

MEDICIÓN DE COLOR DE ALIMENTOS EN EL ESPACIO *CIELAB* A PARTIR DE IMÁGENES

Gofii, Sandro M., Salvadori, Viviana O.

Dto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP. 48 y 115 (1900), La Plata, Argentina.
smgoni@quimica.unlp.edu.ar

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CONICET CCT La Plata y Fac. Cs. Exactas, UNLP. 47 y 116 (1900), La Plata, Argentina.

Palabras clave: alimentos, color, *CIELAB*, cámara digital, procesamiento de imágenes.

Introducción

El color de los alimentos, y en general de materiales sólidos y semisólidos de diversa naturaleza, se representa tradicionalmente usando el espacio de color *CIELAB* (o *CIE 1976 L*a*b**), un estándar internacional para medición de color adoptado por la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) en 1976. El color es una característica de calidad de gran importancia, dado que es el primer aspecto que perciben los consumidores o usuarios, y puede determinar la aceptación o rechazo de un producto y su valor (León *et al.* 2006, Wu y Sun 2013). En esta representación de color, *L** representa la luminosidad de una muestra, *a** representa la variación de verde a rojo, y *b** representa la variación de azul a amarillo.

Las mediciones de color se realizan generalmente usando colorímetros digitales, los cuales son fáciles de utilizar y calibrar, y poseen una fuente de iluminación estándar incorporada. Sin embargo, dichos equipos tienen una serie de limitaciones o desventajas: requieren servicio especializado de mantenimiento y/o reparación, son caros, su área de medición es pequeña, no se pueden usar para muestras muy pequeñas, y el equipo debe ponerse en contacto con la superficie a medir.

En los últimos años se han difundido numerosos trabajos que utilizan cámaras digitales para realizar mediciones de color de alimentos y diferentes materiales. Para esto se utiliza un sistema de visión computacional (*SVC*), en general compuesto por un ambiente de iluminación controlada, una cámara digital y un programa para procesar la información obtenida. Las cámaras digitales permiten obtener de una sola vez una gran cantidad de información espacial, se pueden usar para realizar mediciones de superficies muy grandes y/o muy pequeñas, son equipos mucho más baratos (en el mercado se encuentra una gran variedad de marcas, modelos y características), y no requieren un contacto directo con la superficie a medir. Sin embargo, presentan una serie de desventajas, una de ellas es la iluminación, que es independiente de la cámara, la cual se debe ajustar a la misma en forma individual. Pero la mayor desventaja es que las cámaras ofrecen información en el espacio de color *RGB*, por lo cual las imágenes obtenidas deben transformarse al espacio de color *CIELAB*. Respecto de la iluminación, hay diferentes estrategias para abordar el problema: obtener una iluminación correspondiente a algún estándar (por ej., iluminante D65) y una configuración apropiada de la cámara, de manera tal que todo el sistema represente condiciones estándares y se puedan usar relaciones matemáticas conocidas para realizar transformaciones entre los espacios de color. Dado que dichas condiciones de iluminación pueden ser difíciles de lograr en la práctica, se pueden usar relaciones empíricas para transformar los espacios de color, lo cual requiere calibrar el sistema. Algunos ejemplos de determinación de color de alimentos en el espacio *CIELAB* a partir de imágenes digitales pueden encontrarse en León *et al.* (2006), Mendoza *et al.* (2006), Purlis y Salvadori (2007, 2009), Larraín *et al.* (2008), Lee *et al.* (2008), Romani *et al.* (2009), Valous *et al.* (2009), Jackman *et al.* (2012), Dowlati *et al.* (2013), Girolami *et al.* (2013), Hosseinpour *et al.* (2013), Yam y Papadakis (2014), Dominguez y Centurión (2015). Recientemente, Wu y Sun (2013) presentaron una revisión de medición de color por visión computacional. A pesar de todas las ventajas que presenta el uso de imágenes digitales para realizar mediciones de color,

uno de los aspectos que limita en mayor medida su utilización es la falta de programas básicos para realizar el procesamiento de la información.

