

# Desarrollo de un programa de código abierto para medición de color de alimentos a partir de imágenes

## Development of an open-source software to measure food color from images

Mattioli, N.G.<sup>1,2</sup> , Olivera, D.F.<sup>1,3</sup> , Salvadori, V.O.<sup>1,2</sup> , Goñi, S.M.<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA-CONICET), Facultad de Ciencias Exactas

<sup>2</sup> Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería

<sup>3</sup> Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Facultad de Ciencias Veterinarias

\* [smgoni@quimica.unlp.edu.ar](mailto:smgoni@quimica.unlp.edu.ar)

### Resumen

En este trabajo se presenta la implementación computacional y evaluación de un programa simple de código abierto para realizar la medición de color de alimentos sólidos en el espacio  $L^*a^*b^*$ , a partir de imágenes digitales. El programa se implementó en el software libre OCTAVE, y permite leer una imagen y realizar la conversión del espacio de color  $RGB$  a  $L^*a^*b^*$ . Se implementó un modelo directo de conversión, el cual no requiere calibración, y un modelo empírico que requiere calibración; con dicho propósito se utilizó un patrón de color conocido. El código del programa puede ser fácilmente modificado para adaptarse a las necesidades de cada usuario. Para la evaluación del programa, se utilizaron 18 muestras de alimentos de un amplio rango de colores, con diferentes iluminaciones, y se compararon con mediciones obtenidas con un colorímetro. La diferencia de color total ( $\Delta E$ ) promedio entre los valores del colorímetro y por imágenes fue 23.1, mientras que las diferencias promedio de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron 8.6, 14.9 y 13.2, respectivamente. El programa desarrollado es una alternativa fiable cuando no se dispone de otro instrumento de medición de color.

**Palabras clave:** Alimentos; Color; Imágenes; Programa informático; Código abierto.

### Abstract

This work presents the computational implementation and evaluation of a simple open-source software to measure the color of solid foods in the  $L^*a^*b^*$  space, from digital images. The program was implemented in the free software OCTAVE, and allows reading an image and converting the  $RGB$  color space to  $L^*a^*b^*$ . A direct conversion model was implemented, which does not require a calibration step, and an empirical model that requires calibration; for this aim, a known color chart was used. The software code can be easily modified according to the needs of each user. To assess the software, 18 food samples of a wide color range, with different lighting, were used and compared with measurements obtained with a colorimeter. The average total color difference ( $\Delta E$ ) between colorimeter and images values was 23.1, while the average difference of  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  were 8.6, 14.9, and 13.2, respectively. The developed software is a reliable alternative when no other color measuring instrument is available.

Keywords: Food; Color; Images; Computer program; Open Source

## 1. INTRODUCCIÓN

El color de un producto alimenticio es una característica fundamental que determina la percepción de calidad del consumidor (Pandiselvam *et al.*, 2023). Así, en productos frescos (hortifrutícolas, carnes), el color está directamente relacionado con el estado de senescencia del alimento, en productos procesados (ej. productos de

ISSN: 3008-9336, Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos, Argentina

Recibido: 10/4/2024

Aceptado: 15/5/2024

Publicado: 8/2024

DOI: <https://doi.org/10.24215/30089336e002>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

panadería), el color está directamente vinculado al grado de cocción o procesamiento. En otros alimentos procesados, el color está vinculado de manera directa a la aceptabilidad general del mismo.

El color de un material puede ser expresado en diferentes espacios de color (Wu y Sun, 2013; Pathare *et al.*, 2013). El espacio *RGB* (*red, green, blue*), es tradicionalmente usado por la mayoría de las cámaras digitales y otros dispositivos electrónicos; no es un espacio de color perceptualmente uniforme (las diferencias entre dos colores en el espacio *RGB* no se corresponden con las diferencias de color percibidas por las personas, Mendoza *et al.*, 2006). El espacio de color triestímulo *XYZ*, fue creado por CIE (Comisión Internationale de l'Éclairage) en 1931, a partir de mediciones directas del ojo humano; es independiente del dispositivo usado y sirve como base para otros espacios de color (Wu y Sun, 2013). Sin embargo, no posee una graduación de color uniforme. Entonces se creó el sistema CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ) o simplemente *CIELAB* (Schanda, 2007), el cual es una transformación no-lineal del *XYZ*. Esto permite obtener un espacio perceptualmente uniforme e independiente del dispositivo. Por estos motivos, es el espacio de color usado tradicionalmente en diferentes instrumentos de medición. El valor  $L^*$  representa la *luminosidad* del estímulo, y varía entre 0 (negro) y 100 (blanco), mientras que  $a^*$  y  $b^*$  describen la cromaticidad del color. El valor de  $a^*$  varía entre valores negativos, correspondiente a estímulos de color verde, a valores positivos para estímulos de color rojo. El valor de  $b^*$  varía entre valores negativos para colores azules, y valores positivos para estímulos amarillos.

La medición del color de alimentos se realiza usualmente con colorímetros (Schanda, 2007; Wu y Sun, 2013), los cuales brindan valores de color en diferentes espacios de color, generalmente  $L^*a^*b^*$  o triestímulo. Estos equipos son portables, de fácil utilización, pero presentan algunas limitaciones: su costo relativo es alto, presentan pequeñas áreas de medición, debe ponerse en contacto con la superficie a medir, la medición de muestras pequeñas es dificultosa dado que las mismas pueden no cubrir el objetivo del equipo, etc. Otra alternativa es el uso de espectrofotómetros (Wu y Sun, 2013; Hernández Salueña *et al.*, 2019; Minz y Saini, 2021). Estos equipos obtienen el espectro de transmitancia o de reflectancia y calculan las coordenadas de algún espacio de color (*XYZ* o  $L^*a^*b^*$ ), o permiten exportar los espectros para su procesamiento posterior. Otros sistemas, llamados hiper o multi-espectrales (Rodríguez-Pulido *et al.*, 2021), permiten obtener el espectro de reflectancia bidimensional, por lo cual se puede obtener una distribución espacial del color de las muestras.

