



XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

Bogotá, Colombia, 23 al 27 de Mayo de 2016

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE CAMBIO DE COLOR DE CAFÉ TOSTADO USANDO ANÁLISIS DE IMÁGENES EN *IMAGEJ*

COLOR KINETICS FOR ROASTED COFFEE USING IMAGE ANALYSIS *IMAGEJ*

OVIDIO VALERIO-CUBILLO¹, GUILLERMO A. VARGAS-ELÍAS², ROYNER ABARCA-MORA³, LUIS BARBOZA-BARQUERO⁴, GEOVANNI CARMONA-VILLALOBOS⁵

¹ Estudiante de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, CIGRAS-UCR, (506)8516-0385, ovidio.valerio@ucr.ac.cr

² Ingeniero Agrícola, Profesor, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, CIGRAS-UCR, (506)8431-1259, gvargase@gmail.com

³ Estudiante de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, CIGRAS-UCR, (506)8868-4438, royner.abarca@ucr.ac.cr

⁴ Ingeniero Agrónomo, Profesor, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, CIGRAS-UCR, (506)2511-3424, luisorlando.barboza@ucr.ac.cr

⁵ Ingeniero Agrícola, Profesor, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola-UCR, (506)2511-6643, geovanni.carmona@ucr.ac.cr

RESUMEN

Se estudió el nivel de color usando la escala L^* , a^* y b^* para grano tostado de café (*Coffea arabica*), preparada para masas iniciales de 500 g con humedad inicial de 12,5 % b.h.. Se utilizó un tostador tipo convencional, donde se mantuvo estable la temperatura inicial del tostador y se produjeron cinco niveles de tostado. Cada muestra fue molida y las partículas fueron clasificadas por tamaño 60 mesh, luego fueron analizadas tomando fotografías, para las cuales se utilizó análisis de imágenes usando el software *ImageJ*. Se analizó el cambio de color a través de los valores de L^* , a^* y b^* asociados al tiempo para los distintos grados de tueste y estudiaron los valores promedio para el total de píxeles y se encontró que la regresión de mejor ajuste corresponde a una curva polinómica de segundo grado con valores del coeficiente de determinación mayores al 98 %. Adicionalmente se encontró que entre mayor el grado de tostado, menor la desviación estándar de dichas escalas, mostrando mayor uniformidad en el análisis. Esto permite correlacionar de manera objetiva los grados de tueste de un modo que expresa la importancia de la metodología que es versátil, rápida y económica al hacer uso de software libre.

PALABRAS CLAVE: Escala de color, Análisis de Imágenes, Análisis de partículas, café tostado, CIELab.

ABSTRACT

Digital Image Processing has the potential to objectively correlate the color of coffee roast levels with a versatile, quick and economic methodology as it can use free software. Color levels were studied using the L^* , a^* y b^* scale for the roasted *Coffea Arabica* species, prepared for a mass and initial humidity of 500 g and 12,5 % w.b., respectively. A rotary drum toaster was used, where the initial toaster temperature was kept constant and five different roasting levels were obtained. Each sample was milled and classified by size using a 60 mesh screen, and then analyzed capturing images which were later processed using the software *ImageJ*. Color differences were studied by the measured changes of the L^* , a^* y b values through time for the different roast degrees, for which an average pixel value was determined. A second degree polynomial equation was determined for the color kinetics, with coefficient of determination values higher than 98%. It was also discovered that the greater the roasting levels, the lower the standard deviation on pixel color values, showing more sample uniformity.

KEYWORDS: color scale, Image Analysis, Particles analysis, roasted coffee, CIELab.

INTRODUCCIÓN

La evaluación sensorial realizada por los clientes o profesional capacitado es una técnica utilizada en pos cosecha en múltiples áreas de evaluación alimenticia. Debido a la alta variabilidad ocasionada por el operador, se tiene que estas pruebas son subjetivas; como resultado, la técnica no destructiva basada en el procesamiento digital de imágenes (PDI) en los últimos días se ha vuelto popular en la evaluación de alimentos, tales como sistemas de procesos de inspección y vigilancia, incluso en sistemas de análisis en tiempo real (PRASAD, 2015).

