

ORIGINAL

Color in images: a machine vision approach to the measurement of CIEL*a*b* coordinates in bovine loins

El color en imágenes: un enfoque de visión artificial para la medición de coordenadas CIEL*a*b* en lomos de bovino

Olga Lucía Torres Vargas¹ ✉, Mateo Valencia Buitrago¹ ✉

¹Universidad del Quindío. Colombia.

Citar como: Torres Vargas OL, Valencia Buitrago M. Color in images: a machine vision approach to the measurement of CIEL*a*b* coordinates in bovine loins. LatIA. 2024; 2:103. <https://doi.org/10.62486/latia2024103>

Recibido: 03-02-2024

Revisado: 09-05-2024

Aceptado: 15-08-2024

Publicado: 16-08-2024

Editor: Prof. Dr. Javier González Argote 

ABSTRACT

Electronic machine vision systems bring together a set of technologies and techniques used to capture, process and analyze images to perform a specific task, such as object or measurement pattern recognition. These systems rely on image processing and machine learning algorithms to interpret visual information. Therefore, the objective of this research was the construction of an electronic machine vision system (SVA) for color analysis in bovine (*longissimus dorsi*) loins based on the CIEL*a*b* color space. The VAS implementation was carried out using the programming language Python 3.9 programming language and the color parameters obtained were compared with those obtained on a Minolta CR-400 colorimeter (CM). Both systems were synchronized to provide the user with information about the color coordinates in the samples of loins stored for 6 days at 4°C. The results obtained showed no significant differences. The results obtained showed no significant differences in the values of the L* parameter, while b* and a* showed significant differences during the storage time of the loins. These results are attributed to the oxidation process of the myoglobin and to factors such as breed, feeding and slaughtering process of the cattle, which affect the color of the samples. The results obtained indicate that VAS could be used for the determination of color during the storage of beef loins in real time, offering a non-invasive and low-cost solution to the actors in the meat chain.

Keywords: Image Analysis; Beef; Colorimeter; Artificial Vision System.

RESUMEN

Los sistemas electrónicos de visión artificial reúnen un conjunto de tecnologías y técnicas utilizadas para capturar, procesar y analizar imágenes que realizaran una tarea específica, como el reconocimiento de objetos o patrones de medida. Estos sistemas se basan en algoritmos de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para interpretar la información visual. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue la construcción de un sistema electrónico de visión artificial (SVA) para el análisis de color, en lomos de bovino (*longissimus dorsi*) fundamentado en el espacio de color CIEL*a*b*. La implementación del SVA se llevó a cabo utilizando el lenguaje de programación Python 3.9 y los parámetros de color obtenidos fueron comparados con los obtenidos en un colorímetro Minolta CR-400 (CM). Ambos sistemas fueron sincronizados para proporcionar al usuario información acerca de las coordenadas de color en las muestras de los lomos almacenados durante 6 días a 4°C. Los resultados obtenidos, no presentaron diferencias significativas en los valores del parámetro L*, mientras que b* y a* presentaron diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento de los lomos, estos resultados son atribuidos al proceso de oxidación de la mioglobina y a factores como la raza, la alimentación y el proceso de sacrificio de los bovinos, que afectan, el color de las muestras. Los resultados obtenidos indican que el SVA podría ser utilizado para la determinación del color durante el almacenamiento de lomos de bovino en tiempo real, ofreciendo una solución no invasiva y de bajo costo a los actores de la cadena cárnica.

Palabras clave: Análisis de Imagen; Carne de Bovino; Colorímetro; Sistema de Visión Artificial.

INTRODUCCIÓN

El color es una de las características organolépticas que más influye en la aceptabilidad de la carne y juega un papel importante en la decisión de compra por parte del consumidor (Parra et al., 2021). Uno de los problemas que presenta la evaluación del color es la metodología empleada para la obtención de información significativa, que permita comparar y mejorar los productos cárnicos de una forma versátil, rápida y en situ. Las medidas de color en los alimentos suelen realizarse con colorímetros digitales, que, aunque son fáciles de usar y calibrar, tienen limitaciones como el costo, el mantenimiento especializado, el tamaño del área de medición y la necesidad de contacto con la superficie a medir (Sanmartín et al., 2021). Por lo tanto; es importante que la evaluación del color se realice de manera coherente y objetiva, para obtener resultados fiables y reproducibles que reflejen la percepción humana y puedan realizarse de una manera no invasiva (Wu & Sun, 2013).