El color también puede ser estimado a partir de imágenes digitales (Wu y Sun, 2013), lo que resulta una alternativa muy atractiva dado la gran disponibilidad de cámaras digitales (incluidos teléfonos inteligentes) y su bajo costo (comparado a los equipos anteriores). Otra ventaja es la escala adaptable, dado que permite obtener fácilmente la distribución espacial de color en muestras de gran tamaño, puede medir el color de muestras muy pequeñas como semillas, y materiales particulados (harinas, etc.). Para obtener la información de color se suele usar un gabinete con iluminación controlada o estandarizada (Cubero *et al.*, 2011). La información de color obtenida por las cámaras digitales se encuentra en el espacio de color *RGB*, la cual debe transformarse al espacio de color  $L^*a^*b^*$ . Para la transformación puede usarse un modelo teórico (Mendoza *et al.*, 2006; Minz y Saini, 2021), o modelos empíricos. Usualmente se emplean modelos empíricos y se realiza un proceso de calibración para transformar entre espacios de color (León *et al.*, 2006; Mendoza *et al.*, 2006; Quevedo *et al.*, 2008; Valous *et al.*, 2009; Goñi y Salvadori, 2017; Liñero *et al.*, 2017). Rodríguez-Pulido *et al.* (2021) indicaron que este procedimiento es el correcto cuando se quieren obtener valores absolutos de color.

Una forma de medir la similitud entre dos colores (ya sea entre diferentes muestras usando el mismo instrumento, o para la misma muestra usando diferentes instrumentos), es calcular la diferencia de color total  $\Delta E$ , la cual depende de las diferencias entre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . De acuerdo al valor de  $\Delta E$ , la diferencia de color puede clasificarse como no perceptible ( $\Delta E$  entre 0 y 0.5), ligeramente perceptible (0.5-1.5), perceptible (1.5-3), bien visible (3-6), grandes diferencias (6-12), y mayores diferencias (Cserhalmi *et al.*, 2006). Las comparaciones entre mediciones de colorímetro y a partir de imágenes pueden conducir a resultados muy diversos. León *et al.* (2006) encontraron  $\Delta E$  de 5.3 para una muestra de papa. Yagiz *et al.* (2009) encontraron  $\Delta E$  promedio entre 23.4 y 36.9 para salmón irradiado (valores calculados a partir de datos de  $L^*a^*b^*$ ). Goñi y Salvadori (2017) encontraron  $\Delta E$  promedio entre 0.67 y 13.47 para diferentes tipos de muestras. Tomasevic *et al.* (2019) encontraron  $\Delta E$  entre 6.7 y 35.3 para muestras de carnes de color uniformes, bicolor o con colores no uniforme. Milovanovic *et al.* (2021) encontraron  $\Delta E$  entre 4.3 y 20.4 para diferentes productos lácteos. Trinderup *et al.* (2015) compararon mediciones de color de carnes entre un colorímetro y un instrumento multispectral, encontrando valores de  $\Delta E$  cercanos a 16.

Una limitación para el uso de imágenes, es la disponibilidad de programas simples para realizar la calibración y/o transformación. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es presentar el desarrollo de la implementación computacional y la evaluación de un programa simple de código abierto para realizar la medición de color de alimentos sólidos en el espacio  $L^*a^*b^*$ , a partir de imágenes digitales. El programa se evaluó en diferentes computadoras y se realizaron mediciones para diferentes tipos de alimentos. Los resultados obtenidos se compararon con mediciones de color obtenidas con un colorímetro.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La medición de color a partir de imágenes requiere de una cámara digital (incluyendo teléfonos celulares (Sáez-Hernández *et al.*, 2022) y un programa para procesar la información obtenida (imágenes). La adquisición de imágenes debe realizarse procurando la mayor uniformidad de iluminación posible en la escena; en este sentido es habitual el uso de gabinetes de adquisición de imágenes (Wu y Sun, 2013; Sánchez *et al.*, 2023), lo que permite reducir al menos un factor de ruido o diferencia entre imágenes.

### 2.1. Modelos de conversión de color

Para realizar la conversión de los valores del espacio de color  $RGB$  al espacio  $L^*a^*b^*$ , se implementó un modelo teórico, y un modelo empírico.

#### 2.1.1. Modelo de conversión teórico

Antes de comenzar, se normalizan los valores  $RGB$ , dividiéndolos entre  $2^n$ , donde  $n$  es el número de bits de la representación. Así, los valores de  $RGB'$  están escalados al intervalo  $[0\ 1]$ . Generalmente las imágenes más comunes (como un teléfono celular) usan 8 bits, por lo cual deben dividirse entre 255.

$$RGB' = \frac{RGB}{2^n} \quad (1)$$

Luego, la conversión teórica se realiza en dos pasos: en primer lugar, se transforman los valores normalizados  $R'$  (red),  $G'$  (green) y  $B'$  (blue) a valores triestímulo  $X, Y, Z$ , usando las ecuaciones (2) y (3) (Li *et al.*, 2023):

$$XYZ = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} g(RGB') \quad (2)$$

$$g(x) = 100 \begin{cases} \left(\frac{x+0.055}{1.055}\right)^{2.4}, & x > 0.04045 \\ \frac{x}{12.92}, & x \leq 0.04045 \end{cases} \quad (3)$$

En segundo lugar, se convierten los valores triestímulo a valores  $L^*a^*b^*$ , usando las Ec. (4) y (5) (Gonzalez y Woods, 2002):

$$\begin{cases} L^* = 116h\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - 16 \\ a^* = 500\left(h\left(\frac{X}{X_R}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_R}\right)\right) \\ b^* = 200\left(h\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_R}\right)\right) \end{cases} \quad (4)$$

$$h(x) = \begin{cases} x^{1/3}, & x > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 x + \frac{4}{29}, & x \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases} \quad (5)$$

$X_R, Y_R$  y  $Z_R$  son los valores de referencia del iluminante considerado; en este caso se usó el iluminante D65 ( $X_R = 95.046, Y_R = 100, Z_R = 108.91$ ; el programa puede modificarse para cambiar los datos del iluminante).

Este modelo tiene la ventaja que no requiere una calibración. Como desventaja, imágenes de una misma muestra adquiridas con iluminaciones (o cámaras) diferentes, conducirán a valores de color diferentes. Para un uso

apropiado se requiere tener un sistema de iluminación controlado, y una cámara con parámetros de adquisición que puedan fijarse. Adicionalmente, existen muchos espacios de color *RGB* (Fay y Wu, 2024), y puede ser difícil identificar cual usa un instrumento en particular.