En este trabajo se desarrolló un sistema de visión computacional para realizar mediciones de color de alimentos sólidos y semi-sólidos a partir de imágenes digitales. Se construyó un gabinete de adquisición de imágenes con iluminación controlada, se probaron diferentes cámaras digitales, y se desarrolló un programa para realizar el procesamiento de la información obtenida, incorporando protocolos de calibración. Las pruebas de calibración de diferentes modelos de conversión entre espacios de color fueron exitosas. Adicionalmente se midió el color de muestras de diferentes alimentos usando tanto el sistema de visión computacional como un colorímetro digital Minolta, y los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

Parte Experimental

El SVC desarrollado está formado por:

- Gabinete de adquisición de imágenes: construido en paneles de madera (4 paredes laterales más el fondo), pintados con pintura negro mate para reducir las reflexiones de luz. Cuenta con un soporte superior para fijar una cámara digital en diferentes posiciones. El piso del gabinete, donde se colocan las muestras, puede colocarse a diferentes alturas.
- Sistema de iluminación: formado por 4 tubos fluorescentes de 60 cm de largo, colocados sobre las paredes laterales en la parte superior del gabinete. Debajo del sistema de iluminación hay un difusor que evita la exposición directa de las muestras.
- Cámara digital: se probaron varias cámaras. Los resultados particulares de este trabajo se obtuvieron con una cámara NIKON D3100, usando el modo manual que permite fijar la velocidad de obturación y apertura del diafragma.
- Programa para procesar las imágenes: se desarrolló en MATLAB (The Mathworks Inc., Natick, Massachusetts, USA) y se presenta como interfaces gráficas, las cuales son más amigables y fáciles de usar para el usuario. Se implementaron tres interfaces:
 - 1° interfaz: se usa para calibrar o probar el sistema, usando el objetivo clásico de una carta de colores ColorChecker Passport (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, USA), formada por 24 parches de diferentes colores.
 - 2° interfaz: realiza la medición de color. Cuenta con algunas herramientas clásicas de pre-procesamiento de imágenes, para segmentación y selección de regiones de interés. El usuario puede elegir la relación funcional para realizar la transformación entre espacios de color. Como resultado se obtienen los valores promedios, desviaciones estándares, y mínimos y máximos de los parámetros de color L^* , a^* y b^* en la región de interés; adicionalmente se pueden graficar sus histogramas o distribución superficial como imágenes.
 - 3° interfaz: construye parches de colores en el espacio RGB a partir de valores L^* , a^* y b^* , para ver cualitativamente el color hipotético de una muestra con esos parámetros de color.

Se implementaron en el programa diferentes transformaciones entre los espacios de color RGB y $CIELAB$:

- relación teórica directa (IEC 61966-2-1, 1999; Gonzalez y Woods, 2002), tomando como referencia el iluminante D65.
- relación teórica directa modificada, en la cual los coeficientes de la relación teórica son recalculados.
- relaciones polinómicas empíricas (Ec. (1)), donde c^* representa a L^* , a^* o b^* , y x_i ($i = 1,2,3$) representa a las capas de color rojo, verde y azul, respectivamente:

$$c^* = \delta_0 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \varepsilon_{i,j} x_i x_j + \delta_1 x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

Usando más o menos términos de la Ec. (1), se obtiene una relación lineal, una cuadrática, o una cuadrática más interacciones, respectivamente. Más detalles de los modelos utilizados se puede encontrar en Gofii y Salvadori (2014) y Gofii et al. (2014). Los coeficientes desconocidos (δ , α , β , ε) de los diferentes modelos se obtienen por un proceso de calibración o ajuste; para los modelos usados aquí, esto consiste en resolver un problema de regresión lineal. Por defecto, los valores de referencia de la carta de colores ColorChecker Classic que se cargan en la interfaz gráfica se obtuvieron de Pascale (2006).