El espacio de color CIEL*a*b* ha demostrado ser uno de los más adecuados para evaluar el color en el área de alimentos, correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana (Anilkumar et al., 2021). Este sistema cartesiano consta de tres ejes: L* vertical, nos informa del grado de luminosidad o brillo de un color (Wyszecki & Stiles, 2000) y puede tomar valores entre 0 (negro) a 100 (blanco); a* horizontal, indica el contenido de rojo (+a*) o verde (-a*); y b* horizontal y perpendicular a a*, que representa el contenido de amarillo (+b*) o azul (-b*).

Estudios realizados utilizando SVA para la evaluación del color, se han centrado en la conversión de las imágenes obtenidas mediante el sistema de medida de color RGB al sistema CIEL*a*b* (Larraín et al., 2008). Análisis de la calidad del lomo de cerdo mediante un SVA en línea y un modelo de inteligencia artificial, indicaron que el SVA puede proporcionar una herramienta eficaz para predecir el color y el veteado en la carne porcina en las líneas de proceso en tiempo real (Sun et al., 2018). SVA y sistemas embebidos fueron utilizados como alternativas para evaluar la frescura de la carne de bovino, mediante el análisis de componentes principales (PCA) y máquinas de soporte vectorial (SVM), los resultados muestran que el sistema propuesto puede predecir con éxito la frescura, sugiriendo su viabilidad para su uso en el lugar y en tiempo real (Arsalane et al., 2020). Los SVA pueden determinar con precisión el color de productos cárnicos en el espacio CIEL*a*b*, garantizando la calidad de sus productos, mediante una evaluación rápida y precisa; características que a su vez puede influir en la percepción de los consumidores y en la rentabilidad del negocio (Nasiri & Mohi, 2021). Altmann et al. (2022) analizaron la metodología de percepción de los seres humanos de las diferencias de color en la carne de cerdo cruda, utilizando un sistema de visión por computadora. Modzelewska-Kapituła & Jun (2022) realizaron aplicaciones de SVA en la medición de volumen y superficie, evaluación de la calidad, determinación de la composición química de la carne y predicción de la calidad sensorial. El desarrollo de un SVA que pueda determinar con precisión el color en el espacio CIEL*a*b* de las imágenes en lomos de bovino, se presenta como una herramienta invaluable para la industria cárnica (Nasiri & Mohi, 2021). Por lo tanto, el desarrollo de SVA para el análisis de color en productos cárnicos se ha convertido en un campo de gran relevancia debido a su importancia como indicador de calidad de la carne.

MÉTODO

El proyecto que se presenta a continuación fue realizado en dos etapas, en la primera etapa se realizó la construcción del sistema electrónico de visión artificial (SVA) para el análisis de color en de lomos de bovino *Longissimus dorsi* y sus componentes físicos. Los lomos fueron adquiridos en un supermercado de la ciudad de Armenia, Quindío, con certificación Invima para su comercialización. En la segunda etapa fue realizada la programación del sistema de medida hardware en el sistema Python 3.9. Ambos sistemas debidamente sincronizados se encargan de presentar al usuario las coordenadas CIEL*a*b* en muestras de carne de bovino fresca (sacrificada el día cero) y almacenadas durante 6 días a 4°C, como se explica a continuación.

Configuración de la Raspberry Pi 4 para la captura y procesamiento de imágenes en el espacio de color CIEL*a*b*

Para asegurar la captura y procesamiento eficientes de imágenes de alta calidad, así como la velocidad necesaria para la aplicación, la selección del hardware del SVA es crucial y depende del nivel de precisión y del entorno de uso. Los componentes esenciales incluyen cámaras de alta resolución, procesadores de imagen, unidades de procesamiento gráfico (GPU) y dispositivos de almacenamiento de datos, que deben elegirse cuidadosamente para garantizar que el sistema cumpla con las funciones requeridas. Los componentes que se presentan en la tabla 1 fueron utilizados en la construcción del SVA obtenido.