### 2.1.2. Modelo empírico

Dado que no siempre podrá lograrse la misma iluminación y/o contar con la misma cámara, ambos aspectos necesarios para tener mediciones aceptables, se pueden usar modelos empíricos, calibrados en cada medición usando un patrón de color (León *et al.*, 2006). En este trabajo, se implementó un polinomio de 2° grado con interacciones entre los valores del espacio de color *RGB*, para predecir cada valor de color en el espacio  $L^*a^*b^*$ , el cual ha sido usando exitosamente en trabajos previos (Goñi y Salvadori, 2017):

$$L^* = \alpha_{1,1}R + \alpha_{1,2}G + \alpha_{1,3}B + \alpha_{1,4}R^2 + \alpha_{1,5}G^2 + \alpha_{1,6}b^2 + \alpha_{1,7}RG + \alpha_{1,8}RB + \alpha_{1,9}GB + \alpha_{1,10}RGB + \alpha_{1,11} \quad (6)$$

$$a^* = \alpha_{2,1}R + \alpha_{2,2}G + \alpha_{2,3}B + \alpha_{2,4}R^2 + \alpha_{2,5}G^2 + \alpha_{2,6}b^2 + \alpha_{2,7}RG + \alpha_{2,8}RB + \alpha_{2,9}GB + \alpha_{2,10}RGB + \alpha_{2,11} \quad (7)$$

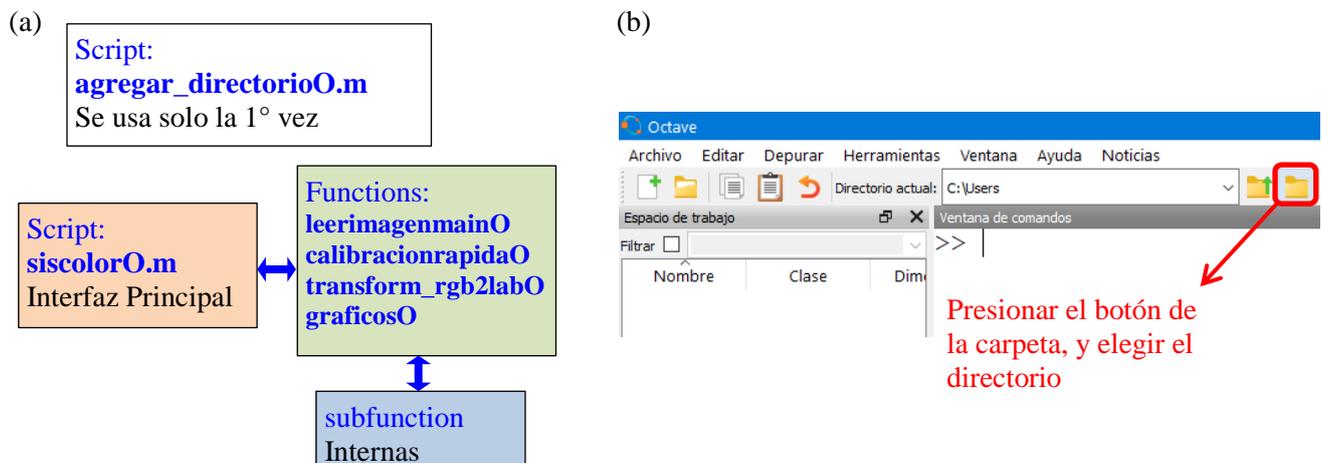
$$b^* = \alpha_{3,1}R + \alpha_{3,2}G + \alpha_{3,3}B + \alpha_{3,4}R^2 + \alpha_{3,5}G^2 + \alpha_{3,6}b^2 + \alpha_{3,7}RG + \alpha_{3,8}RB + \alpha_{3,9}GB + \alpha_{3,10}RGB + \alpha_{3,11} \quad (8)$$

Para obtener los valores de los coeficientes  $\alpha_{i,j}$  el programa realiza un proceso de calibración usando un patrón con color conocido. Aquí se implementó el uso de una carta de colores X-Rite ColorChecker Passport (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, EE.UU.), la cual está formada por 24 parches de diferentes colores, para los cuales se conocen sus valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Pascale, 2006); así, se tienen 72 puntos y 33 parámetros (24 puntos y 11 parámetros para cada canal de color). La calibración consiste en resolver tres problemas de mínimos cuadrados, donde se minimizan respectivamente las diferencias de  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ . El resultado del ajuste se expresa como la diferencia de color total (Ec. (8)) promedio para los 24 parches de color. Para más detalles, Nguyen *et al.* (2022) revisaron diferentes artículos que usan diferentes patrones de color, y sus errores de calibración. Es importante mencionar que de acuerdo al fabricante el patrón de color tiene una vida útil de dos años, por lo cual debe programarse su renovación periódica.

## 2.2. Implementación del programa

El programa para realizar la medición de color se implementó en el software libre OCTAVE (Eaton *et al.*, 2023), versión 8.1.0; en la página oficial puede seguir las instrucciones para su instalación y uso.

El programa para medición de color se implementó usando 2 *scripts*, 4 *functions* (Fig. 1a), subfunciones internas, e instrucciones asociadas a los objetos de control de la interfaz. En total son 6 archivos de OCTAVE y dos imágenes de prueba; los archivos pueden descargarse libremente en el Repositorio de Datos de Investigación de la UNLP (Goñi *et al.*, 2024). El programa se desarrolló en una computadora con sistema operativo Windows 10 64 bits.

