

STRATEGY BASED ON ARTIFICIAL VISION AND SOM NET FOR THE CLASSIFICATION OF MARBLED MEAT

ESTRATEGIA BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL Y RED SOM PARA LA CLASIFICACIÓN DE CARNE MARMOLEADA

Huarote Zegarra Raúl Eduardo, Maestro¹  Katherine Susan Llanos Chacaltana, Maestro² , Larios Franco Alfredo Cesar, Doctor¹ , and Julca Flores Janett Deisy, Maestro¹ 

¹Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú, ruarote@untels.edu.pe, alarios@untels.edu.pe, jjulca@untels.edu.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, susan.llanos@upn.edu.pe

Abstract– The classification of marbled meat from the cuts is very important since it automatically allows the identification of the type of meat to which it belongs, generating a tool base for the goat industry for its easy and prompt selection. This classification allows it to be done based on the images in .jpg format of the marbling cuts (being 104 images as input for the selection), considering the different conditions taken for their analysis and classification (Low, medium, high), to achieve said classification, a tool based on artificial intelligence is used, specifically the SOM neural network. In such a way to make the classification easier (according to the quantity, shape and accumulation of intermuscular fat present), since it does not require a specialist or with extensive knowledge in the identification of types of meat, to carry out its classification, placing it in equipment or automated machinery for use in industries. The validation is carried out using the confusion matrix, achieving a sensitivity of 1.0 and a specificity of 0.94 and a precision of 0.83. The strategy for preparing data based on artificial vision, until obtaining data for input to the SOM neural network is detailed step by step in this article.

Keywords– Meat classification, marbling, machine vision, SOM neural network, strategy

Resumen- La clasificación de la carne marmoleada a partir de los cortes, es muy importante ya que permite de manera automática poder identificar el tipo de carne a la que pertenece, generando una base de herramienta para la industria caprina para su fácil y pronta selección. Esta clasificación permite realizarlo en base a las imágenes en formato .jpg de los cortes de marmoleo (siendo 104 imágenes como insumo para la selección), considerando las diferentes condiciones tomadas para su análisis y clasificación (Bajo, medio, alto), para lograr dicha clasificación se usa una herramienta basada en inteligencia artificial, específicamente la red neuronal SOM. De tal manera hacer más sencillo la clasificación (según la cantidad, forma y acumulación de grasa intermuscular presentes), ya que no requiere de un especialista o con conocimientos amplios en la identificación de tipos de carnes, para la realización de la clasificación del mismo, colocándolo en equipos o maquinarias automatizadas para utilización en las industrias. La validación se realiza mediante la matriz de confusión, logrando una sensibilidad de 1.0 y una especificidad de 0.94 y una precisión de

0.83. La estrategia para la preparación de datos basado en visión artificial, hasta la obtención de datos para el ingreso a la red neuronal SOM se detalla paso a paso en el presente artículo.

Palabras Clave: Clasificación de carne, marmoleo, visión artificial, red neuronal SOM, estrategia.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de clasificación de carne tiene que ser minuciosa, ya que se necesitan varios procedimientos para lograrlo, así también de equipamiento necesario, que por lo general tiene que ser especializado “Ref. [1]”, así también, la calidad de carne constituye un valor sensorial y nutricional, así como una serie de propiedades funcionales para el proceso y fabricación de productos de implicación cárnica. “Ref. [2]”, además Taheri-Garavand en [3] ratifica que la gente tiende a incluir más carne en su dieta alimenticia para mejorar su calidad de vida considerando los valores nutritivos de la carne si es que esta es de calidad, garantizando la salud pública si esta aumenta la producción a nivel mundial. En suma, para lograr esto genera costo alto y tiempo a las industrias del rubro caprino, considerando que tienen como objetivo lograr que las carnes sean de exportación, por tanto, deben estar bajo los estándares internacionales. Así también se requiere personal especialista (certificado) en el manejo de insumos químicos para medir la calidad, siendo actualmente un proceso invasivo afectando a la carne, entre otras cosas menciona Tao en [4]. Para lograr identificar la calidad de la carne marmoleada, depende de muchos factores para la selección. Una de las formas de selección se realiza de manera visual, ve la textura, el color, etc., en el cual el especialista bajo su criterio (experiencia) lo califica dentro de un rango de calidad, a pesar de que existe otro método adicional para su comprobación que es el tacto según Xion en [5]. Específicamente desde el punto de vista visual es que se va a inclinar la presente investigación en identificar la carne marmoleada dentro de los rangos de calidad.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Estado del arte

