

Desarrollo y evaluación de un prototipo de medición de color en vegetales frescos

Saúl Dussán-Sarria*, Alba M. Garzón-García, y Raúl E. Melo-Sevilla

Facultad de Ingeniería y Administración, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. A.A. 237. Palmira, Valle del Cauca-Colombia. (e-mail: sdussan@unal.edu.co; almgarzonga@unal.edu.co; remelos@unal.edu.co).

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Feb. 21, 2019; Aceptado Abr. 15, 2019; Versión final Jun. 20, 2019, Publicado Feb. 2020

Resumen

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar un prototipo de medición de color de vegetales frescos como alternativa económica frente a los equipos y técnicas comerciales. Se emplearon los sensores DHT11 para temperatura y TCS230-3200 para color, conectados a una tarjeta de adquisición de datos (Arduino Nano). La transferencia de información a un ordenador se estableció con los programas PXL-DAQ y Microsoft Excel® 2013, y las mediciones se registraron en el modelo de color RGB para su conversión al sistema CIE L*a*b*. Se realizaron ensayos de comparación de medidas sobre la carta de color PANTONE con el prototipo, y colorímetro CR-400 Konica Minolta, determinándose el error medio entre las medidas. Se encontró un error medio promedio de 15,57 % y 27,45 % en las mediciones registradas por el prototipo de color y el colorímetro, respectivamente, lo cual evidenció que el uso del prototipo es una alternativa técnica apropiada de medición de color en vegetales frescos.

Palabras clave: equipo de medición; calidad de alimentos; sistema de adquisición de datos, colorímetro.

Development and evaluation of a color measurement prototype in fresh vegetables

Abstract

The aim of this work was to develop and evaluate a color measurement prototype in fresh vegetables as an economic alternative to equipment and commercial techniques. The DHT11 temperature and TCS230-3200 color sensors were used connected to a data acquisition card (Arduino Nano). The information transfer to a computer was established with the PXL-DAQ and Microsoft Excel® 2013 software, and the measurements were recorded in RGB color model for its conversion to CIE L*a*b* system. Comparison tests of measurements were carried out on PANTONE color chart with the prototype and a Konica Minolta CR-400 colorimeter, determining the average error between measurements. An average error of 15,57% and 27,45% was found in the measurements registered by the color prototype and the colorimeter, respectively, which showed that the use of prototype is an appropriate alternative technique for measuring color in fresh vegetables.

Keywords: measuring equipment; quality food; data acquisition system, colorimeter

INTRODUCCIÓN

El color es un fenómeno físico y sensorial, captado por la percepción humana de la luz reflejada por un objeto y se ve afectado por el observador, el iluminante, la geometría óptica, el área, fondo, superficie, brillo y temperatura (Delmoro et al., 2010). Funciona como indicador de degradación y de la concentración de colorantes o pigmentos. Además, es el primer atributo que valora los consumidores y se considera fundamental en la elección de un producto, pues permite determinar la calidad de los alimentos y su idoneidad de forma rápida, precisa y objetiva (Mery y Pedreschi, 2005). La medición del color en los alimentos se puede efectuar con sistemas visuales humanos o instrumentos. En los sistemas visuales se hacen comparaciones con referencias de color bajo iluminación controlada o con colores estándar, implicando una inspección más especializada y entrenamiento de los observadores (Afshari-Jouybari y Farahnaky, 2011). Por otra parte, los equipos más utilizados son el colorímetro, espectrofotómetro y espectrocolorímetro (Garzón-García et al., 2018), e implican altos costos para su adquisición y calibración (Kirchner et al., 2018).

Ante esta situación, ultimadamente se ha empleado la visión computarizada (CVS) como tecnología para adquirir y analizar una imagen con computadores u otras herramientas con el fin de obtener información o controlar procesos de forma económica y sencilla (Afshari-Jouybari y Farahnaky, 2011). Es un sistema que consta de cámaras digitales o de vídeo para la adquisición de imágenes mediante elementos sensibles a la luz, como un sensor CCD (dispositivo de carga acoplada) que integra a una matriz de filtros para que los objetos se vean a distintas intensidades (rojo (R), verde (G) y azul (B)) de acuerdo al balance de blancos. Las tres intensidades se combinan para producir la imagen digital y se convierten al sistema CIE $L^*a^*b^*$ (Mendoza et al., 2006).

