las características de la cámara, se define una altura de 260 mm desde la base del recinto hasta el techo de la primera planta. En la Figura 30 se puede visualizar la distancia final entre la bandeja donde se coloca la muestra y el lente de la cámara. Así mismo, las muestras a analizar deben tener un espesor no mayor a 100 mm para evitar capturas defectuosas y resultados erróneos.

Figure 27

a) Distancia entre la cámara y la base del recinto, b) distancia entre la cámara y la bandeja y c) altura máxima de la muestra de carne



Respecto a la Figura 31, se aprecia la iluminación instalada dentro de los perfiles de aluminio con difusores a lo largo del techo de la planta baja, cuya distribución tiene como objetivo reducir su impacto en las imágenes de los cortes de carne.

Figure 28

Sistema de iluminación con perfiles de aluminio con difusores para tiras LED



C.1.2. Selección de ROI y conversión al modelo de color HSV (Referencia sección 2.2.4.)

En el paso 3, para extraer el ROI que se encuentra dentro del contorno verde, se implementa una máscara $Mask1$ en la que se evalúa la imagen HSV y se binariza de acuerdo con la ecuación 17.

$$Mask1(x, y) = \begin{cases} 255, & H(x, y) = 60 \wedge \\ & S(x, y) = 255 \wedge \\ & V(x, y) = 255 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

C.1.3. Segmentación de la grasa intramuscular (Referencia sección 2.2.5.)

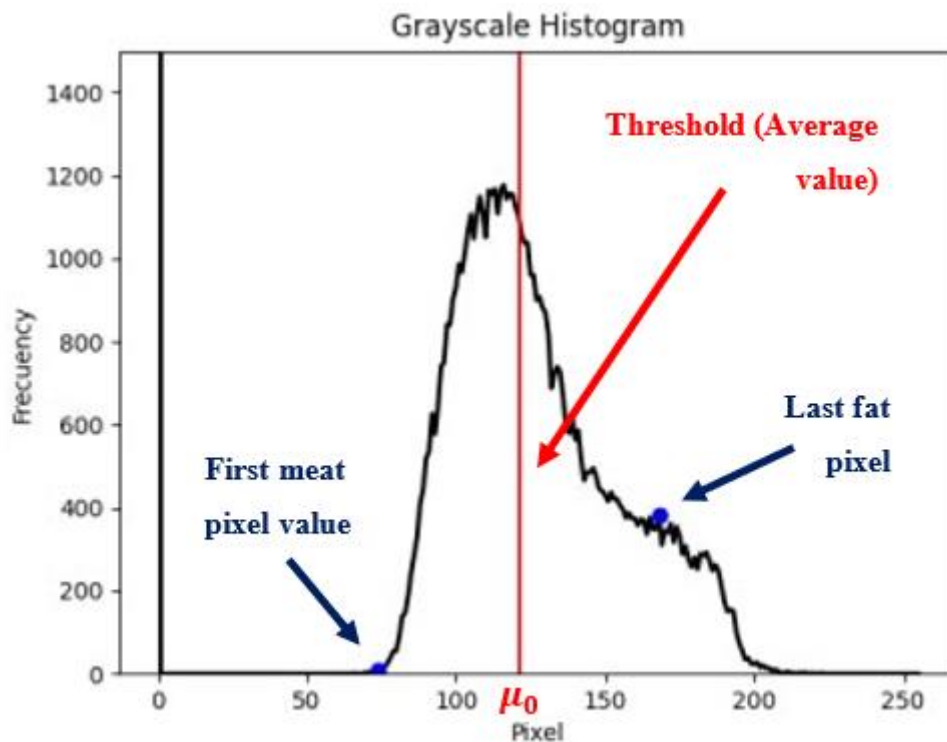
Paso 4: De acuerdo con la distribución del histograma, se necesita identificar el valor del umbral para poder separar la grasa intramuscular de la carne. Por ello, a partir del análisis y agrupamiento de los picos locales existen dos casos. Si sólo se aprecia 1 grupo, el valor del umbral es el valor medio del grupo; sin embargo, si se tienen de 2 a más grupos, se procede a elegir los conjuntos de los extremos, los cuales están conformados por los píxeles de carne (extremo izquierdo) y los píxeles de grasa (extremo derecho), donde se identifica el valor

medio de carne (P_m) y valor medio de grasa (P_f), En la ecuación 18 y Figura 32 se evidencia la operación empleada para obtener el umbral a partir de los valores medios de los grupos extremos y cómo se refleja en el histograma.