La necesidad de las industrias caprinas a identificar de manera más detallada la calidad de la carne marmoleada, genera una necesidad de conocer métodos alternativos de cómo clasificar los cortes de carne, que por lo general es tediosa e implica costo, por tanto se desarrollaron varios estudios en el cual aplican sus métodos para el proceso de clasificación, destacando la importancia de la visión artificial en las notables investigaciones, tal como Costa en [6] basándose en la visión artificial presentó un modelo de clasificación de marmoleado de carne aplicando contraste al musculo de la carne, la segmentación, análisis mediante la tonalidad la grasa intramuscular, así como el algoritmo de k-Nearest Neighbours, llegando a dar una puntuación de calidad de la carne a ser evaluada, logrando una precisión de 81.59% para los cortes de marmoleo de bovino y 76.14% para cerdos. Considerando la investigación de Testa en [7] donde aplica algoritmo de aprendizaje automático para la identificación de la calidad de carne argentina, tomando como base las diferentes imágenes (82 imágenes) en diferentes condiciones de iluminación, filtrado, normalizado hasta encontrar la zona deseada, usando el algoritmo de k-means donde toma como parámetros de entrada lo obtenido de las imágenes correspondientes a la grasa muscular, obteniendo un 98% de precisión. En otra investigación vinculada a la identificación de calidad de carne encontramos a Jahan en [8] el cual pretende optimizar la calidad de las codornices japonesas en función de su crecimiento temprano, sexo y peso del huevo, como predictores a través de una red neuronal artificial (ANN), el cual utilizó una red neuronal de perceptrón multicapa, encontrando la mejor estructura de la red neuronal con 7 neuronas en la capa de entrada, 11 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida, con un coeficiente de determinación (R^2) fue 0,9404, 0,9359 y 0,9223 para las fases de entrenamiento, validación y prueba, respectivamente. También en la investigación de Tang en [9] ha logrado cuantificar y visualizar las características de calidad de la carne de cerdo mediante tratamiento de imágenes hiperespectrales, a partir de 14 rasgos de calidad de la carne identificados usando visión artificial logrando obtener una precisión de 0.6 a 0.7, el cual sugiere su investigación aplicar en procesos industriales. Otra investigación realizada por Haoran en [10] logra identificar especies de carnes mediante descomposición combinada inducida por láser y espectroscopia Raman, usando una red neuronal backpropagation logra clasificar tejidos de carne de res, cordero y cerdo, obteniendo resultado de 99.42% de precisión aplicando el modelo combinado de LIBS-Raman. En otra investigación aplicando visión artificial de Chen en [11] tomo como insumo a 1481 fotos de 200 músculos de lomo de cerdo, para identifica rasgos en el cual le da una puntuación en base a los parámetros que ha considerado, como color de la carne, color de marmoleo, ph, jugosidad por goteo, espesor de la grasa, porcentaje de humedad, obteniendo una precisión de

0.875 y 0.89 para los modelos SR (regresión escalonada) y GBM (máquina de refuerzo de gradiente) respectivamente.

En este estudio se pretende lograr un sistema clasificador de imágenes de cortes carnes empleando redes neuronales artificiales SOM (Mapas autoorganizativos) empleando como insumo para el entrenamiento imágenes extraídas de la fuente de datos libres. El sector de producción de carnes, tomando en cuenta que la carne es la tercera variedad de carnes más producida en el mundo, por detrás del cerdo y aves. Según la FAO en [12] considera para el 2022 a las empresas productoras de carne vacuno a EE. UU. como principal productor, Brasil como segundo mejor producto por delante de China, así también USDA en [13] considera el crecimiento de Brasil en la producción de carnes en un 8% para este año 2023, y se prevé 2% adicional para el año 2024, representando en la actualidad el 30% de la producción mundial en exportación de carnes. Así también en España “Ref. [14]”, el crecimiento de las exportaciones de carne bovina fue alentador con un 8.04% respecto al año anterior (de 86.6M a 93.5M), siendo los principales destino Portugal, Italia, Francia, países Bajos, Grecia, Alemania, Polonia, etc., así también las importaciones crecieron en un 7.67%. En el país asiático según [15] encontramos a China como el noveno importador de Carne Bovina en el mundo atrayendo mercados de EE. UU., Nueva Zelanda y Rusia entre sus principales importadores. Este crecimiento a nivel mundial en el consumo de carne Bovina implica un mayor consumo en las mesas favoreciendo a las industrias del sector.