Estudios como el de Afshari-Jouybari y Farahnaky (2011) evidencian el uso del software digital Photoshop para procesar las imágenes tomadas con una cámara digital, la cual estaba adaptada a un CVS. Los valores de L^* , a^* y b^* medidos con este método y un colorímetro Hunter tuvieron una alta correlación (coeficientes de determinación mayores a 0.98). En otra investigación, se evaluó el potencial de la regresión de máquinas de vectores de mínimos cuadrados (LS-SVM) para desarrollar un método basado en redes neuronales con el objetivo de medir el color de los alimentos en el sistema CIE $L^*a^*b^*$ mediante sistemas de visión computarizada. Tres modelos LS-SVM fueron validados, uno para cada variable de salida (L^* , a^* y b^*), utilizando los datos generados por una cámara digital (Romaniello et al., 2015). Rodríguez-Pulido et al. (2013) establecieron una metodología para mejorar la evaluación de colores heterogéneos en alimentos y su ilustración en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$, por medio de un algoritmo que clasifica las nubes de puntos en forma de elipsoides con un método de agrupación. A su vez, determinaron que el algoritmo puede ser útil para un estudiar la relación entre el color, la apariencia y la composición de los alimentos.

Hay que resaltar que la automatización de la medición del color ha permitido la integración de procesos dentro de las cadenas agroindustriales. Autores como Oblitas-Cruz y Castro-Silupu (2014) emplearon un sistema de visión computarizada con una nueva herramienta informática desarrollada en MATLAB 7.5, para evaluar el efecto del tiempo y la temperatura en el color del café tostado. El color fue medido en el sistema CIE $L^*a^*b^*$ y los datos se ajustaron a un diseño de superficie de respuesta. Con este estudio se logró la diferenciación de las tonalidades durante el tostado de café respecto a los parámetros de operación y optimizar el proceso. Ganganagowder y Kamath (2017) diseñaron un modelo supervisado de clasificación inteligente de productos alimenticios tales como galletas, cereales, verduras, nueces comestibles y otros, utilizando imágenes digitales. El algoritmo de selección de características basadas en correlación (CFS) y los pretratamientos de segunda derivada de las características morfológicas, de color y de textura se utilizaron para entrenar los modelos para la clasificación y la detección.

Notando la relevancia de disponer de instrumentos y equipos a nivel de planta piloto o laboratorio para llevar a cabo las mediciones de ciertos atributos en los vegetales frescos de forma automática, con incertidumbre tolerable y que no demanden grandes costos, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un prototipo de medición de color económico, empleando sensores y tarjetas electrónicas, y validar su uso potencial mediante la comparación del error en las medidas con un colorímetro comercial, teniendo como referencia una carta de color especializada para alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se detalla la construcción del prototipo para la medición de color y temperatura, la conversión de las mediciones de color del modelo RGB al sistema CIE $L^*a^*b^*$, la forma en que se efectuaron los cálculos del error medio en la medida tanto para el prototipo como para el colorímetro, y la descripción del análisis estadístico.

Construcción del prototipo

El prototipo de medición de color para uso en vegetales frescos fue construido y evaluado en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. El prototipo consistió en una caja con dimensiones 20 cm x 20 cm x 20 cm y paredes de color negro, lo cual fue definido siguiendo las investigaciones efectuadas por Tarlak et al. (2016) y Lohumi et al. (2018). Se adaptaron el sensor de temperatura DHT11 en la base y el sensor de color TCS230-3200 que incluía LEDs, por encima del material a evaluar. Ambos sensores se conectaron a un Arduino Nano (Figura 1), el cual actuaba como tarjeta de adquisición de datos (DAQ). Mediante una conexión serial, se estableció la transferencia de los datos a un ordenador con la ayuda de un programa de fácil acceso llamado PXL-DAQ. Finalmente, se llevaron a un archivo en Microsoft Excel® 2013 para realizar la conversión del sistema RGB al sistema CIE $L^*a^*b^*$, como se muestra en la Figura 2. Fueron obtenidos 30 conjuntos de datos con cada referencia utilizada.