Como medida de error se usaron las desviaciones absolutas promedios (Ec. (2)) y la diferencia de color promedio (Ec. (3)):

$$|\Delta c^*| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |c_{pred}^* - c_{exp}^*| \quad (2)$$

$$\Delta E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(L_{pred}^* - L_{exp}^*)^2 + (a_{pred}^* - a_{exp}^*)^2 + (b_{pred}^* - b_{exp}^*)^2} \quad (3)$$

Además de las pruebas de calibración, se realizaron mediciones de color de 40 muestras de diferentes alimentos, como galletitas con glaseados de diferentes colores, productos cárneos, y diferentes frutas y verduras. El color de dichas muestras se determinó también usando un colorímetro digital Minolta, por triplicado.

Resultados y Discusión

La Fig. 1a muestra el gabinete de adquisición de imágenes del SVC desarrollado; en el mismo se observan los componentes descritos previamente. La Fig. 1b muestra la interfaz de calibración o prueba del sistema. Su uso es simple e intuitivo: se seleccionan (de manera sencilla) los 24 parches de color del patrón. Luego hay dos opciones: (i) *Predecir*: el sistema predice el color de los 24 parches usando el modelo seleccionado (el cual ha sido calibrado con anterioridad); (ii) *Ajustar*: el sistema ajusta los coeficientes del modelo seleccionado usando los valores de color de referencia de los 24 parches. En todos los casos, las medidas de error (Ecs. (2) y (3)) se muestran en la ventana de comandos.

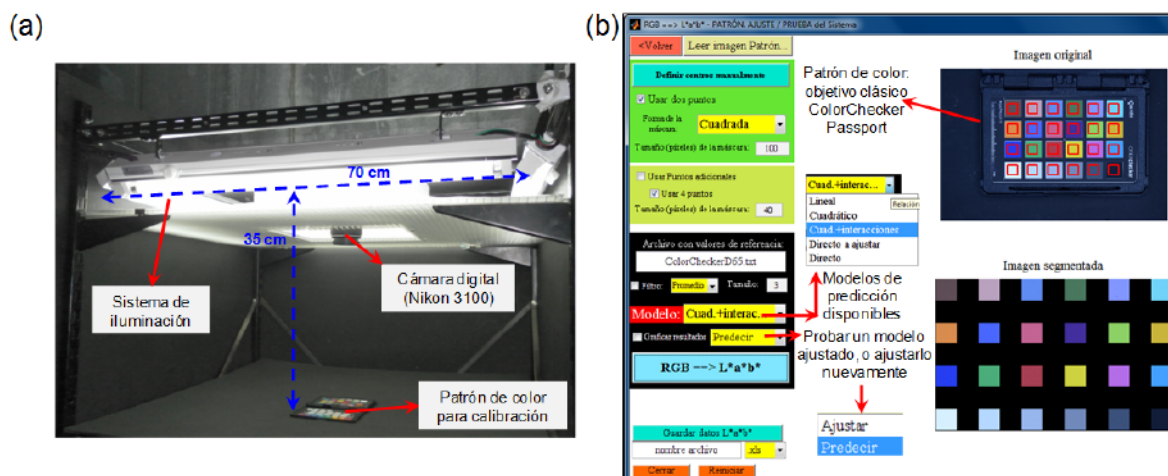


Fig. 1. (a) Gabinete de adquisición de imágenes. (b) Interfaz gráfica para calibración o prueba del sistema.

La Tabla 1 muestra el ajuste de los diferentes modelos de predicción obtenidos durante las pruebas de calibración. El modelo teórico directo y el ajustado no dieron resultados satisfactorios, lo que indica que el sistema (la iluminación, la cámara, o ambos), no representan las condiciones estándares. Las predicciones de estos modelos pueden mejorarse estableciendo un balance de blancos personalizado en la cámara particular utilizada. Para confeccionar la Tabla 1, los valores de color de referencia del patrón de color se obtuvieron con el colorímetro; si se usan los valores reportados por Pascale (2006), las medidas de error aumentan levemente. Es importante recalcar que no se requiere obligatoriamente un colorímetro para usar el sistema, dado que existen valores de referencia para el patrón de color usado.