EL presente artículo está orientado a la identificación de calidad de carne bovina marmoleada basado en estrategia aplicada en el área de Visión Computacional, para poder pasarlo a otra área de la IA, que es redes neuronales artificiales, específicamente a la red SOM (Mapas autoorganizativos). La aplicación de estos 02 criterios principales ha permitido identificar la carne bovina en un nivel determinado de calidad. Esta aplicación contribuye identificar con mayor rapidez (automático) el nivel de calidad, sin necesidad de contar con un especialista (con experiencia), ya que va a apoyar a las industrias del sector, con la inocuidad de la herramienta a la carne, ya que la obtención de las características propias de la carne está siendo obtenida por una cámara digital y en una posición adecuada. Al mismo tiempo puede tener un control de calidades de carne bovina en el cual se está trabajando, ya que este resultado (nivel de calidad) se puede manejar en una base de datos para posterior tratamiento.

La estructura del presente artículo primero describe la estrategia aplicada a la imagen, para obtener su representativo, después describe la herramienta basada en red neuronal para el aprendizaje, para ayudar a identificar las calidades de carne bovina. Para finalizar se muestra el resultado obtenido al aplicar esta estrategia con imágenes de carne bovina de fuente gratuita.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Marmoleado de carne

Diferentes instituciones especialistas en el preparado de carnes como en México “Ref. [16]”, Chile “Ref. [17]”, España “Ref. [18]”, Uruguay “Ref. [19]” coinciden que es la grasa muscular (saludable) que posee el animal, genéticamente forma parte de su composición, se refiere a la cantidad y distribución de grasa intramuscular presente en la carne, esta forma visual es parecida al mármol, de ahí el nombre. La calidad de marmoleo por lo general se mide en grados (varía en cada país) donde se toma la escala de 1 a 12, donde el valor más alto se considera que tiene una mayor cantidad de marmoleo por tanto una mejor calidad en sabor y textura, tal como se visualiza en la Fig 1, a partir de BMS (Beef Marbling Standards), y en base a estos datos se ha considerado la siguiente Tabla 1, el cual agrupa a las calidades de los tipos de marmoleos.

Tabla 1

Calidad	Nombre	Rango en base a BMS
1	Baja	1 al 4
2	Media	5 al 8
3	Alta	9 al 12

Tabla 1. descripción numérica de la calidad de carne.

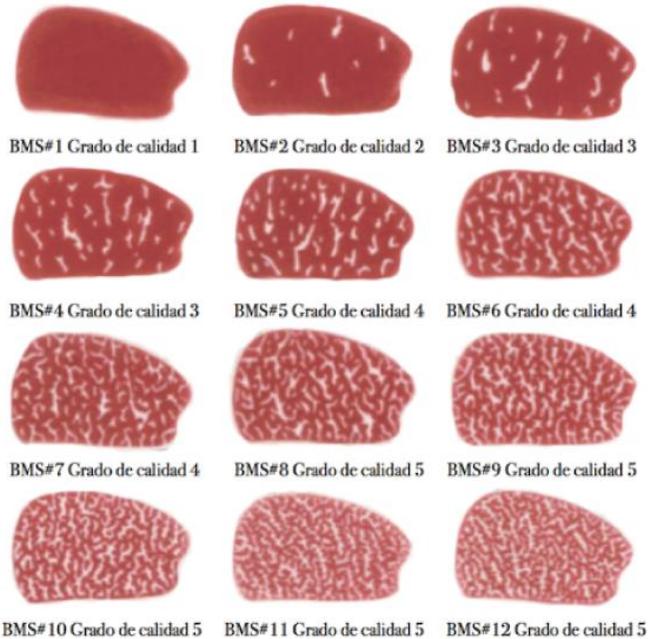


Fig1. Estándares de marmoleo de la carne BMS (Beef Marbling Standards)