$$\mu_0 = \frac{P_m + P_f}{2} \quad (18)$$

Figure 29

Umbralización

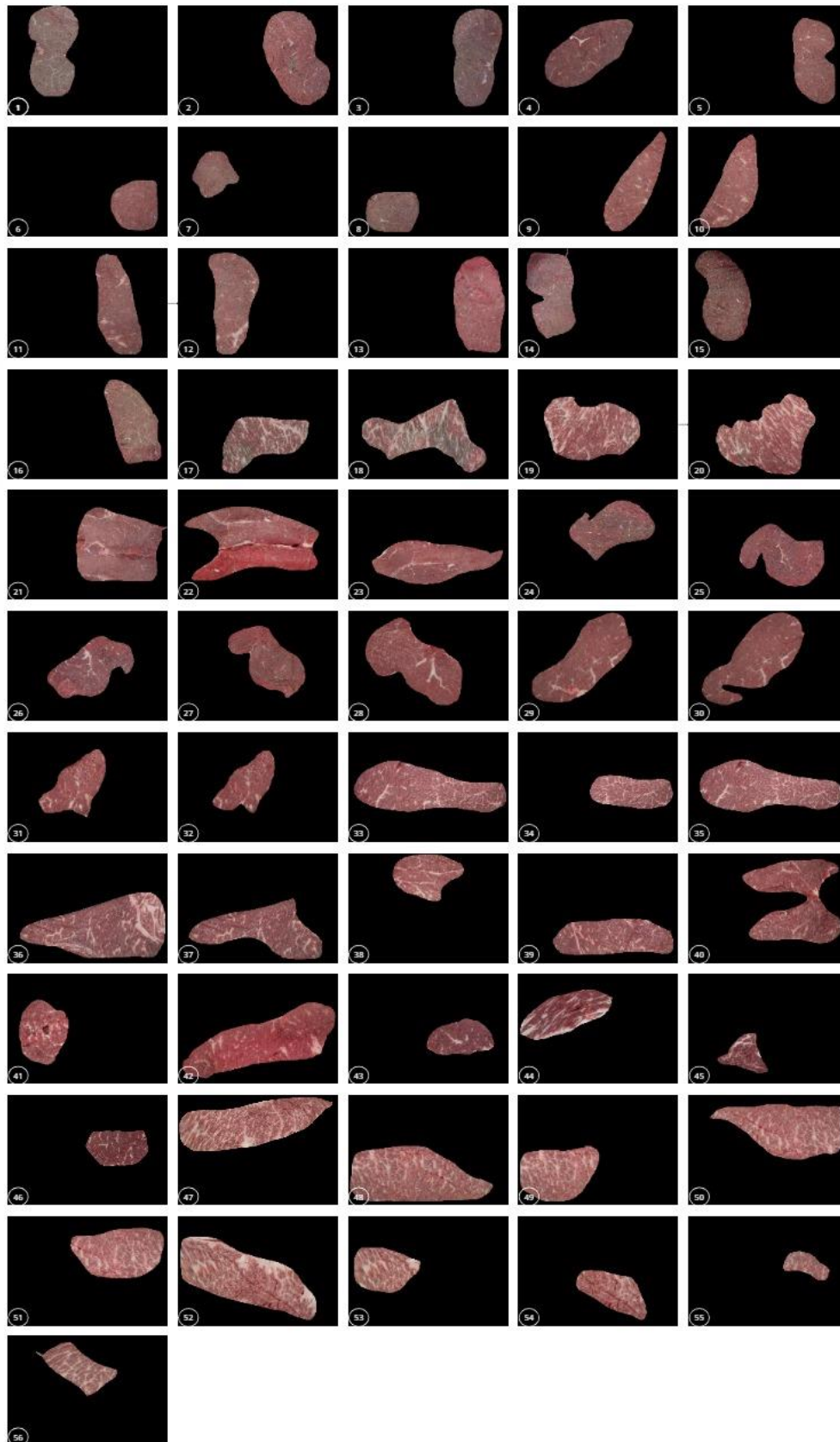


C.2. Resultados y discusión (Referencia sección 3.)

Las regiones seleccionadas y evaluadas en el sistema por los especialistas se muestran en la Figura 33, cuyos resultados se emplean para poder determinar las muestras Gold Standard.

Figure 30

Regiones seleccionadas y analizadas por los especialistas



Como se puede apreciar en la Tabla 13, las muestras 12 y 30, las cuales se encuentran de color rojo, no son consideradas como Gold Standard ni comparadas con los resultados de los clasificadores.