Tabla 1. Ajuste de los diferentes modelos de predicción utilizados.

Modelo	Valores promedios			
	$ \Delta L^* $	$ \Delta a^* $	$ \Delta b^* $	ΔE
Lineal	1.93	2.98	3.27	5.39
Cuadrático	0.77	2.48	2.71	4.19
Cuadrático + interacciones	0.60	1.13	1.89	2.45

La Fig. 2a muestra la 2ª interfaz, usada para realizar la medición de color; en la misma se ha leído una imagen de una muestra de galletita. La interfaz cuenta con diversas herramientas de pre-procesamiento, que tienen como objetivo seleccionar la región (espacial, o por parámetros de color en el espacio RGB) donde se quiere medir color. En este caso, se aplicó un proceso de segmentación en la capa de color rojo para seleccionar únicamente la región correspondiente a la masa, descartando el relleno. La transformación entre espacios de color se aplica a toda la imagen, pero luego se extraen solamente los valores correspondientes a la región de interés seleccionada por el usuario. En particular, la Fig. 2b muestra la distribución superficial de luminosidad, y la Fig. 2c el histograma de sus valores (la interfaz muestra también la distribución superficial e histogramas de a^* y b^*).

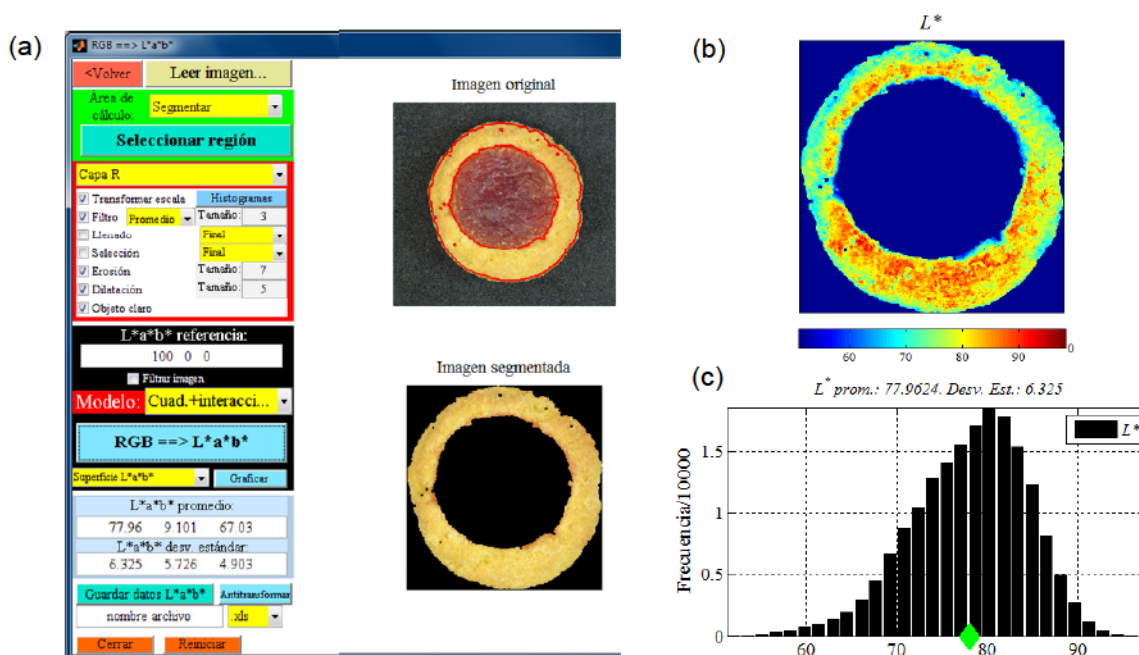


Fig. 2. (a) Interfaz gráfica para medición de color. (b) Distribución superficial de L^* . (c) Histograma de valores de L^* .