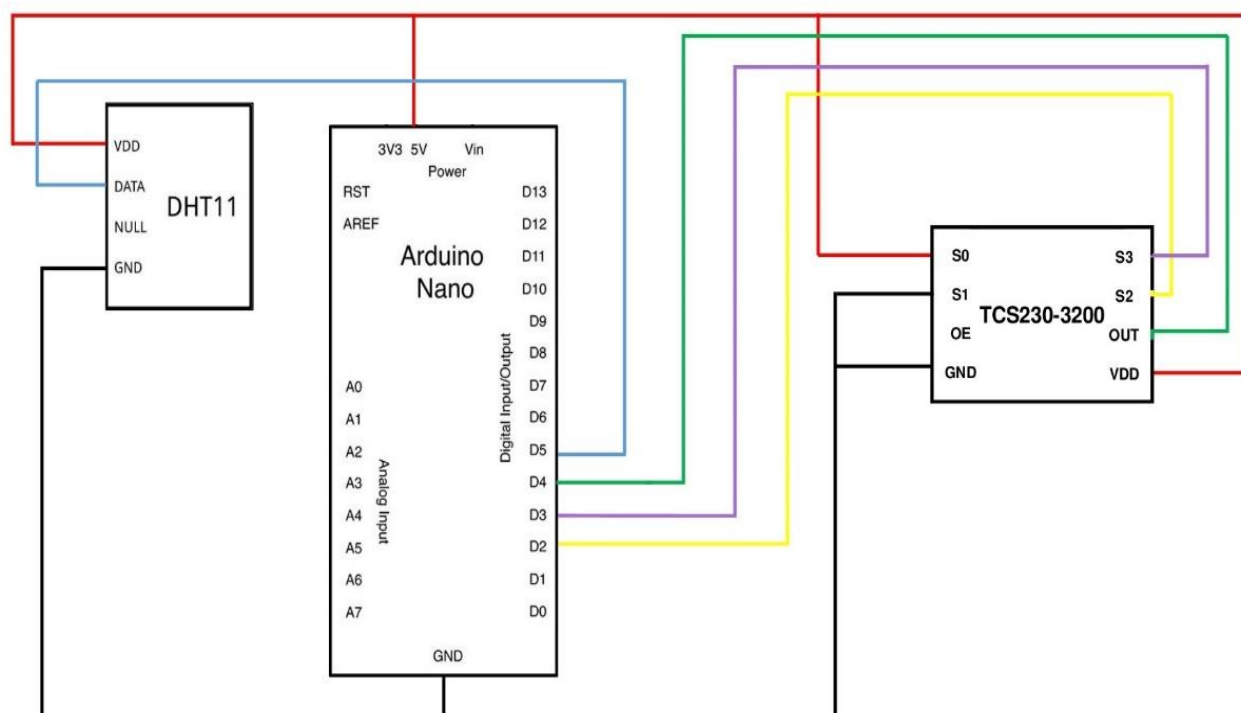


Fig. 1: Esquema de conexión entre la tarjeta de adquisición de datos (Arduino Nano) y el sensor de temperatura DHT11 en la base y el sensor de color TCS230-3200