Para garantizar un buen funcionamiento del SVA, fue colocada una lámina de color negro en la superficie exterior del equipo, que evita el paso de la luz al interior del compartimiento de medida de la imagen de la muestra (figura 1), el cual se encuentra recubierto por una lámina blanca en su interior. Ambas laminas se encargan de eliminar la interferencia de luz exterior y estabilizar la reflexión de la luz interior del compartimiento de medida.

Tabla 1. Componentes del Hardware utilizados en la construcción del sistema de visión artificial (SVA)

	Descripción	Características
Raspberry pi 4	La Raspberry Pi 4 es una computadora de placa única (SBC, por sus siglas en inglés) desarrollada por la Fundación Raspberry Pi. Es una versión más reciente y potente de la serie de computadoras Raspberry Pi, conocida por su tamaño compacto, bajo costo y versatilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: Broadcom BCM2711 de cuatro núcleos • Memoria RAM: 4 GB • GPIO: Conserva la interfaz GPIO (General Purpose Input/Output) que permite la conexión de componentes electrónicos y periféricos externos • Conectividad: Ofrece diversas opciones de conectividad, incluyendo puertos USB 3.0 y 2.0, conexión Gigabit Ethernet, Wi-Fi 802.11ac de doble banda y Bluetooth 5.0
Cámara	La Logitech PRO C920 es una cámara web de alta calidad que ofrece una excelente combinación de resolución de video, calidad de imagen, audio claro y facilidad de uso,	<ul style="list-style-type: none"> • Resolución de video: La C920 captura video en Full HD 1080p a 30 fotogramas por segundo • Corrección automática de iluminación: Incorpora tecnología de corrección automática de iluminación que ajusta automáticamente la exposición y el balance de blancos
Iluminación	Regleta LED blanca, dispositivo de iluminación que consta de una serie de LEDs blancos dispuestos en una estructura alargada y delgada.	<ul style="list-style-type: none"> • La potencia consumida por toda la regleta es 14,9W, la cual genera una eficacia de luminosidad de 148l m/W

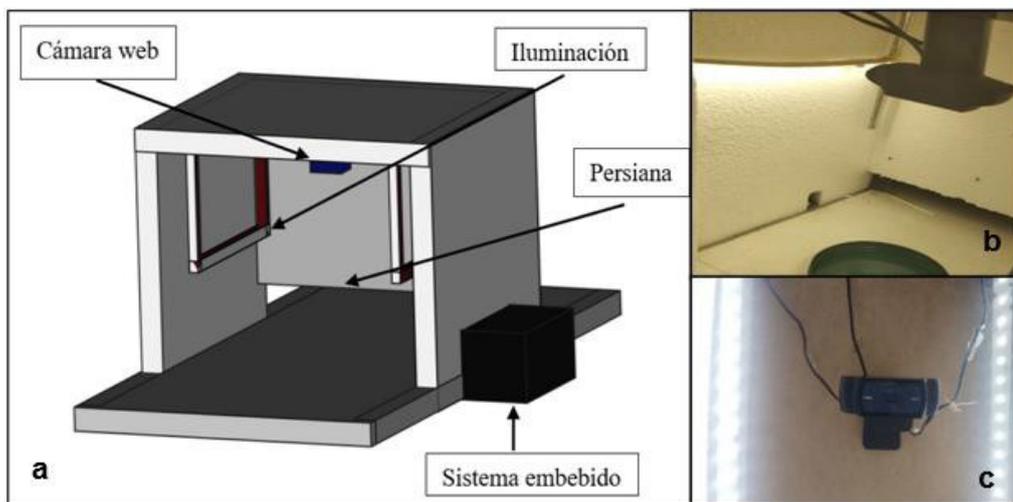


Figura 1. a) Sistema de Visión Artificial (SVA) para la medición y análisis de color en muestras de lomos de bovino, b) Compartimiento interno del SVA, c) Posicionamiento de la cámara y el sistema de iluminación.

Proceso de adquisición de la imagen en el Sistema de Visión Artificial (SVA)

Para la implementación de un SVA acorde a los requisitos planteados y teniendo en cuenta las características del hardware adquirido, se planteó el diseño de un software que permita la calibración de la cámara y la detección del color de los lomos de bovino, siguiendo las etapas propuestas en el diagrama de bloques que se presenta en la figura 2. El eje central de esta etapa está conformado por un sistema embebido, dicho sistema fue implementado en una Raspberry Pi 4, ejecutando el sistema operativo Raspberry Pi OS, que se encargan de capturar la imagen, segmentarla, redimensionarla, almacenarla y entregar una respuesta en términos del sistema CIEL*a*b* al usuario.