Las medidas de color de las muestras adicionales de diferentes alimentos, mencionadas previamente, se realizaron utilizando el modelo cuadrático más interacciones, ya que

presentó el menor valor de ΔE en las pruebas de calibración. Las diferencias con las mediciones obtenidas con el colorímetro digital fueron $|\Delta L^*| = 2.79$, $|\Delta a^*| = 3.37$, $|\Delta b^*| = 2.96$ y $\Delta E = 6.27$.

La 3º interfaz permite, a partir de valores definidos de $L^*a^*b^*$, obtener los valores RGB correspondientes. Estos valores RGB se muestran como imagen, y se pueden comparar cualitativamente con una imagen de la muestra real (Girolami et al., 2013), o directamente con la muestra real (es posible calibrar los monitores para que reflejen las condiciones estándares). La Fig. 3 muestra este proceso para el componente mayoritario (pasta de carne) de una muestra de *salchichón primavera*. Los valores $L^*a^*b^*$ del colorímetro siempre se invierten usando el modelo teórico, y los valores $L^*a^*b^*$ del SVC se invierten usando el mismo modelo usado para obtener los valores $L^*a^*b^*$, en este caso, el modelo cuadrático más interacciones. Como puede verse, se obtuvo, cualitativamente, una mejor predicción del color usando el SVC, para esa muestra particular.

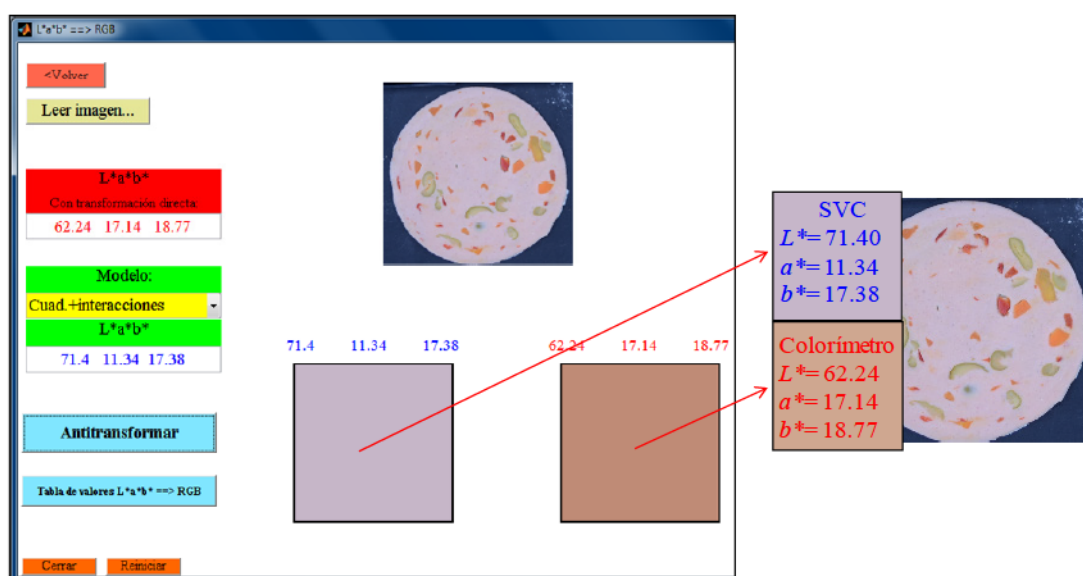


Fig. 3. Valores $L^*a^*b^*$ obtenidos con el colorímetro y el SVC (modelo cuadrático más interacciones) para la parte de carne de una muestra de *salchichón*.

El programa desarrollado para realizar el procesamiento de la información puede ser: (i) transferido a terceros para su uso directo, (ii) adaptado a las necesidades particulares de terceros, (iii) o se puede transferir el código fuente para que terceros lo editen y adapten a sus necesidades.