En la torrefacción, el proceso es controlado por una persona con amplia experiencia en la inspección visual, para determinar el nivel adecuado del color en los granos de café y ajustar los próximos tuestes en forma subjetiva (HERNANDEZ et al., 2008).

El nivel de tostado en su forma objetiva es asociado principalmente al parámetro de color luminoso (L^*), con el que se mide el índice de oscurecimiento en los granos producto de las reacciones de caramelización, donde al aumentar el color oscuro en los granos disminuye su luminosidad. En los niveles de tostado claro hasta muy oscuro se observan valores entre 38 y 28, respectivamente (CHO et al., 2013).

El nivel de tueste en el café puede ser clasificado por escalas comerciales como los discos de color Agron; donde los discos n° 95 y n° 25 corresponde con el índice de luminosidad de 35 y 18, respectivamente (SCHWARTZBERG, 2011).

El sistema CIELab proporciona un espacio tridimensional del color, en el cual los ejes a^* y b^* forman un plano y el eje L^* es ortogonal a este plano. Dichos ejes representan estímulos de color como una señal acromática (L^*) y dos canales cromáticos que representan rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*). Dicho esquema de estudio del color permite mediante el espacio tri-estimulo, realizar mejores predicciones de la apariencia del color, así como la diferencia de color visual entre los estímulos de color representados por dos puntos (WESTLAND & RIPAMONTI, 2004).

El procesamiento digital de imágenes en café se ha utilizado para poder simplificar el análisis de la variación del nivel de tueste a través del tiempo, ofreciendo un método objetivo y rápido. (VIRGEN-NAVARRO et al., 2016). El objetivo de este trabajo fue determinar la cinética del color de café utilizando el análisis de imágenes.

MATERIALES Y METODOS

El café utilizado es de la especie *Coffea arabica*, variedad caturra, desarrollado entre los 1500 y 1600 m.s.n.m, fue cosechado selectivamente por grano maduro y procesado por vía húmeda (café lavado) y finalmente fue secado al sol.

El proceso de torrefacción del café se llevó a cabo en un tostador convencional de la marca BENDIG modelo ECO-2000, el cual, cuenta con un cilindro rotativo con calentamiento de quemador a gas directo y con una capacidad de 2,0 kg de café crudo. El consumo de gas se mantiene constante mediante un regulador de presión instalado en el cilindro de alimentación y una válvula de control. Se realizó la torrefacción para una temperatura de 320 °C, registrada en la cámara interna del tostador y los niveles de tostado se determinaron usando diferencias controladas aproximadamente de 10 °C como temperatura final del proceso, que permitieron obtener cinco niveles de tueste diferenciados.

La molienda del café se realizó en un molino domestico de aspas, el cual fue utilizado para procesar todas las muestras. Después, fueron tamizadas hasta alcanzar un tamaño de partícula, sobre el mesh #60 y se colocaron en recipientes “Petri” de plástico.

La adquisición de las imágenes fue realizada mediante una cámara digital, marca Nikon - modelo D7100, con apertura focal de f/8, exposición 5EV con una resolución de 6000 x 4000 pixeles, montada sobre un dispositivo tipo “riel” en el cual se mantiene una distancia constante

desde el observador al objeto. Todo el equipo fotográfico se encuentra confinado en una recámara en la cual no hay incidencia de luz del exterior, únicamente se tienen luces blancas perpendiculares a la línea de visión. La acción de la cámara es controlada desde una computadora Intel Core i5, procesador de 3,00 GHz y memoria RAM de 5,00 GB usando el programa Camera Control Pro.

Cada una de las imágenes tomadas, es procesada por un conjunto de macros elaborados en el software libre *ImageJ* 1.50b (Open Source Software, OSS).