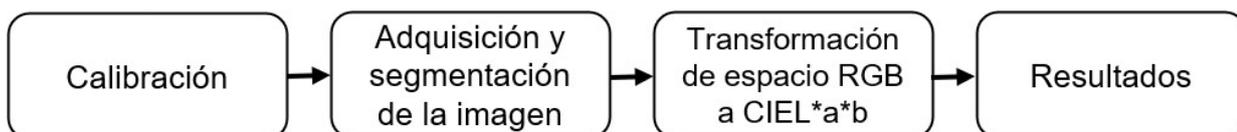


Figura 2. Etapas establecidas en el diseño y construcción del software para el Sistema de Visión Artificial (SVA)

Finalizada la sincronización del equipo fue realizada la etapa de calibración. La distancia focal y centro óptico obtenidos en la matriz de calibración de la cámara se presentan en la tabla 2. Estos valores fueron utilizados en la función de calibración, con el propósito de obtener una mejor resolución de imagen en el momento de

la captura de la longitud focal (f_x , f_y), centros ópticos (c_x , c_y) y la comparación de la imagen obtenida en la cámara sin calibrar, como se puede observar en la figura 3.

Tabla 2. Valores de los parámetros intrínsecos de la cámara Logitech PRO C920

Parametros	Valor
f_x	956,602
f_y	103,179
c_x	291,159
c_y	73,680

Para determinar el color se utilizó una cámara Logitech PRO C920, que ofrece ventajas como la captura de una gran cantidad de información espacial, la capacidad de medir superficies de diversos tamaños, disponibilidad de una amplia gama de modelos a precios más accesibles, y no requieren contacto directo con la superficie a medir. Sin embargo, la información se obtiene en el espacio de color: Rojo, Verde, Azul (RGB) debe transformarse al espacio de color CIEL*a*b*, usando modelos teóricos (Castellanos et al., 2022). Los parámetros y las ecuaciones que se utilizaron en esta etapa se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización del color en lomos de bovino: ecuaciones y equipo especializado

Parametros	Ecuaciones	Equipo de medida de color
Luminosidad: L^*	$L^* = 116 (Y^{1/3}/Y_n) - 16$ Ec. (1)	 <p style="text-align: center;">Colorímetro CR-400 (Konica Minolta Sensing Americas. ,2023)</p>
Coordenada cromáticas: a^*	$a^* = 500 [(X^{1/3}/X_n) - (Y^{1/3}/Y_n)]$ Ec. (2)	
Coordenada cromáticas: b^*	$b^* = 200 [(Y^{1/3}/Y_n) - (Z^{1/3}/Z_n)]$ Ec. (3)	

Con el propósito de establecer un parámetro de comparación, fueron realizada medidas de color en el SVA y el colorímetro CR-400 Konica Minolta (tabla 3), tomando las coordenadas de color L^* , a^* y b^* en cinco puntos de cada muestra de lomos de bovino fresco y almacenados durante 6 días, los valores reportados fueron calculados como el promedio de estas medidas. La determinación y expresión del color fue realizada con base a las coordenadas CIEL*a*b* (tabla 3) y los valores de reflectancia (CIE, 1976), obteniendo las coordenadas: Luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*), directamente del equipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la realización del proyecto, una vez finalizadas la construcción del sistema electrónico y la programación del sistema de medida hardware del SVA en su forma estructural, se construyó un compartimiento para la adquisición de las imágenes, que funciona como la estructura principal del equipo, que soporta la muestra de lomos de bovino que se va a analizar y los demás componentes, como se puede observar en la figura 1.

Captura de la Imagen y extracción de las coordenadas CIEL*a*b* en el SVA

El proceso de captura de imágenes que realiza el SVA es fundamental para la adquisición de datos visuales que serán utilizados en el análisis del color de los lomos y análisis posteriores. La figura 3 muestra las diferentes etapas que fueron realizadas en SVA durante la captura, calibración y segmentación de la imagen. Inicialmente,

fue realizada la preparación del entorno y de la muestra de lomos de bovino, para ello fueron garantizadas las condiciones óptimas de iluminación y alineación que permitieran una captura precisa de la imagen (figura 3a). La distancia focal y centro óptico obtenidos en la matriz de calibración de la cámara se presentan en la tabla 2. Estos valores son utilizados en la función de calibración, con el propósito de obtener una mejor resolución de la imagen al momento de la captura y la comparación con la imagen obtenida en la cámara sin calibrar.