B. Cálculo de parámetros del marmoleo de la carne

En función de las características de las imágenes, es necesario extraer las características el cual será el representativo de la imagen inicial (que es el marmoleo de la carne) que en este caso serán las orientaciones. Estos parámetros pueden incluir la densidad de grasa, el tamaño de

las áreas marmóreas o la distribución espacial de la grasa intramuscular, por lo cual se expresa en los siguientes detalles:

- El área de marmoleado (AM) es el área de color blanco de la imagen ya binarizada, ósea la cantidad de valores en tono de gris 255 por cada píxel.
- El área total del corte (AT) se considera en función del área (256x256).
- Para encontrar el número de partículas (NM) o áreas de blanco, donde se puede encontrar con la función findContours propio del Opencv.
- Para encontrar el área de cada una de las partículas es necesario usar un conteo de la cantidad de valores en tono de gris, por cada área de color blanco (tono de gris 255) en esa área encontrada, el cual se puede encontrar la media del área de partículas de la carne marmoleada.
- Considerando que puede existir marmoleos grandes (AMG), ósea cantidad de área de partículas mayores al promedio.
- Considerando que puede existir la cantidad de marmoleos grandes (NMG), ósea cantidad de partículas mayores al promedio.
- También se debe considerar como áreas pequeñas (AMP) el cual es la diferencia de AM – AMG.
- También la cantidad de NMP que es la cantidad de marmoleo pequeñas se calcula por la diferencia entre NM – NMG.
- Considerando la relación que existe entre el AM/AT.
- Por tanto, para encontrar la relación se aplica el ratio $\text{Area_total}/\text{Area_marmoleo}$.

Cabe resaltar que estos datos obtenidos (AM, AT, NM, AMG, NMG, AMP, NMP, etc.), también forman parte del filtrado para el proceso de entrenamiento del tipo de carne marmoleada según la Tabla 1.

C. Visión artificial

Extraen información a partir de una escena basándose en modelos matemáticos, esto coincide con las opiniones de Morales en [20] donde considera que abarca un sinfín de técnicas y herramientas matemáticas, también Gutiérrez en [21] donde considera que la imagen procede de un espacio muestral con una intensidad de imagen óptica, que no es más que un conjunto de píxeles y que para Cuevas en [22] es un fascinante campo que forma parte de la vida diaria.

D. Red neuronal SOM

Para el modelo de red neuronal autoorganizativo de Kohonen en [23] ha mostrado el proceso de aprendizaje de una red neuronal artificial, donde no considera un tutor. Para lograr ello en su investigación se basó en la manera como la información es captada a través de los órganos sensoriales de los animales (específicamente en el córtex superior), donde las zonas detectoras se ordenan y representan internamente formas

de mapas bidimensionales (la capa competitiva), donde compiten y se agrupan según las características resaltantes de cada imagen ingresadas. Este tipo de red neuronal permite clasificar de acuerdo a la similitud de los patrones, que son característicos de cada clase, y que para el proceso de aprendizaje trabaja en función de un modelo competitivo, donde la neurona vencedora (en base a la menor diferencia cuadrada de los patrones de entrada y pesos), por tanto, se puede clasificar entre otras cosas al marmoleado de carne, de acuerdo a sus características comunes. Cabe resaltar que los patrones representativos se refieren a características o elementos significativos presentes en los datos que se utilizan para describir y representar una determinada clase o categoría.

E. Operador SOBEL

Es un algoritmo que permite el resalte de bordes, donde se caracteriza por ser un operador diferencial discreto que realiza el cálculo la aproximación al gradiente de la función de identidad de la imagen. El cual consiste en aplicar convolución a la imagen original o la de carne marmoleada en tono de gris, para lograr calcular las aproximaciones a las derivadas, un kernel que por lo general es de una matriz de 3x3 para los cambios horizontales y otro para las verticales “Ref. [24]”.

F. Recolección de muestras

Es necesario recopilar un conjunto de muestras etiquetadas de cortes de carne con diferentes calidades de marmoleo. Estas muestras servirán como insumo para el proceso de aprendizaje o entrenamiento para la red neuronal SOM.

La data de muestra fue obtenida a partir de imágenes de sitios web de carnicerías y clasificadoras de carne donde se indique el nivel de calidad. Se recolectaron 30 muestras las cuales generaron 120 imágenes para el entrenamiento y 30 para las pruebas posteriores.