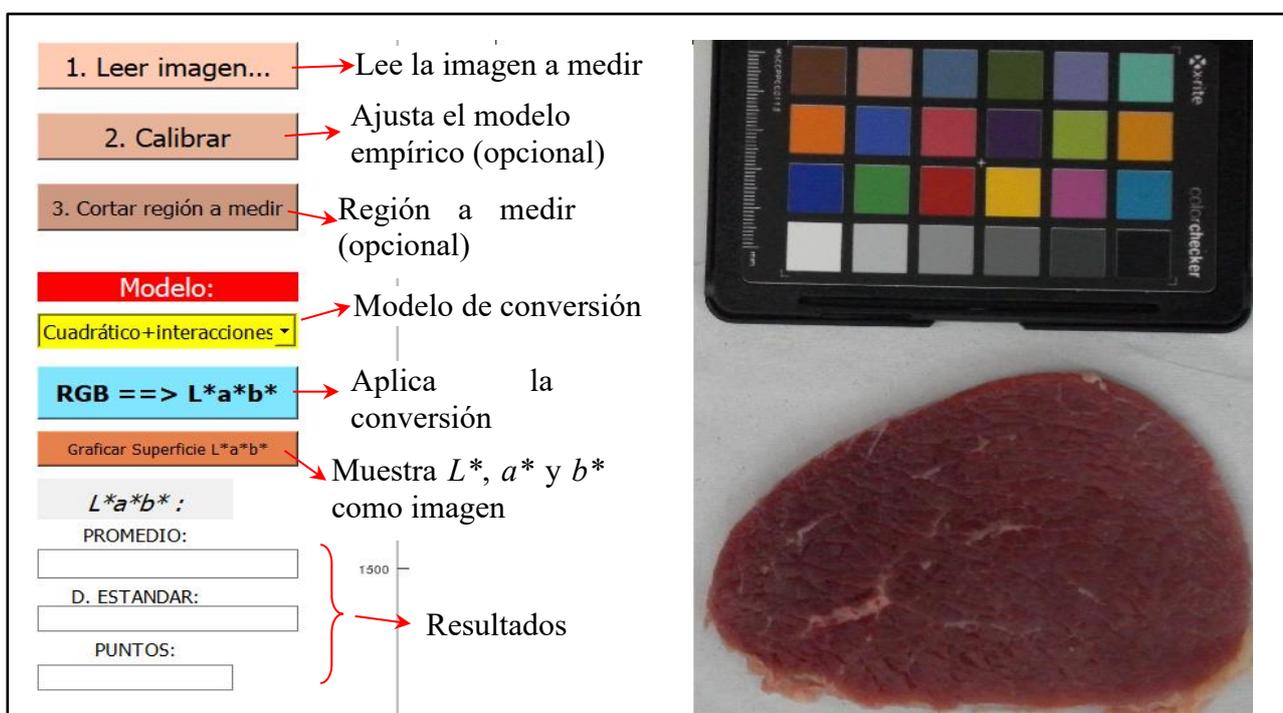


**Figura 1.** (a) Selección del directorio de trabajo en OCTAVE 8.1.0. (b) Estructura de archivos del programa para medición de color.

Para usar el programa de color se debe descomprimir el archivo descargado en el directorio deseado. Luego, iniciar OCTAVE, y seleccionar como directorio de trabajo, el directorio donde se encuentra el programa para medición de color (ver Fig. 1b). En la ventana de comandos ejecutar “agregar\_directorioO” permite agregar la carpeta actual al directorio de búsqueda de OCTAVE. Esto habilita trabajar con imágenes guardadas en otro directorio. Si se omite este paso, el programa igualmente puede usarse, pero las imágenes deben necesariamente almacenarse en la misma carpeta del programa para medición de color, por lo cual disminuye su versatilidad.

Una vez seleccionado libremente el directorio donde están las imágenes a procesar, al llamar en la ventana de comandos “siscolorO” se ejecuta el programa de medición de color (Fig. 2). El *script* “siscolorO.m” contiene los diferentes elementos de control de la interfaz gráfica. Desde este *script*, se llama a 4 funciones que implementan diferentes acciones, que se describen a continuación.

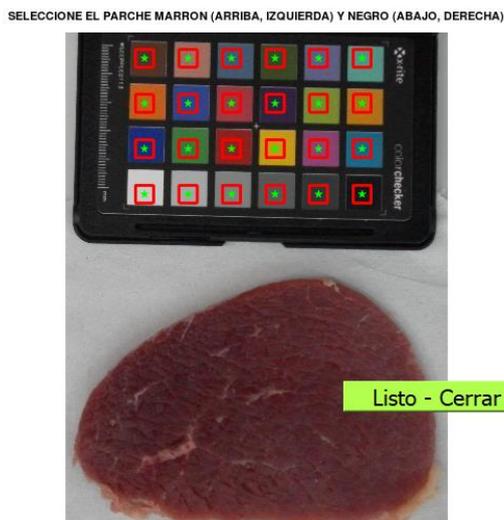
El botón “1. Leer imagen...” abre una interfaz de selección para buscar y seleccionar la imagen a medir. Las acciones se implementan en una *function*, “leerimagenmainO.m”; la Fig. 2 muestra la interfaz luego de leer una imagen; en la escena se incluye un patrón de color.



**Figura 2.** Interfaz creada por el programa para medición de color. Se muestra una imagen de prueba ya leída desde la interfaz, con un patrón de color.

El botón “2. Calibrar” es de uso opcional. El mismo se utiliza cuando se cuenta con el patrón de color y se va a usar el modelo empírico (el cual debe seleccionarse más adelante). Las acciones se implementan en una *function*, “calibracionrapidaO.m”. Al presionarlo, se abre una nueva ventana de gráfico (Fig. 3), donde se debe elegir el parche “marrón” (izquierda, arriba) y el parche “negro” (derecha, abajo). La *function* está programada para funcionar con la imagen alineada con los bordes, así obtiene el color de los restantes parches de forma automática (calculando una distribución uniforme de 4 filas y 6 columnas de parches de color). En la adquisición de imágenes debe tener especial cuidado que el patrón de color quede alineado con los bordes de la imagen; si no es así, deberá rotar la imagen para lograr este alineamiento, o modificar el programa (la *function* calibracionrapidaO.m) para que no asuma que están alineados de esa forma. Dentro de la *function* están definidos los valores  $L^*a^*b^*$  de referencia de los parches, y con dichos valores se realiza el ajuste de los parámetros del modelo lineal. Los coeficientes obtenidos se almacenan en el mismo directorio en un archivo llamado “parametros\_modelo\_cuad\_int”. Cada vez que se realiza una nueva calibración, este archivo es sobrescrito.