La imagen fue capturada mediante la cámara Logitech PRO C920 y sometida a un proceso de análisis para reducir el ruido y mejorar su calidad, también fueron realizados ajustes de contraste y corrección de color, para optimizar su utilidad en análisis posteriores (figura 3b). Terminado el proceso anterior, fue realizada la segmentación de la imagen con el propósito de identificar la región de interés (ROI) dentro de la imagen completa del lomo de bovino obtenida (figura 3c). Esta segmentación implicó la utilización de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes, como umbralización y detección de características que permitieran distinguir la ROI del fondo y otros elementos irrelevantes. La región de interés identificada se convierte en el foco principal de análisis y aplicaciones posteriores, permitiendo la detección de características, reconocimiento de patrones y toma de decisiones basadas en una información visual precisa y relevante.

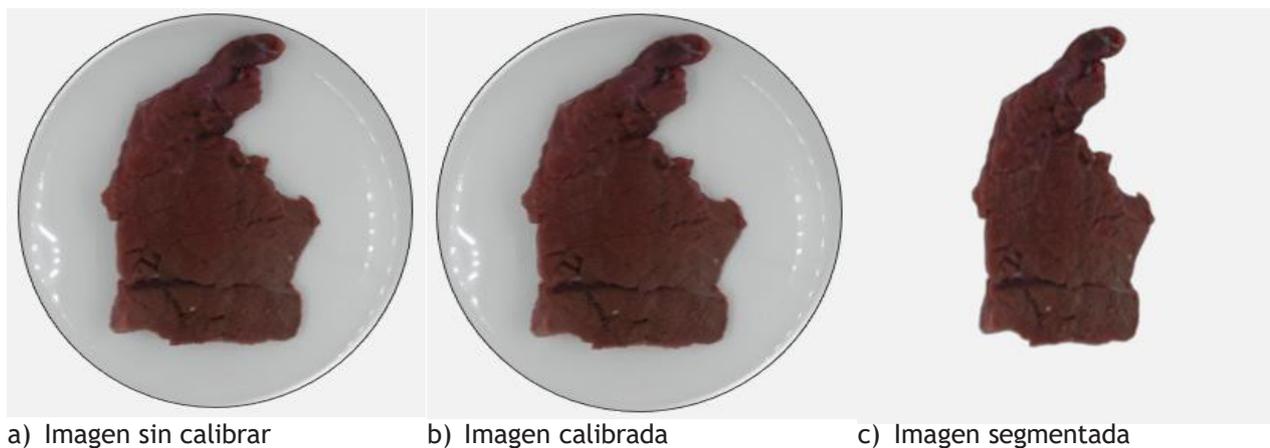


Figura 3. Imagen de lomo de bovino a) antes y b) después del proceso de calibración y c) imagen segmentada

Una vez concluidas las etapas anteriores se realizó la medida y se extrajeron los valores de los parámetros L^* , a^* y b^* de la imagen obtenida del lomo de bovino. La imagen adquirida por el software Python 3.9 fue convertida del espacio RGB al espacio CIEL*a*b*, utilizando las ecuaciones (1), (2) y (3) que se presentan en la tabla 3. El sistema calcula la media de las coordenadas Luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*). Finalmente, el usuario podrá visualizar en la interfaz ambas componentes enfrentadas a la imagen original de lomos de bovino durante los días (0-6) de almacenamiento a 4°C , como se presenta en la tabla 4. Esta información es almacenada en el computador.

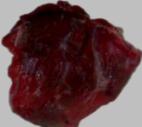
Comparación entre las medidas de color obtenidas en el Sistema de Visión Artificial (SVA) y el Colorímetro Minolta CR-400 (CM)

Las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , obtenidas en el SVA fueron comparados con las coordenadas obtenidas en el CM y se presentan en la tabla 4. Para poder obtener los valores de color en el CM fue necesario tomar medidas en varias secciones de la muestra y obtener valores promedio, debido a que el área de análisis del colorímetro es de aproximadamente 8 mm de diámetro y no alcanzaba a cubrir el área total de las muestras de carne, tejido conectivo y grasa intramuscular que podrían influir en las características colorimétricas de la parte magra de estas (Girolami et al., 2013).