Table 13

Comparación de resultados

N	SVM	KNN	RFO	Carnicero	Carnicero	Carnicero
				1	2	3
1	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
2	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
3	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
4	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
5	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
6	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
7	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
8	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
9	Select	Select	Select	Select	Select	Select
10	Select	Select	Select	Select	Select	Select
11	Select	Select	Select	Select	Select	Select
12	Choice	Choice	Choice	Choice	Select	Standard
13	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
14	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
15	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
16	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
17	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
18	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
19	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
20	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
21	Select	Select	Select	Choice	Choice	Choice
22	Select	Select	Select	Choice	Choice	Choice
23	Select	Select	Select	Choice	Choice	Choice
24	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
25	Standard	Select	Standard	Select	Select	Select
26	Select	Select	Select	Select	Select	Select

27	Standard	Select	Standard	Standard	Standard	Standard
28	Select	Select	Select	Select	Select	Select
29	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
30	Select	Select	Select	Choice	Choice	Select
31	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
32	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
33	Choice	Choice	Choice	Prime	Prime	Prime
34	Prime	Prime	Choice	Prime	Prime	Prime
35	Choice	Choice	Choice	Prime	Prime	Prime
36	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
37	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
38	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
39	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
40	Select	Select	Select	Select	Select	Select
41	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
42	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
43	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
44	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
45	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
46	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice	Choice
47	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
48	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
49	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
50	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
51	Prime	Choice	Prime	Prime	Prime	Prime
52	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
53	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
54	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
55	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime
56	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime	Prime

REFERENCIAS

- Biotronics-Inc. (2021). *Meat Processing Applications*, BioQscan. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://www.biotronics-inc.com/meat-processing-applications>
- Canadian Beef Grading Agency. (s.f.). *Graded Product vs Ungraded Product*. Canadian Beef Grading Agency. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://beefgradingagency.ca/livestock-grading-in-canada/beef-grading/>
- Caridade, C. M. R., Pereira, C. D., Pires, A. F., Marnotes, N. G., & Viegas, J. F. (2020). Image analysis as a tool for beef grading. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering Imaging & Visualization*, 10(5), 466–475. <https://doi.org/10.1080/21681163.2020.1776159>
- Channel Systems. (s.f.). *Field of View calculator*. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://channelsystems.ca/calculators/field-of-view>
- Cheng, W., Cheng, J. H., Sun, D. W., & Pu, H. (2015). Marbling Analysis for Evaluating Meat Quality: Methods and Techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 523–535. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12149>
- Choi, B. H., Lee S. H., Kim T. H., Seong H. H. & Kim S. C. (2014). *Diagnosis method of meat quality using DNA marker associated with marbling score in Hanwoo* (Patente de Corea del Sur. No. KR101376277B1). Administración de Desarrollo Rural. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049452376/publication/KR101376277B1?q=KR101376277>
- Da Costa Barbon, A. P. A., Barbon, S., Campos, G. F. C., Seixas, J. L., Peres, L. M., Mastelini, S. M., Andreo, N., Ulrici, A., & Bridi, A. M. (2017). Development of a flexible Computer Vision System for marbling classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 536–544. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.017>

Gonzales, R. C. & Woods, R. E., (2018). *Digital Image Processing* (4a ed.). Pearson Educación.

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (s.f.). *INIA*. Recuperado el 27 de noviembre de 2024, de <https://www.gob.pe/inia>

Kombolo-Ngah, M., Goi, A., Santinello, M., Rampado, N., Atanassova, S., Liu, J., Faure, P., Thoumy, L., Neveu, A., Andueza, D., De Marchi, M., & Hocquette, J. (2023). Across countries implementation of handheld near-infrared spectrometer for the on-line prediction of beef marbling in slaughterhouse. *Meat Science*, 200, 109169. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109169>

Kuchida K., & Kano A. (2017). *Photographing device, photographing method, and meat quality evaluation method for carcass* (Patente de Japón. No. JP2017083523A). Oficina de Patentes Japonesas. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/058711842/publication/JP2017083523A?q=meat%20image%20japan>

Kuchida, K. & Kanai T. (2015). *Method for inspecting marbling in edible meat* (Patente de Japón. No. AU20130321855). Universidad de Agricultura y Medicina Veterinaria de Obihiro. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050387591/publication/AU2013321855A1?q=AU20130321855>

Lee, H., Koh, Y. J., Kim, Y., Lee, S. H., Lee, J. H., & Seo, D. W. (2022). MSENNet: Marbling score estimation network for automated assessment of Korean beef. *Meat Science*, 188, 108784. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108784>

Lisiak, D., Borzuta, K., Janiszewski, P., Fabian, M., Lisiak, B., Grzeskowiak, E. & Slosarz, P. (2013). *Process of estimating a marbling of the meat using optical-needle method* (Patente de Polonia. No. PL20120399231). Instituto de Agricultura y Biotecnología en Alimentos.