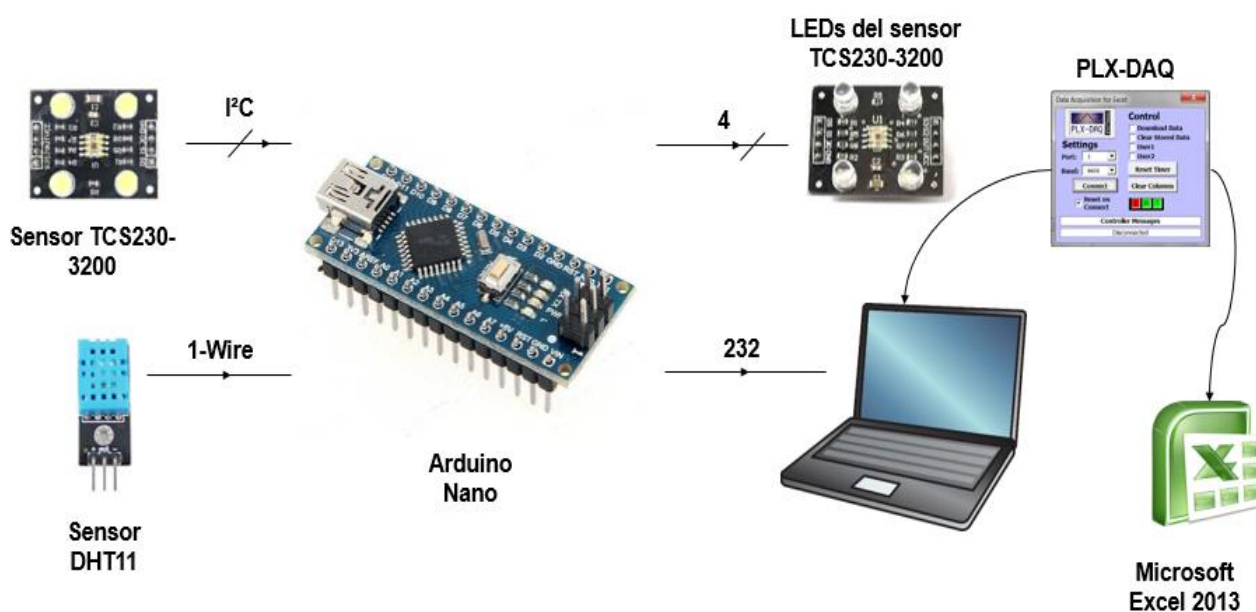


Fig. 2: Diagrama de bloques para la medición de color con el prototipo desarrollado

*Conversión del sistema RGB a CIE L*a*b**

El sensor TCS230-3200 detectó las medidas de color en el modelo de color RGB y se convirtieron al sistema CIE L*a*b, el cual es comúnmente usado para la medición de color en los alimentos. El proceso inició corrigiendo los valores RGB (R=rojo, G=verde, B=azul) y transformándolos en valores RGB, para definirlos a partir de funciones de mapeo de codificación no uniforme (Mendoza et al., 2006). Luego, dichos valores fueron convertidos al sistema CIE XYZ y se usaron cálculos con coeficientes para un observador 2° e iluminante D65 ($X_n = 95.03$; $Y_n = 100$; $Z_n = 108.88$). Finalmente, se obtuvieron las mediciones en el sistema CIE L*a*b* (Saldaña et al., 2014; Garzón-García et al., 2018).

Con las Ecuaciones 1, 2 y 3, obteniendo la primera variación.

$$\text{VarR} = R/255 \quad (1)$$

$$\text{VarG} = G/255 \quad (2)$$

$$\text{VarB} = B/255 \quad (3)$$

Se consideraron las condiciones a) y b) y se aplicaron las ecuaciones 4 a la 9.

a) Si $\text{VarR}; \text{VarG}; \text{VarB} \leq 0.404045$ entonces,

$$r = \text{VarR}/12.92 \quad (4)$$

$$g = \text{VarG}/12.92 \quad (5)$$

$$b = \text{VarB}/12.92 \quad (6)$$

b) Si $\text{VarR}; \text{VarG}; \text{VarB} > 0.404045$ entonces,

$$r = \left(\frac{\text{VarR} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (7)$$

$$g = \left(\frac{\text{VarG} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (8)$$

$$b = \left(\frac{\text{VarB} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (9)$$

Se efectuó la conversión de los parámetros RGB al sistema CIE XYZ.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (10)$$

Teniendo las condiciones a) y b) y se aplicaron las ecuaciones 11 a la 16 para la conversión del sistema CIE XYZ al CIE L*a*b*.

a) Si $\frac{X}{X_n}; \frac{Y}{Y_n}; \frac{Z}{Z_n} > 0.008856$ entonces;

$$\text{VarX} = \left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \quad (11)$$

$$\text{VarY} = \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \quad (12)$$

$$\text{VarZ} = \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \quad (13)$$

b) Si $\frac{X}{X_n}; \frac{Y}{Y_n}; \frac{Z}{Z_n} \leq 0.008856$ entonces;

$$\text{VarX} = \left(7.787 \times \frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116} \quad (14)$$

$$\text{VarY} = \left(7.787 \times \frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116} \quad (15)$$

$$\text{VarZ} = \left(7.787 \times \frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116} \quad (16)$$