Para verificar los valores de la escala L^* , a^* y b^* determinados por análisis de imágenes, se comparó con los valores obtenidos en un colorímetro portable PCE-TCR 200. Se obtuvo la curva de regresión que permite ajustar los valores determinados por la imagen.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de imágenes siguió el patrón según la Figura 1, donde a partir de la fotografía se obtuvo la frecuencia en pixeles para cada uno de los histogramas en la determinación de los parámetros de color L^* , a^* y b^* . Se observa una tendencia central que permite determinar el promedio y con la amplitud se determina la desviación estándar.

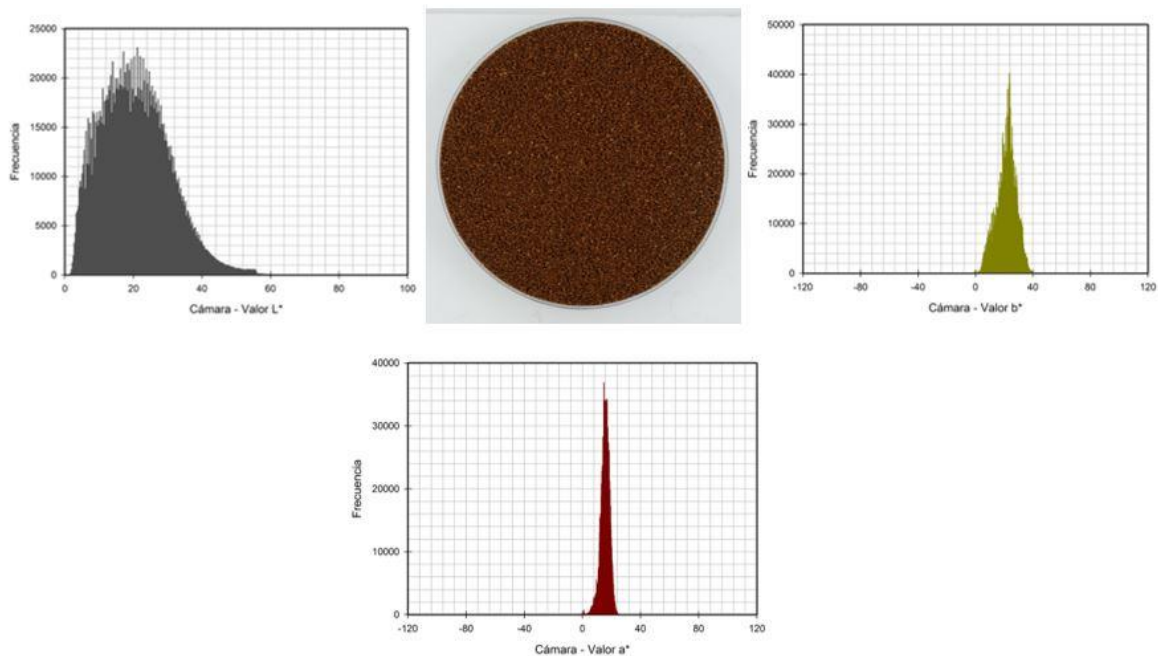


Figura 1. Histogramas de la escala CIEL*a*b*, obtenidos por el programa *ImageJ*.

Las muestras de café tostado y molido fueron referenciadas con el colorímetro en relación a los parámetros de color L^* , a^* y b^* (OLIVEIRA et al., 2014; WANG & LIM, 2013), lo que generó una curva de ajuste entre las dos metodologías. Los principales valores estadísticos de la curva de mejor ajuste se detallan en el Cuadro 1 y la distribución de valores observados se muestran en la Figura 2.

Para los distintos grados de tueste, se obtuvieron cambios significativos en el color, lo que permite visualizar de manera integral la composición del color de las muestras de café. El mejor ajuste es una ecuación logarítmica de tres términos para cada uno de los parámetros de color, este ajuste logarítmico está de acuerdo con los obtenidos por Virgen-Navarro et al. (2016).