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049626470/publication/PL399231A1?q=PL20120399231>

Marquina, C. G., Almeyda, J. M., Barrón, J. A., & Elías, C. C. A. (2019). Aspectos de la calidad de carne pH, color y textura entre bovinos procedentes de centros de engorde y viajeros. *Anales Científicos U.N.A.*, 80(2), 613-625. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1513>

Meadows, L (2013, 28 de enero). *What's Your Beef – Prime, Choice or Select?* USDA. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://www.usda.gov/media/blog/2013/01/28/whats-your-beef-prime-choice-or-select>

Meat Image Japan (s.f.). *MIJ Camera Solutions*. MIJ labo. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://www.mij-labo.co.jp/en/home/>

More, M. (2016). *Caracterización faneróptica y morfométrica del vacuno criollo en Ayacucho, Puno y Cajamarca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2b9d3a00-03f3-442c-9e84-173f77d8ac2d/content>

Peng, Y., Zhao, X., Wang Y., Zhuang, Q. & Shen L. (2019). *Marbling-based fresh meat grading method, system and device* (Patente de China. No. CN201910626413). Universidad China Agricultural. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/068482736/publication/CN110458027A?q=CN201910626413>

Pinto, D. L., Selli, A., Tulpan, D., Andrietta, L. T., Garbossa, P. L. M., Voort, G. V., Munro, J., McMorris, M., Alves, A. A. C., Carvalheiro, R., Poleti, M. D., De Carvalho Balieiro, J. C., & Ventura, R. V. (2023). Image feature extraction via local binary patterns for marbling score classification in beef cattle using tree-based algorithms. *Livestock Science*, 267, 105152. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105152>

- Quispe, M., Arroyo, J., Kemper, G., & Soto, J. (2020). An Algorithm Oriented to the Classification of Quinoa Grains by Color from Digital Images. En J. Kacprzyk (Ed.). *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 237-247). Springer
- Salirrosas, M., Galvan G., & Kemper, G. (2019). *Equipo electrónico orientado al control de calidad del frejol tipo canario basado en los criterios de infestación y tonalidad de color* (Patente de Perú. No. PE20190543Z). INDECOPI. Dirección de Innovación y Nuevas Tecnologías.
<https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=PE244850726>
- Sánchez, J., Almeyda, J., & Isique, J. (2019). Caracterización de los sistemas de producción de vacunos, para el desarrollo ganadero en el distrito de Oxapampa – Pasco. *Anales Científicos*, 80(2), 594-612. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1512>
- Schulz, L., & Sundrum, A. (2021). Determining relationships between marbling scores and carcass yield traits of german beef bull carcasses using video-image analysis at the 12th and 10th rib position of Longissimus thoracis and EUROP classification. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 269. <https://doi.org/10.3390/app11010269>
- Spectral Evolution. (2020). *Analysis of Beef, Pork, and Poultry Characteristics*. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://spectralevolution.com/applications/general-photonics/analysis-of-beef-pork-and-poultry-characteristics/>
- Stewart, S. M., Gardner, G. E., Williams, A., Pethick, D. W., McGilchrist, P., & Kuchida, K. (2021). Association between visual marbling score and chemical intramuscular fat with camera marbling percentage in Australian beef carcasses. *Meat Science*, 181, 108369. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108369>
- Sun, X., Young, J., Liu, J. H., & Newman, D. (2018). Prediction of pork loin quality using online computer vision system and artificial intelligence model. *Meat Science*, 140, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.005>

- Torrescano, G. R., Sánchez, A., Vásquez, M. G., Varguez, A. F., Vargas, R. D., & Pardo, D. A. (2017). Estimación del grado de marmoleo de canales de bovino sonorenses utilizando diferentes metodologías: Análisis de imagen, evaluación USDA y extracción con solventes. *Biotecnia*, *19*(3), 34-39. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971092006.pdf>
- Velásquez, L., Cruz-Tirado, J. P., Siche, R., & Quevedo, R. (2017). An application based on the decision tree to classify the marbling of beef by hyperspectral imaging. *Meat Science*, *133*, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.06.002>