Muestras: lomos de bovino, Equipo: SVA: sistema de visión artificial, CM Colorímetro Minolta, tiempo de almacenamiento (Día 0-6), L^* , a^* y b^* coordenadas de color.

Los valores obtenidos en el SVA de muestras de lomo de bovino representan la muestra en su totalidad y pueden ser observadas desde el monitor del equipo, permitiendo garantizar medidas homogéneas de las partes magras o de interés para el investigador. Los valores obtenidos para la coordenada L^* presentaron tendencias similares en los dos equipos de medida para las muestras de lomos de bovino. Esta coordenada está relacionada con el pigmento total contenido en la carne, haciendo que el producto sea más oscuro o más opaco como se puede observar en la tabla 4. Los valores de L^* disminuyen con el tiempo de almacenamiento, indicando que L^* es útil para diferenciar el color entre muestras de carnes durante el tiempo de almacenamiento (Xing et al., 2007).

Tabla 4. Coordenadas CIEL* a* b* en muestras de lomos de bovino durante el tiempo de almacenamiento a 4 °C, adquiridas en el Sistema de Visión Artificial (SVA) y el Colorímetro Minolta CR-400 (CM)

Muestra	Tiempo de almacenamiento	Valores coordenadas CIEL* a* b*	
		SVA	CM
	Día 0	L*: 59,61186178 a*: 5,3776992 b*: -8,3727804	L*: 60,48523865 a*: 5,96368978 b*: -9,44569322
	Día 1	L*: 58,27551214 a*: 5,64158818 b*: -9,77889147	L*: 58,26325783 a*: 5,89857451 b*: -10,80364578
	Día 2	L*: 50,12012421 a*: 2,64234985 b*: -4,39190818	L*: 49,85823695 a*: 2,59834857 b*: -5,52364735
	Día 3	L*: 51,35447075 a*: 2,35686958 b*: -4,21038999	L*: 50,56891525 a*: 2,56457985 b*: -4,32659524
	Día 4	L*: 61,63334934 a*: 3,06043796 b*: -4,96354232	L*: 50,85621394 a*: 3,84785622 b*: -5,29425367
	Día 5	L*: 48,91479247 a*: 2,94847217 b*: -4,34895065	L*: 49,09458236 a*: 3,52584793 b*: -3,95864127
	Día 6	L*: 48,23733609 a*: 1,46530337 b*: -2,86972267	L*: 48,18945633 a*: 1,98647817 b*: -3,99857426

La coordenada a* está relacionada con el contenido de mioglobina y la coordenada b* está relacionada con los estados de la mioglobina (Pérez et al., 1998). Los valores obtenidos para las coordenadas a* y b* presentaron diferencias significativas entre los dos equipos de medida. Disminuyeron durante las primeras horas de almacenamiento, tiempo que corresponde a la etapa de oxidación de la carne haciendo que se presenten cambios más pronunciados en b*, este comportamiento también puede atribuirse a la luz reflejada y refractada de las capas de metaglobina y glucoglobina. (Girolami et al., 2013). Otro factor que pudo influir en los valores obtenidos para a y b* es atribuido a la metodología empleada para la captura de la imagen en el Colorímetro Minolta y a factores como la raza, alimentación de los bovinos y el proceso de sacrificio que afectan el proceso de oxidación de la mioglobina y por lo tanto el color de las muestras de carne durante el tiempo de almacenamiento.

Los procesos descritos anteriormente, desde la construcción del sistema electrónico de visión artificial hasta el diseño del software para análisis de color en lomos de bovino, han culminado en resultados significativos y prometedores. Estos resultados ofrecen una visión clara sobre la viabilidad y eficacia del sistema desarrollado para la evaluación del color en muestras de carne bovina fresca y almacenada.

CONCLUSIONES

Los valores de color obtenidos mediante la aplicación de las coordenadas CIEL*a*b* y su comparación con el Colorímetro Minolta CR-400 en las muestras de lomos de bovino fresco y durante el tiempo de almacenamiento, no presentaron diferencias estadísticas significativas con relación a los valores de L*, los valores obtenidos para a* y b* presentaron diferencias estadísticas atribuidas a la metodología empleada para la captura de la imagen en el Colorímetro Minolta y a factores propios de la carne de bovino.