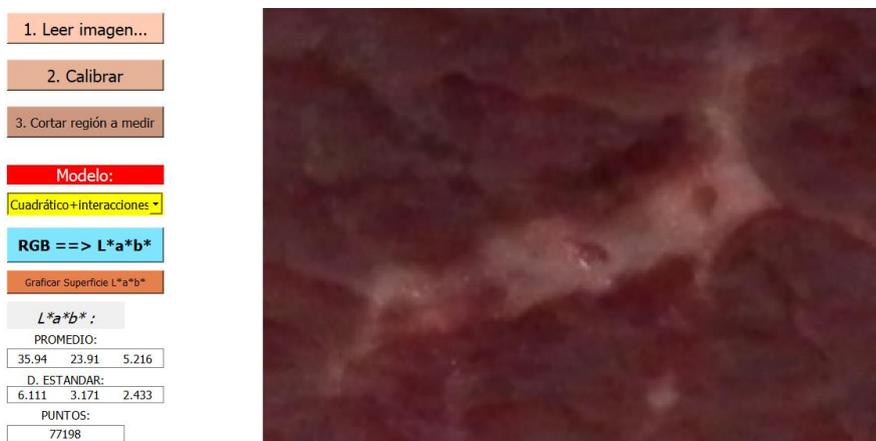
El botón “3. Cortar región a medir” es de uso opcional. El mismo se utiliza cuando se quiere medir el color en una región (rectangular) específica. Al usarlo, se debe presionar con el mouse en dos puntos de la imagen, los cuales se usan para definir una región rectangular. En la interfaz se borra la imagen original y solo queda la región a medir. Si no se usa esta opción, se mide el color de la imagen completa. Las acciones se implementan en el mismo control de la interfaz. La Fig. 4 muestra una pequeña región seleccionada dentro de la muestra del corte de carne de la Fig. 3 (abajo, izquierda). En general se usa esta herramienta, dado que la escena suele contener más elementos que solo la muestra a medir.



**Figura 3.** Ventana con la selección de parches para la calibración. Presionar el botón “Listo – Cerrar” para volver a la interfaz principal.

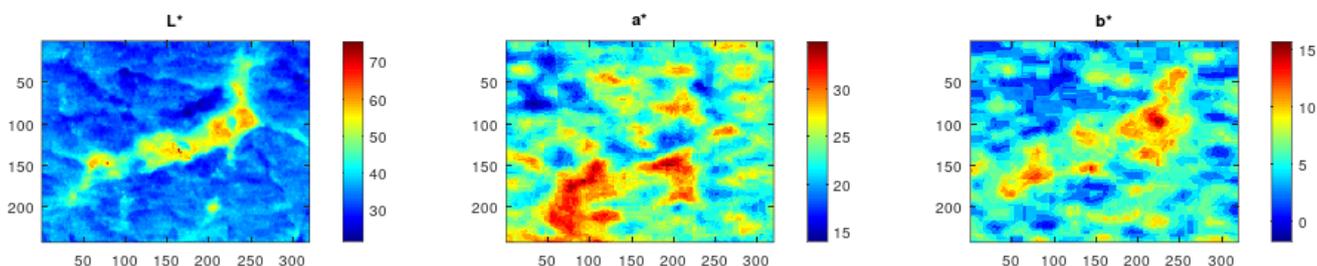
En el menú desplegable “Modelo”, se puede elegir el modelo empírico, el cual requiere calibración, o el modelo directo. Si previamente se usó el botón “2. Calibrar”, implica que aquí debe elegir el modelo empírico.

El botón “RGB ==> L\*a\*b\*” aplica la fórmula de conversión entre espacios de color, y completa los campos de valores de color promedio, sus desviaciones estándar y el número de píxeles usados. Las acciones se implementan en una *function*, “transform\_rgb2labO.m”. Dentro de la misma, se llama a una de dos posibles subfunciones, con los diferentes modelos de conversión. En la Fig. 4 se muestra el cálculo realizado sobre una pequeña región, usando el modelo empírico calibrado.



**Figura 4.** Valores de color obtenidos para una pequeña región de un corte de carne.

El botón “Graficar Superficie L\*a\*b\*” abre una nueva ventana y muestra tres gráficos (Fig. 5) con los valores de L\*, a\* y b\*. Las acciones se implementan en una *function*, “graficosO.m”.



**Figura 5.** Distribución espacial de los valores de color L\*, a\* y b\*.

### 2.3. Medidas experimentales y validación

En primer lugar, se procedió a verificar el comportamiento del modelo teórico usando diferentes cámaras e iluminaciones. Se utilizaron una cámara Samsung ST60, y la cámara de un teléfono celular Samsung A30s, ambas con una resolución de 4000x3000 píxeles, sin flash (y con el resto de la configuración de fábrica de cada equipo).

Como iluminación se usaron dos opciones: un gabinete de adquisición de imágenes (Goñi y Salvadori, 2017), y la segunda opción fue la iluminación natural en el laboratorio. Se adquirieron imágenes del patrón de color usando las combinaciones de cámara-iluminación anteriores. Para el modelo empírico, se realizó el ajuste en cada caso. Para ambos modelos de conversión se midió la diferencia de color total (Ec. (9)) para cada parche de color, y se expresó como el valor promedio para todos los parches (Ec. (10),  $N$  es el número de parches o muestras):

$$\Delta E = \sqrt{(L_{imagen}^* - L_{ref}^*)^2 + (a_{imagen}^* - a_{ref}^*)^2 + (b_{imagen}^* - b_{ref}^*)^2} \quad (9)$$

$$\overline{\Delta E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta E_i \quad (10)$$

Adicionalmente se midió la diferencia absoluta promedio para cada valor de color (L\*, a\* y b\*):

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |v_{imagen} - v_{ref}| \quad (11)$$

Se espera que el modelo empírico conduzca naturalmente a menores valores de error, dado que el proceso de calibración hace que se adapte a cada condición. Por otro lado, el modelo teórico directo puede tener diferentes niveles de error, dependiendo de la cámara empleada y, principalmente, de la iluminación.

Para completar la validación, se realizaron mediciones de color de diferentes muestras de alimentos. Se eligieron 18 muestras de golosinas masticables, ya que con las mismas se pudo abarcar un amplio rango de color (Fig. 6).