Cuadro 1. Parámetros de ajuste de los valores de la escala CIEL*a*b* obtenidos por la cámara fotográfica y ajustados al colorímetro.

Parámetros de ajuste			
	L*	a*	b*
A	19.476	5.0853	65.039
x ₀	-2.937	-1.5477	-88.5324
y ₀	-31.0722	-1.0076	-285.364
p-valor			
a	<0.0001	<0.0001	0.4749
x ₀	0.2579	0.1064	0.5408
y ₀	0.0159	0.6487	0.5776
Parámetros estadísticos			
R	0.9926	0.9892	0.9755
R ²	0.9852	0.9785	0.9516
Adj Rsqr	0.9835	0.9759	0.9459
SE	1.2845	0.5563	1.638
t-test			
A	6.5554	7.3456	0.7306
x ₀	-1.1706	-1.705	-0.6241
y ₀	-2.6774	-0.4637	-0.5678

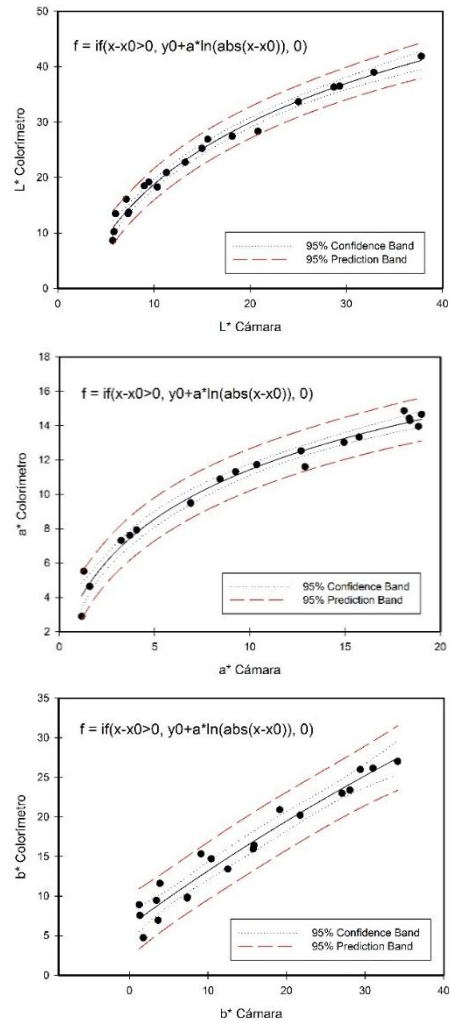


Figura 2. Ajuste no lineal de los parámetros L*, a* y b*, obtenidos por la cámara y ajustados al colorímetro.

El diámetro de la muestra analizada por fotografía (90 mm) es mayor a 10 veces el diámetro de análisis por colorímetro (8 mm), con lo que permite analizar cuerpos con áreas mayores como por ejemplo los granos enteros (VIRGEN-NAVARRO et al., 2016).

Ecuaciones de ajuste,

$$\begin{aligned}
 L^*_{colorímetro} &= 19,4760 \cdot \ln(L^*_{cámara} + 2,9370) - 31,0722 \\
 a^*_{colorímetro} &= 5,0853 \cdot \ln(a^*_{cámara} + 1,5477) - 1,0076 \\
 b^*_{colorímetro} &= 65,0390 \cdot \ln(b^*_{cámara} + 88,5324) - 285,3640
 \end{aligned}$$

Las diferencias entre los tuestes fueron superiores a 1,0 en el parámetro L*, y tales diferencias fueron determinadas como significativas en otros estudios (OLIVEIRA et al., 2014).

Cuadro 2. Parámetros estadísticos correspondientes a los ajustes no lineales de las cinéticas del color para el valor L* en cámara y ajustado.