Conclusiones

Se desarrolló un sistema de visión computacional para realizar mediciones de color de alimentos. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, y las comparaciones con mediciones realizadas con un colorímetro digital fueron aceptables.

El programa desarrollado puede ser usado por terceros, solo se requiere que los potenciales usuarios cuenten con su propio sistema de adquisición de imágenes y con el patrón de colores. El programa puede ser modificado para incorporar el uso de un patrón de color con un mayor número de parches, de manera tal de mejorar la seguridad de las predicciones, y para adaptarse a las necesidades particulares de diferentes usuarios.

Finalmente, el sistema desarrollado no requiere un colorímetro para su calibración, y por otro lado si se cuenta con una iluminación estándar y una buena configuración de la cámara, se puede usar el modelo teórico directo, el cual no requiere calibración.

Bibliografía

- Dominguez, M., Centurión, M.E. (2015). Application of digital images to determine color in honey samples from Argentina. *Microchemical Journal*, 118, 110-114.
- Dowlati, M., Mohtasebi, S.S., Omid, M., Razavi, S.H., Jamzad, M., de la Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *Journal of Food Engineering*, 119, 277-287.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A. (2013). Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93, 111-118.
- Goñi, S.M., Olivera, D.F., Salvadori, V.O. (2014). Determinación de color en el espacio CIELAB a partir de imágenes digitales. *FoodInnova 2014, International Conference on Food Innovation*. Concordia, Entre Ríos, Argentina, 20-23 Octubre, 2014.
- Goñi, S.M., Salvadori, V.O. Herramientas informáticas para medición de color de alimentos en el espacio CIELAB a partir de imágenes digitales. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina, 17-19 de Noviembre de 2014. En Prensa.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E. (2002). *Digital Image Processing (2nd Ed.)*. New Jersey, Prentice Hall.
- Hosseinpour, S., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Aghbashlo, M. (2013). Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *Journal of Food Engineering*, 115, 99-114.
- IEC 61966-2-1. 1999. *Colour Measurement and Management in Multimedia Systems and Equipment - Part 2-1: Default RGB Colour Space - sRGB*. 1º Ed.
- Jackman, P., Sun, D.-W., ElMasry, G. (2012). Robust colour calibration of an imaging system using a colour space transform and advanced regression modeling. *Meat Science*, 91, 402-407.
- Larraín, R.E., Schaefer, D.M., Reed, J.D. (2008). Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International*, 41, 380-385.
- Lee, D.-J., Archibald, J.K., Chang, Y.-C., Greco, C.R. (2008). Robust color space conversion and color distribution analysis techniques for date maturity evaluation. *Journal of Food Engineering*, 88, 364-372.
- León, K., Merry, D., Pedreschi, F., León, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084-1091.
- Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M. (2006). Calibrated color measurement of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 285-295.
- Pascale, D. (2006). RGB Coordinates of the Macbeth ColorChecker. <http://www.babelcolor.com/download/RGB%20Coordinates%20of%20the%20Macbeth%20ColorChecker.pdf> (accedido 30/10/2013).
- Purlis, E., Salvadori, V.O. (2007). Bread browning kinetics during baking. *Journal of Food Engineering*, 80, 1107-1115.
- Purlis, E., Salvadori, V.O. (2009). Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42, 865-870.
- Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., Della Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93, 487-494.
- Valous, N.A., Mendoza, F., Sun, D.-W., Allen, P. (2009). Colour calibration of a laboratory computer vision system for quality evaluation of pre-sliced hams. *Meat Science*, 81, 132-141.
- Wu, D., Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 29, 5-20.
- Yam, K.L., Papadakis, S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.

Agradecimientos

Este trabajo se financió con fondos provenientes de la UNLP (111183), PICT 2013-1637 y Subsidios 2012 Jóvenes Investigadores de la UNLP.