III. ESTRATEGIA

Describe cuales son las funciones, así como los pasos necesarios para llegar a clasificar los diferentes tipos de carnes, con el fin de resaltar las zonas de marmoleado de las imágenes de cortes de carne que hay en el mercado internacional. En base a los experimentos y datos utilizados para obtener los resultados esperados, tomando como herramienta un conjunto de procesos propios de la visión artificial, tal como se observan en la Fig 2. los pasos seguidos de todo el proceso de transformación de las imágenes.

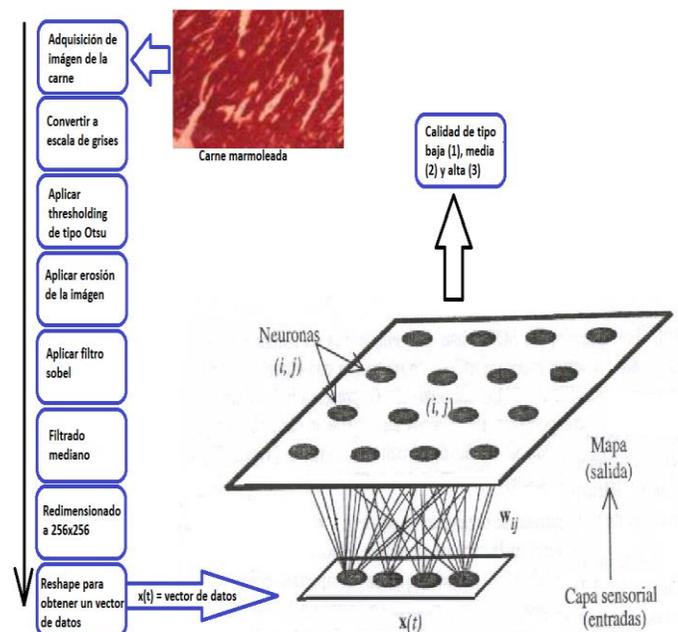


Fig 2. Estrategia de aprendizaje de calidad de carne marmoleada

En detalle de la funcionalidad de la Fig 2. el cual comprende, primero la adquisición de la imagen de la carne marmoleado, que puede ser por medio de una cámara digital con el fin de obtenerlo en formato digital (ya sea en formato .jpg o .png), en segundo lugar esta la operación de convertir la imagen de 3 canales (R,G,B) a escala de gris, para poder manejarlo en una matriz de 2 dimensiones de mxn, en tercer lugar, está la aplicación morfológica el cual se considera como matriz núcleo 3x3 con función `ximgproc.thinning` que es propio del `openCV`, cuarto paso es el binarizado de tipo Otzu, para poder contrastar el marmoleo (o la grasa) propia de la carne para su posterior tratamiento, en el quinto paso está la aplicación del filtro Sobel, para poder emparejar lo que pueden ser puntos pequeños que no necesariamente pueden ser grasa de la carne, como sexto paso que tiene la misma funcionalidad del paso anterior, que es para emparejar los puntos sueltos, posterior a ello en el paso séptimo se realiza el redimensionamiento, para poder mantener un estándar de la cantidad de datos para que esto sea como patrón de entrada a la red neuronal SOM, Esto se repite para cada una de las imágenes con el fin de realizar el aprendizaje de cada una de los modelos, el cual será etiquetada de acuerdo a la calidad de carne marmoleado. Esta secuencia se visualiza como parte del resultado en la Fig 3. como va quedando en función de cada una de las imágenes de carne marmoleada, el cual se ha aplicado la erosión, el binarizado Otzu y el adelgazamiento.