**Figura 6.** Muestras usadas para validar las mediciones.

Las mediciones se realizaron con las dos iluminaciones y cámaras mencionadas. Asimismo, el color de estas muestras se midió con un colorímetro MINOLTA (CR 400, Japón). Las muestras con cristales de azúcar superficial fueron cortadas a la mitad (para eliminar su interferencia en las mediciones), y se midió la superficie interna. La discrepancia entre ambos instrumentos se determinó usando la diferencia de color total (Ec. (9)).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

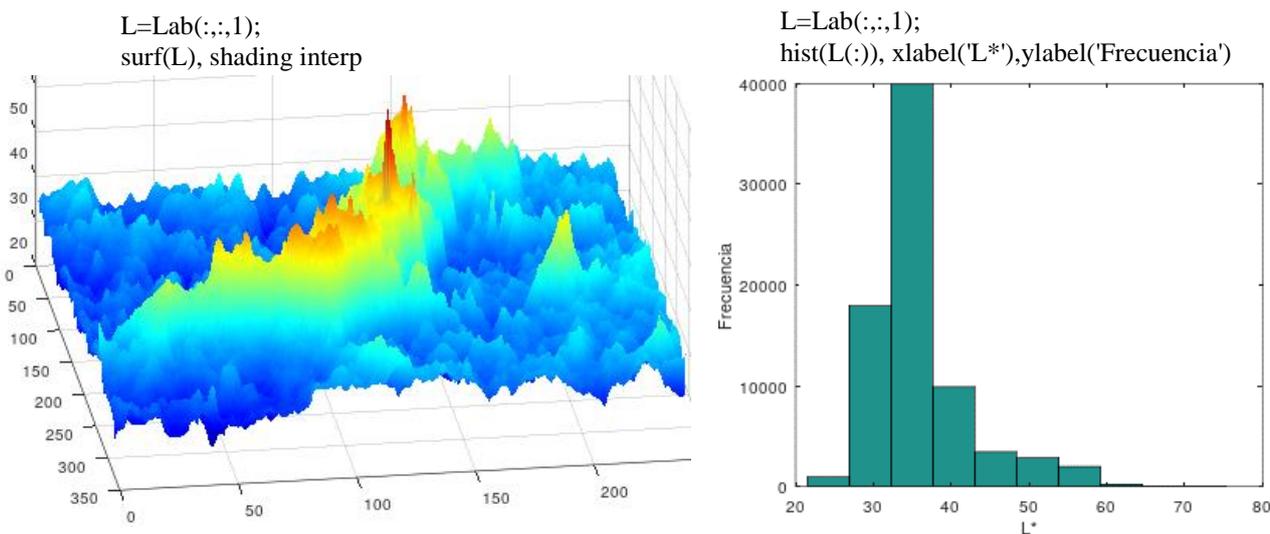
Cuando se usa el modelo empírico, al realizar la calibración (Fig. 3) en la ventana de comandos se muestra el modelo con los parámetros ajustados, y el valor promedio de  $\overline{\Delta E}$  (Ec. (10)) para los 24 parche de color (Fig. 7). Si el resultado del ajuste no es satisfactorio, o se seleccionaron mal los parches, se puede repetir este procedimiento.

```

Ventana de comandos
L*=[R G B R*G R*B G*B R^2 G^2 B^2 R*G*B 1]*[0.19607 0.34891 -0.017023 -0.000365 ^
18 -0.0002146 -4.5342e-05 -0.0001939 1.7269e-06 0.00027477 3.01e-07 9.119 ^
8]
a*=[R G B R*G R*B G*B R^2 G^2 B^2 R*G*B 1]*[0.51317 -0.88064 0.34217 0.000108
97 -0.00083262 -0.0010988 -6.0383e-05 0.0011825 0.00064023 6.0418e-07 2.700
1]
b*=[R G B R*G R*B G*B R^2 G^2 B^2 R*G*B 1]*[0.22814 0.69473 -0.74639 -0.00227
79 -1.9454e-05 -0.0013762 0.00032815 0.00029926 0.001074 6.2298e-06 -5.190
4]
-
DE
2.8384
>> |
    
```

**Figura 7.** Ejemplo de resultado de la calibración para la imagen de la Fig. 3.

El programa realiza la conversión de color en cada pixel y muestra resultados básicos, como el promedio y desviación, valores mínimos y máximos. Los resultados para cada pixel se almacenan en la memoria del programa en un arreglo de dimensión 3 llamado “Lab”; las filas y columnas del arreglo tienen la resolución espacial, y los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se almacenan en posiciones sucesivas de la 3° dimensión del arreglo. Con este arreglo, se pueden continuar realizando cálculos adicionales si es requerido; por ej. la Fig. 8 muestra comandos para obtener los valores de  $L^*$  como superficie, y un histograma con la frecuencia de valores de  $L^*$ .



**Figura 8.** Ejemplos de comandos adicionales a partir de los resultados calculados por el programa.

Otros procesamientos ulteriores de los resultados obtenidos por el programa pueden ser la segmentación por niveles de color, etc. Así, contar con el código fuente sirve de base para adaptar los resultados a necesidades específicas.

Respecto de la precisión de los modelos de conversión de color, la Tabla 1 muestra los valores de  $\overline{\Delta E}$  (Ec. (10)) para las diferentes cámaras, iluminaciones y modelos de conversión utilizados. Como se esperaba, el modelo empírico siempre arrojó mejores resultados que el modelo directo. La mejor predicción se obtuvo para el modelo empírico, usando el gabinete de adquisición de imágenes, con la cámara del teléfono celular.

**Tabla 1.** Valores de  $\overline{\Delta E}$  para diferentes cámaras, iluminaciones, y modelo de conversión.

Cámara	Modelo directo		Modelo empírico	
	Gabinete	Iluminación natural	Gabinete	Iluminación natural
Samsung ST60	25.00	13.74	3.86	3.05
Samsung A30s	16.05	11.25	2.71	3.12

Es importante mencionar que no se cambió nada en la configuración de fábrica de las cámaras; si se modificaran los parámetros y/o modos de adquisición (tiempo de exposición, balance de blancos, etc.), se podrían lograr mejoras en la predicción del modelo directo. Adicionalmente se podrían usar otros tipos de cámaras con mayores opciones de configuración.