Los valores del sistema CIE $L^*a^*b^*$ se encontraron con las ecuaciones 17,18 y 19.

$$L^* = (116 \times \text{VarY}) - 16 \quad (17)$$

$$a^* = 500 \times (\text{VarX} - \text{VarY}) \quad (18)$$

$$b^* = 200 \times (\text{VarY} - \text{VarZ}) \quad (19)$$

Determinación del error medio en la medida

Siguiendo lo planteado por Mendoza et al. (2006), fueron considerados como referencia los valores L^* , a^* y b^* de la carta de color PANTONE los cuales fueron comparados, a través del error medio, con los valores L^* , a^* y b^* obtenidos por el prototipo y un colorímetro comercial. La carta de color ha sido utilizada en diversos trabajos para identificar el color en vegetales frescos siendo un estándar en la comparación de diferentes métodos de medición (Delmoro et al., 2010; Padrón et al., 2012; Newslow, 2014). Esta carta de color posee la descripción del color en el modelo CYMK, de carácter sustractivo y con las siglas de Cyan-Magenta-Yellow-blackK, (cian-magenta-amarillo-negro), el blanco resulta de la ausencia de todos los colores, mientras que el negro se obtiene sumándolos todos (Vallina, 2010). Los colores evaluados en la carta de color fueron Yellow C (C: 0, M: 0, Y: 100, K: 0), Orange 021 C (C: 0, M: 51, Y: 87, K: 0) y un blanco navajo, 1205 C (C: 0, M: 0, Y: 27, K: 0) que corresponden a los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* resultantes de la conversión en línea con EasyRGB (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de las coordenadas de color de referencia en el sistema CIE $L^*a^*b^*$

Color	L^*	a^*	b^*
Yellow C	97	-22	94
Orange 021 C	67	45	67
1205 C	99	-10	33

En la carta de color fueron medidos los colores previamente mencionadas utilizando el prototipo construido y el colorímetro CR-400 Konica Minolta. El colorímetro cuenta con un software denominado Espectro Magic NX el cual registra de forma directa los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* . Fue calibrado con un plato o placa reflectora blanca ($L^*=97.58$, $a^*=0.16$ y $b^*=1.71$), a un ángulo de observación de 2° e iluminante D65. Los parámetros determinados fueron L^* ($L^*=0$ [negro] y $L^*=100$ [blanco]), a^* ($-a^*=verde$ y $+a^*=rojo$) y b^* ($-b^*=azul$ y $+b^*=amarillo$).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis ANOVA de un factor y Tukey en Microsoft Excel® 2013 ($\alpha=0,05$), para evaluar si existían diferencias significativas entre las mediciones en el colorímetro y el prototipo evaluado. Inicialmente fue calculado el error porcentual entre los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* con la ecuación 20, donde e_n el error porcentual de una coordenada del sistema CIE $L^*a^*b^*$, n_c la coordenada del sistema CIE $L^*a^*b^*$ obtenida con la carta de color PANTONE y n_p la coordenada del sistema CIE $L^*a^*b^*$ obtenida por la medición con el colorímetro o con el prototipo.

$$e_n = \left[\frac{n_c - n_p}{n_c} \right] \times 100 \quad (20)$$

Consecuentemente, con la ecuación 21 se halló el error medio para los valores obtenidos con el colorímetro y el prototipo al conocer el error porcentual en las tres coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ en cada repetición (Afshari-Jouybari y Farahnaky, 2011). Siendo $\bar{e}$ el error medio expresado como porcentaje, e_{L^*} el valor del error porcentual en la coordenada L^* , e_{b^*} el valor del error porcentual en la coordenada b^* y e_{a^*} el valor del error porcentual en la coordenada a^* , este procedimiento se realizó a cada uno de los 30 grupos de datos obtenidos.

$$\bar{e} = \frac{e_{L^*} + e_{a^*} + e_{b^*}}{3} \quad (21)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se exponen los resultados y discusión en las subsecciones mencionadas a continuación: mediciones con el prototipo y el colorímetro, y determinación del error medio en la medida.