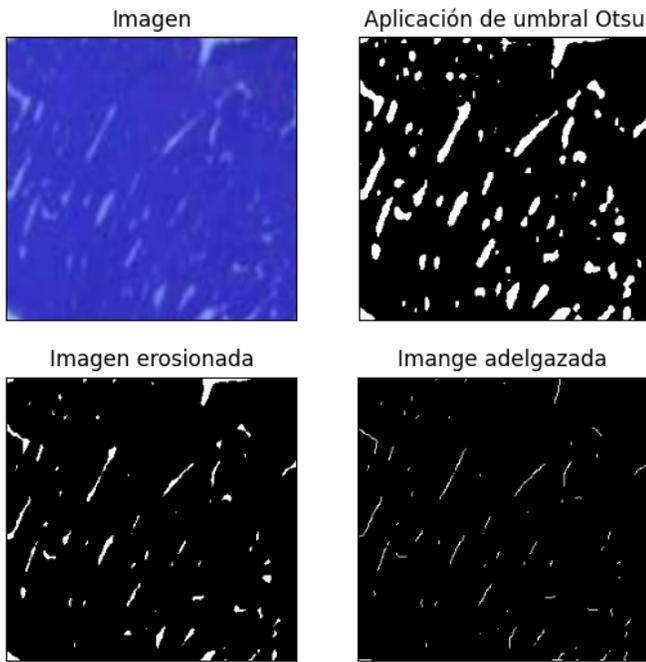


Fig 3. Aplicación las funciones a la imagen de carne marmoleada.

Para la red neuronal SOM se consideran los parámetros, como el tamaño del mapa, la topología y la función de vecindad, entre otros parámetros, como: El número máximo de iteraciones que se realizarán durante el entrenamiento de la red SOM será 5000. Donde el alfa máximo será de 0.7, donde se irá reduciendo conforme va aprendiendo.

Las dimensiones del mapa de la capa competitiva, en este caso será un mapa bidimensional de 20x20 neuronas con una longitud de los vectores de entrada de 65536 que se utilizarán durante el entrenamiento de la red, para la vecindad se usará la vecindad gaussiana, y la cantidad de vecinos lo definirá por la topología hexagonal, así como la métrica de distancia utilizada para calcular la distancia entre los vectores de entrada y los pesos de las neuronas será Euclidiana, tal como se describe en la Fig. 4.

```

max_iter = 5000 #40000 iteraciones
alpha_max = 0.7 #70% de factor de aprendizaje

som = Minisom(x=20, y=20, input_len=65536, sigma=1.0, learning_rate=alpha_max, activation_distance='euclidean',
              topology='hexagonal', neighborhood_function='gaussian')
som.random_weights_init(Xi)
som.train_random(data=Xi, num_iteration=max_iter)

```

Fig 4. Parámetros de la red SOM para el proceso de aprendizaje.

Así también en la matriz de índices refleja a cada uno de los grupos de tipo de calidades de carne marmoleada, en el cual se está considerando para el proceso de aprendizaje, tal como se visualiza en la Fig 5. El cual se está considerando de tipo Baja (1) representada en color rojo, media (2) representada en color verde y alta (3) representada en color azul.

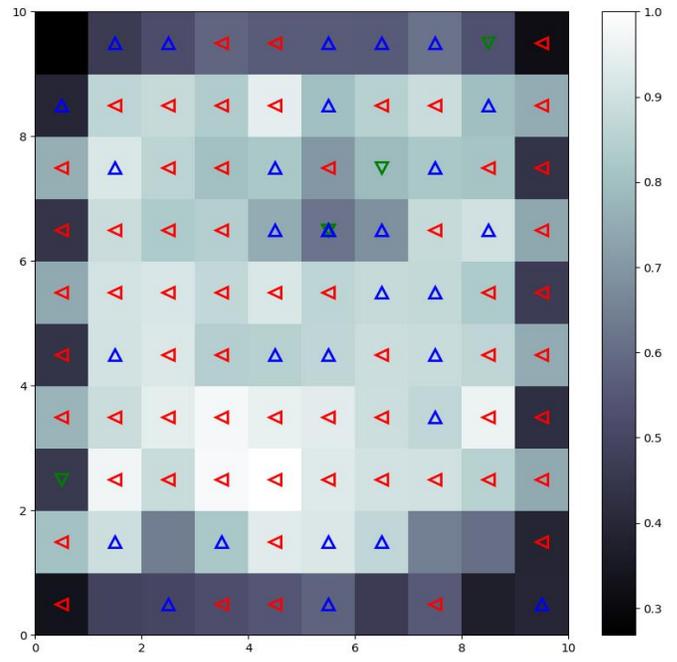


Fig 5. Matriz de índices de la red SOM después del aprendizaje.

IV. RESULTADOS

Al aplicar esta estrategia descrita como el uso de la visión artificial como parte de la obtención del representativo de cada imagen de carne marmoleada, se ha logrado obtener como resultado un nivel de precisión un valor de 0.83, una sensibilidad de 1.0 y una especificidad de 0.94, lo cual implica un valor alto e ideal para poder ser usado en el campo industrial. Tal como describe en la Fig. 6 y gráficamente se puede visualizar en la Fig. 7.