Los resultados obtenidos permitieron establecer que el sistema de visión artificial construido puede ser utilizado en la realización de medidas de color en lomos de bovino fresco y durante el tiempo de almacenamiento de una forma sencilla, rápida, no invasiva, en tiempo real y bajo costo.

Esta herramienta tecnológica permitirá a los productores, comercializadores y procesadores de carne, tomar medidas de gestión adecuadas para obtener productos de calidad y alta aceptación por parte de los consumidores. También constituye en la actualidad un importante campo abierto de investigación y una excelente oportunidad para la electrónica y la agroindustria, apuntando a la generación de ciencia y tecnología propia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altmann, B. A., Gertheiss, J., Tomasevic, I., Engelkes, C., Glaesener, T., Meyer, J., Schäfer, A., Wiesen, R., & Mörlein, D. (2022). Human perception of color differences using computer vision system measurements of raw pork loin. *Meat science*, 188, 108766. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108766>

2. Anilkumar, K. K., Manoj, V. J., & Sagi, T. M. (2021). Efficacy of CIEL*a*b* and cmyk color spaces in leukemia image analysis: a comparison by statistical techniques. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 33(06), 2150042. <http://dx.doi.org/10.4015/S1016237221500423>.

3. Arsalane, Assia & Klilou, Abdessamad & Nouredine, El Barbri & Abdelmoumen, Tabyaoui. (2020). Artificial vision and embedded systems as alternative tools for evaluating beef meat freshness. 1-6. 10.1109/ICOA49421.2020.9094503.

4. Castellanos Tolosa, N y Sánchez Jiménez, M. (2022). Desarrollo de carne de hamburguesa a base de harina de grillo. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/55654>.

5. Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., & Braghieri, A. (2013). Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat science*, 93(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.010>.

6. Larraín, R., Schaefer, D., Reed, J. (2008). Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International*, 41(4), 380-385. DOI: 10.1016/j.foodres.2008.01.002.

7. Modzelewska-Kapituła, M., & Jun, S. (2022). The application of computer vision systems in meat science and industry-A review. *Meat Science*, 192, 108904. DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108904.

8. Nasiri, A., & Mohi, K. (2021). A machine vision-based system for measuring the chromatic parameters of bell pepper using artificial neural networks.

9. Parra-Bracamonte, G. M., López-Villalobos, N., Vázquez-Armijo, J. F., Magaña-Monforte,

10. J. G., Martínez-González, J. C., & Moreno-Medina, V. R. (2021). Perspectivas Del Consumidor Mexicano Sobre La Calidad De La Carne De Bovino. *Perspectives Of Mexican Consumer on Beef Quality. Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24,85. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3702>.

11. Pérez-Álvarez, J. A.; Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, M. E.; Cartagena-García, R. (1998). Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne* 63, 115-122

12. Salueña, B. H., Gamasa, C. S., Rubial, J. M. D., & Odriozola, C. A. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat science*, 157, 107889. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.107889.

13. Santos, M. D., Castro, R., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. (2020). Improvement of the refrigerated preservation technology by hyperbaric storage for raw fresh meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(3), 969-977. DOI: 10.1002/jsfa.10083.

14. Sanmartín, P., Fuentes, E., Serrano, M., & Prieto, B. (2021). Methodological aspects for the determination of color in soil-plant relationship studies.
15. 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>.
16. Wu, D., Sun, D. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control A review. *Trends in Food Science and Technology*, 29(1), 5-20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>.
17. Wyszecki, G., & Stiles, W. S. (2000). *Color science. Concepts and methods, quantitative data and formulae* John Wiley and Sons, Inc Second.
18. Zaukuu, J. L. Z., & Tsyawo, E. C. (2024). Rapid and non-destructive detection of ponceau 4R red colored pork. *Meat Science*, 209, 109400. [10.1016/j.meatsci.2023.109400](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109400).

FINANCIACIÓN

No existe financiación para el presente trabajo.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.

Investigación: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.

Metodología: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.

Administración del proyecto: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.

Redacción-borrador original: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.

Redacción-revisión y edición: Olga Lucía Torres Vargas, Mateo Valencia Buitrago.