Para los experimentos con alimentos y la comparación con el colorímetro, se usó el modelo empírico únicamente, y con ambas iluminaciones y cámaras. La medición con imágenes se realizó usando todas las muestras en la misma imagen, con una única calibración, con un error de calibración  $\overline{\Delta E}=2.9$ . La Tabla 2 muestra los valores de color obtenidos para cada muestra, y  $\Delta E$  entre ambos instrumentos; por simplicidad se muestran solamente las predicciones usando la cámara del teléfono celular y el gabinete de adquisición.

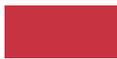
En la Tabla 2, las columnas encabezadas con “Aspecto” muestran cómo se vería una imagen *RGB* a partir de los valores  $L^*a^*b^*$  dados. Para esto se escribió otra *function* en OCTAVE para hacer el proceso inverso del modelo teórico (Ecs. (1-5)).

Para las muestras más pequeñas se usaron al menos 3500 píxeles, y para las más grandes más de 15000 píxeles. El valor de  $\overline{\Delta E}$  para las 18 muestras fue 23.1, y la diferencia promedio de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron 8.6, 14.9 y 13.2, respectivamente. En general, todos los valores de  $\Delta E$  obtenidos indican que la diferencia de color entre instrumentos es visualmente detectable. De los valores obtenidos con el colorímetro, 88% tuvieron menores valores de  $L^*$  respecto a los obtenidos por imágenes, mientras que para  $a^*$  y  $b^*$  (en valores absolutos) dicho porcentaje fue 94.4% y 88.9%, respectivamente.

Las muestras de alimentos son translúcidas, por lo cual la luz incidente puede penetrar en las mismas. Trinderup y Kim (2015) establecieron que el colorímetro posee una mayor profundidad de penetración de la luz; esto puede conducir a mediciones, en alguna extensión, del color interno. Por el contrario, la iluminación del gabinete o ambiente es menos intensa, y penetra más superficialmente. Adicionalmente, parte de la luz emitida por el colorímetro penetra la muestra y puede dispersarse hacia el ambiente, por lo cual una menor proporción regresa al detector, afectando la medición obtenida (Trinderup y Kim, 2015).

Quitando las muestras 8 y 14, las cuales presentaron valores de  $a^*$  o  $b^*$  con diferentes signos entre instrumentos, el valor de tono o *hue* (Schanda, 2007) promedio fue de 121.6° y 125.4° para el colorímetro e imágenes, respectivamente, con una diferencia absoluta promedio de 5.2°, o 1.44% considerando el rango posible de a 0° a 360°. Esta pequeña diferencia indica que ambos instrumentos miden el mismo color característico primario. Sin embargo, la saturación o *chroma* ( $C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ) fue muy diferente, 23.8 y 44.1 para el colorímetro e imágenes, respectivamente.

**Tabla 2.** Comparación entre valores de  $L^*a^*b^*$  (expresados para el iluminante D65) entre diferentes instrumentos. Para imágenes se usó la cámara del teléfono inteligente y el gabinete de adquisición de imágenes.

#	Colorímetro		Muestra	Imágenes		$\Delta E$
	$L^*; a^*; b^*$ (desviación estándar)	Aspecto		Aspecto	$L^*; a^*; b^*$ (desviación estándar)	
1	53.3; 22.8; 37.9 (1.6; 1.8; 3.1)				62.7; 44.3; 58.6 (1.1; 1.3; 0.8)	31.3
2	51.4; -25.3; 11.7 (1.0; 0.6; 0.3)				54.1; -36.6; 16.2 (2.1; 0.8; 0.6)	12.5
3	37.7; 34.8; 19.0 (0.2; 0.6; 0.4)				45.6; 58.5; 27.1 (1.1; 0.9; 0.6)	26.2
4	51.2; -24.7; 24.7 (0.9; 0.8; 1.0)				60.5; -34.5; 34.7 (2.2; 0.6; 0.9)	16.8
5	35.9; 4.2; -7.1 (0.9; 0.8; 1.0)				36.3; 6.5; -11.2 (1.3; 0.5; 0.6)	4.7
6	35.3; 15.2; 3.7 (1.3; 1.4; 0.5)				40.4; 53.0; 22.3 (1.8; 0.8; 1.0)	42.4
7	38.0; -6.6; 4.3 (0.2; 0.2; 0.1)				35.2; -23.3; 13.9 (2.5; 2.1; 1.2)	19.5
8	35.4; -0.6; 1.7 (1.3; 0.2; 0.1)				29.5; 2.1; 0.3 (4.5; 1.0; 0.7)	6.6
9	55.6; 9.1; 23.2 (0.1; 0.2; 0.4)				66.3; 29.4; 49.6 (1.6; 1.5; 1.6)	35.0
10	39.2; 18.9; 24.0 (0.4; 1.0; 1.8)				61.9; 46.9; 60.2 (1.4; 1.5; 1.1)	51.1
11	35.8; -18.8; 9.7 (0.4; 0.4; 0.3)				51.3; -45.2; 33.1 (3.0; 1.2; 1.6)	38.5
12	43.8; 1.4; 25.2 (0.6; 0.2; 1.6)				64.9; 13.7; 60.2 (2.2; 1.2; 1.4)	42.7
13	35.1; -0.8; -4.6 (0.7; 0.1; 0.8)				42.2; -8.7; -28.5 (2.3; 2.0; 1.2)	26.2
14	55.8; 6.1; 1.3 (0.1; 0.1; 0.1)				60.4; 8.4; -0.4 (2.9; 1.2; 0.5)	5.4
15	60.7; -27.3; 10.8 (0.2; 0.1; 0.1)				67.0; -39.7; 16.4 (2.9; 2.4; 0.5)	15.0
16	61.2; -21.2; -7.5 (0.1; 0.1; 0.1)				67.3; -31.6; -10.2 (2.2; 2.1; 1.7)	12.4
17	52.8; 32.5; 16.38 (0.1; 0.1; 0.1)				61.5; 46.3; 17.5 (2.1; 3.2; 1.7)	16.4
18	71.4; -10.6; 45.7 (0.1; 0.1; 0.6)				80.6; -2.6; 51.0 (1.6; 0.6; 2.3)	13.3

#### 4. CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa simple para realizar la medición del color de alimentos (u otros materiales) a partir de imágenes. El programa se implementó en el software libre OCTAVE, y el código fuente se encuentra disponible para su descarga. El uso del modelo directo debe ser realizado con precaución, debido a que puede conducir a resultados incorrectos si no se cuenta con una correcta configuración de cámara e iluminación. Para la obtención de valores absolutos de color, se recomienda el uso del modelo empírico, el cual requiere calibración. Los

potenciales usuarios deben tener en cuenta que el patrón de color usado tiene una vida útil determinada, por lo cual regularmente debe renovarse. Debido a la relativa simplicidad del programa, se espera que el mismo pueda ser usado sin mayores dificultades por usuarios no expertos; adicionalmente el código fuente puede ser modificado a conveniencia para trabajar con otros patrones de color o modelos de conversión. El programa desarrollado puede ser una alternativa accesible, fiable y asequible, cuando no se dispone de otro instrumento de medición de color.