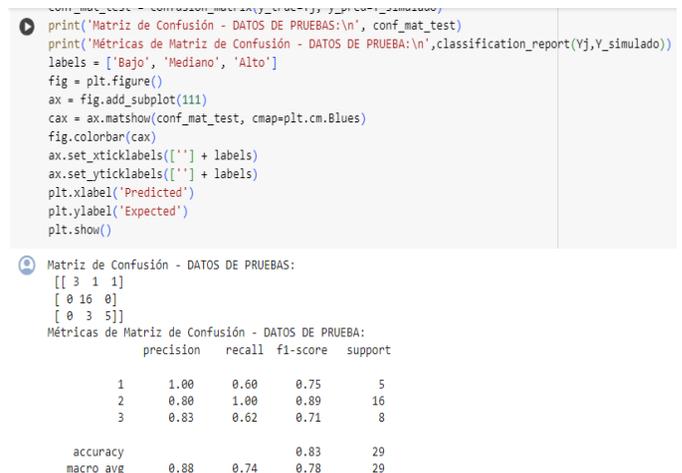


Fig 6. Resultados al aplicar la matriz de confusión.

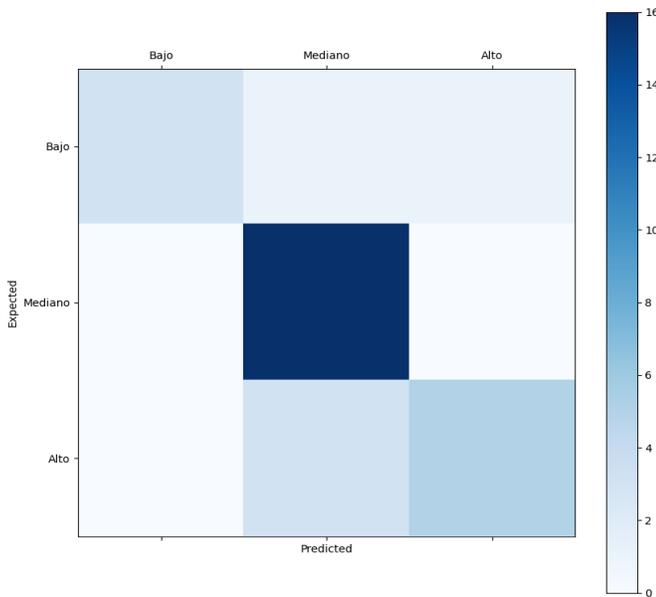


Fig 7. Grafica de la matriz de confusión.

Por tanto, con la presente investigación se puede concluir que, si se puede clasificar los tipos de carnes marmoleadas, definiendo su calidad, de acuerdo a la Tabla 1, considerando las herramientas basadas en inteligencia artificial, el cual se puede aplicar en industrias cárnicas, en diferentes escenarios, como restaurantes, mercados, industrias exportadoras, etc. Implicando una mejora económica en la reducción de tiempo de la identificación de calidad de carne (ya que puede ser automatizado), complementar el personal especializado, etc.

Los resultados obtenidos en la tasa de precisión pueden ir mejorando según se puede aumentar la cantidad de carnes para el proceso de aprendizaje, así también ampliar la gama de calidades de carne, estando sujetos a la variedad proporcionada para dichos resultados, ya que se tiene una base sólida de un método alternativo basado en inteligencia artificial (específicamente en visión artificial y red neuronal artificial de tipo SOM) para lograr los resultados esperados.

Considerar que para el proceso de resultado obtenido se ha usado como herramienta el entorno Colab de google, por lo cual indica que para el aprendizaje de los patrones característicos de la carne marmoleada no requiere un dispositivo físico de altas prestaciones, más que la velocidad de adquisición de imágenes digitales y ser enviadas a un servicio para ser clasificadas, lo cual este último implica subir lo aprendido (ya sea en .pkl o .pht, etc) en un servicio y recibirlo como un API.

V. AGRADECIMIENTO

Agradecimiento por la información obtenida respecto a las imágenes de la carne marmoleada de calidad internacional, en sus diferentes calidades para poder realizar el proceso de entrenamiento, en la red neuronal SOM. Así también el apoyo para realizar las diferentes pruebas hasta llegar a los valores

idóneos de los parámetros para la extracción de características o representativos desde el punto de vista visión artificial y los parámetros de entrada para la red neuronal SOM.

