



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%