## Agradecimientos

PICT 2020-01670, Proyecto de la UNLP 11X888, 11I183.

## Referencias

- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, Á., Tóth-Markus, M. y Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2), 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.07.001>
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J. y Blasco, J. (2011). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 487-504. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0411-8>
- Eaton, J. W., Bateman, D., Hauberg, S. y Wehbring, R. (2023). GNU Octave version 8.1.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations. <https://www.gnu.org/software/octave/doc/v8.1.0/>
- Fay, C. D. y Wu, L. (2024). Critical importance of RGB color space specificity for colorimetric bio/chemical sensing: A comprehensive study. *Talanta*, 266, 124957. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.124957>
- Goñi, S. M. y Salvadori, V. O. (2017). Color measurement: comparison of colorimeter vs. computer vision system. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(2), 538-547. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9421-1>
- Goñi, S. M., Mattioli, N. G., Olivera, D. y Salvadori, V. (2024). *Medición del color de alimentos en el espacio CIELAB a partir de imágenes*. [Conjunto de datos]. Versión del 6 de mayo de 2024. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/165649>
- Gonzalez, R. C. y Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing* (2da Ed.). Prentice Hall.
- Hernández Salueña, B., Sáenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M. y Alberdi Odriozola, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157, 107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- León, K., Merry, D., Pedreschi, F. y León, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084-1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Li, H., Zhang, R., Zhou, W., Liu, X., Wang, K., Zhang, M. y Li, Q. (2023). A novel method for seed cotton color measurement based on machine vision technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108381. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108381>
- Liñero, O., Ciudad, M., Arana, G., Nguyen, C. y de Diego, A. (2017). The use of a standard digital camera as an inexpensive, portable, fast and non-destructive analytical tool to measure colour: Estimation of the ripening stage of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) as a case study. *Microchemical Journal*, 134, 284-288. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.06.017>
- Mendoza, F., Dejmek, P. y Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurement of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 285-295. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.004>
- Milovanovic, B. Tomovic, V., Djekic, I., Miocinovic, J., Solowiej, B. G., Lorenzo, J. M., Barba, F. J. y Tomasevic, I. (2021). Colour assessment of milk and milk products using computer vision system and colorimeter. *International Dairy Journal*, 120, 105084. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105084>
- Minz, P. S. y Saini, C. S. (2021). Comparison of computer vision system and colour spectrophotometer for colour measurement of mozzarella cheese. *Applied Food Research*, 1, 100020. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100020>
- Nguyen, C. -N., Vo, V. -T., Nguyen, L. -H. -N., Nhan, H. T. y Nguyen, C. -N. (2022). In situ measurement of fish color based on machine vision: A case study of measuring a clownfish's color. *Measurement*, 197, 111299. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111299>
- Pandiselvam, R., Mitharwal, S., Rani, P., Anjaly Shanker, M., Kumar, A., Aslam, R., Barut, Y. T., Kothakota, A., Rustagi, S., Bhati, D., Siddiqui, S. A., Siddiqui, M. W., Ramniwas, S., Aliyeva, A. y Khaneghah, A. M. (2023). The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review. *Current Research in Food Science*, 6, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100529>
- Pascale, D. (2006). RGB Coordinates of the Macbeth ColorChecker. The BabelColor Company.
- Pathare, P. B., Opara, U. L. y Al-Said, F. A. J. (2013). Color measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

- Quevedo, R. A., Aguilera, J. M. y Pedreschi, F. (2008). Color of salmon fillets by computer vision and sensory panel. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 637-643. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0106-6>
- Rodríguez-Pulido, F. J., Gordillo, B., Heredia, F. J. y González-Miret, M. L. (2021). CIELAB – Spectral image MATCHING: An app for merging colorimetric and spectral images for grapes and derivatives. *Food Control*, 125, 108038. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108038>
- Sáez-Hernández, R., Ruiz, P., Mauri-Aucejo, A. R., Yusa, V. y Cervera, M. L. (2022). Determination of acrylamide in toasts using digital image colorimetry by smartphone. *Food Control*, 141, 109163. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109163>
- Sánchez, C. N., Orvañanos-Guerrero, M. T., Domínguez-Soberanes J. y Álvarez-Cisneros, Y. M. (2023). Analysis of beef quality according to color changes using computer vision and white-box machine learning techniques. *Heliyon*, 9, e17976. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17976>
- Schanda, J. (Comp.). (2007). Colorimetry: Understanding the CIE System. John Wiley & Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470175637>
- Tomasevic, I., Tomovic, V., Milovanovic, B., Lorenzo, J., Dorđević, V., Karabasil, N. y Djekic, I. (2019). Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. *Meat Science*, 148, 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.015>
- Trinderup, C. H., Dahl, A., Jensen, K., Carstensen, J. M. y Conradsen, K. (2015). Comparison of a multispectral vision system and a colorimeter for the assessment of meat color. *Meat Science*, 102, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.012>
- Trinderup, C. y Kim, Y. H. B. (2015). Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International*, 71, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.013>
- Valous, N. A., Mendoza, F., Sun, D. -W. y Allen, P. (2009). Colour calibration of a laboratory computer vision system for quality evaluation of pre-sliced hams. *Meat Science*, 81, 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.009>
- Wu, D. y Sun, D. -W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 5-20. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.015>
- Yagiz, Y., Balaban, M. O., Kristinsson, H. G., Welt, B. A. y Marshall, M. R. (2009). Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 728-730. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3467>