REFERENCIAS

- [1] Bonny S., O'Reilly R., Pethick D., Gardner G., Hocquette J. & Pannier L. Update of Meat Standards Australia and the cuts based grading scheme for beef and sheepmeat. *Journal of Integrative Agriculture*, 1641-1654, 2018.
- [2] Barriada M., & Instituto de experimentación y promoción agraria. "Calidad de carne: parámetros de referencia y factores que la condicionan". Principado de Asturias, consejería de medio rural y de pesca.
- [3] A. Taheri-Garavand, Soodabeh Fatahi, Mahmoud Omid, Yoshio Makino, Meat quality evaluation based on computer vision technique: A review, *Meat Science*, Volume 156, 2019.
- [4] S F. Tao and Y. Peng. "A method for nondestructive prediction of pork meat quality and safety attributes by hyperspectral imaging technique". *Journal of Food Engineering*, 126:98–106, 2014.
- [5] Z. Xiong, D.W. Sun, X.A. Zeng, and A. Xie. "Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in detecting quality attributes of red meats: A review". *Journal of Food Engineering*, 132:1–13, 2014.
- [6] A. P. Ayub da Costa Barbon, S. Barbon, G. F. Centini Campos, J. L. Seixas, L. M. Peres, S. M. Mastelini, N. Andreo, A. Ulrici y A. M. Bridi, "Development of a flexible Computer Vision System for marbling classification," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 142, no. Part B, pp. 536-544, 2017.
- [7] M. L. Testa, G. Grigioni, B. Panea y E. Pavan. "Color and Marbling as Predictors of Meat Quality Perception of Argentinian Consumers". *Foods*, vol. 10, no. 7, p. 1465, 2021.
- [8] M. Jahan, A. Maghsoudi, M. Rokouei, H. Faraji-Arough, "Prediction and optimization of slaughter weight in meat-type quails using artificial neural network modeling, *Poultry Science*", Volume 99, Issue 3, 2020, Pages 1363-1368.
- [9] X. Tang, L. Rao, L. Xie, M. Yan, Z. Chen, S. Liu, L. Chen, S. Xiao, N. Ding, Z. Zhang, L. Huang, "Quantification and visualization of meat quality traits in pork using hyperspectral imaging", *Meat Science*, Volume 196, 2023.
- [10] Haoran Sun, Chao Song, Xiaomei Lin, Xun Gao, "Identification of meat species by combined laser-induced breakdown and Raman spectroscopies", *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, Volume 194, 2022.
- [11] Dong Chen, Pingxian Wu, Kai Wang, Shujie Wang, Xiang Ji, Qi Shen, Yang Yu, Xiaotian Qiu, Xu Xu, Yihui Liu, Guoqing Tang, "Combining computer vision score and conventional meat quality traits to estimate the intramuscular fat content using machine learning in pigs", *Meat Science*, Volume 185, 2022.
- [12] Mundial; FAO; US Department of Agriculture; 2022.
- [13] USDA. "Evolución de producción de carnes", 2023.
- [14] OEC WORLD. Últimas tendencias – Carne Bovina en España, May 2023.
- [15] OEC WORLD. Últimas tendencias – Carne Bovina en China, May 2023.
- [16] Harrys, "LA IMPORTANCIA DEL MARMOLEO EN LOS CORTES FINOS DE CARNE", México, 2023.
- [17] Meatme, "El marmoleo en las carnes Angus", Colombia, 2023.
- [18] Carnescarrasquilla, "Marmoleado de la carne", España, 2023.
- [19] El País, "Uruguay tiene todo para ser la boutique de carnes", Uruguay, 2022.
- [20] R. Morales, "Procesamiento y análisis digital de imágenes", México, RA-MA, 2011.
- [21] E. Gutiérrez, "PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGEN", España, Universidad de León, 2003.

- [22] E. Cuevas, D. Salivar and M. Pérez. "Procesamiento digitales de imágenes con Matlab y Simulink". Alfaomega &RA-MA, México, 2010.
- [23] K. Teuvo, "Self-organizing maps", Berlin: Springer, 1989.
- [24] Patnaik, S. and Yang, Y.M. (2012). Soft Computing Techniques in Vision Science 395. Springer.