Parámetros de regresión		
	Cámara	Ajuste
y ₀	182.9785	122.3225
a	-32.8883	-16.4215
b	1.5300	0.5687
p-valor		
y ₀	0.0051	0.0018
a	0.0088	0.0055
b	0.0132	0.0148
Parámetros estadísticos		
R	0.9991	0.9999
R ²	0.9981	0.9997
Adj Rsqr	0.9962	0.9994
SE	0.6934	0.2737
t-test		
y ₀	13.9053	23.5556
a	-10.6196	-13.4365
b	8.6319	8.1306

En la Figura 2 se observa que, para el tueste claro del café, corresponde un parámetro L* entre 35 y 40, que estadísticamente es semejante al determinado por el colorímetro. Conforme avanza el tostado, se observa que los granos oscurecen y disminuye el valor de L*. La cinética del color durante el tostado del café se puede asociar a la cinética de la pérdida de masa (VARGAS-ELÍAS, 2011) y al aumento de temperatura de los granos de café (SCHWARTZBERG, 2011).

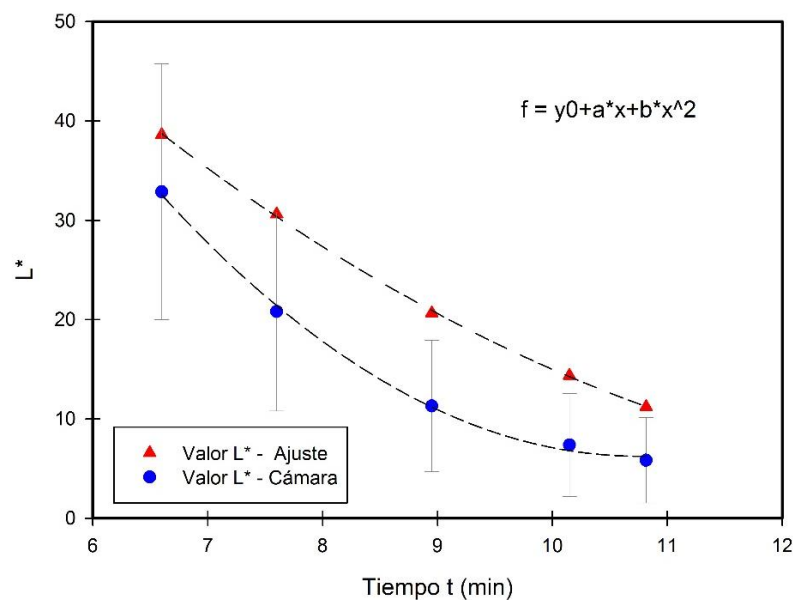


Figura 3. Cinética del color para el valor L* de la cámara y el ajuste aplicado.

Los valores de luminosidad de los cafés tostados están de acuerdo con otras investigaciones donde se indica que el tueste comercial puede variar en los valores de L^* desde 35 hasta 20. El experimento se desarrolló con café molido por presentar mayor uniformidad en el color y considerando que en otros estudios se observó que hay variaciones en el color para grano entero y molido con desviaciones estándar de hasta 0,9 % en las especies *arabica* y *canephora* (OLIVEIRA et al., 2014).

La granulometría puede causar variación o interferencia en el análisis de imágenes, lo cual se evita con la clasificación por tamaño de partículas. Se determinó que entre más oscuro es el color en el café, menor es la desviación estándar de dichas escalas para todas las temperaturas, mostrando mayor uniformidad en el análisis.

CONCLUSIONES.

Se observó que el parámetro L^* es el que obtuvo mayor variación y es un excelente indicador para representar el oscurecimiento del café durante el tostado.

El análisis de imágenes digitales permite determinar el color de los niveles de tueste del café el sistema CIELab, siendo una metodología versátil, rápida y económica, pues hace uso de un software libre y una cámara de alta resolución.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa familiar FAMU por facilitar el café de excelente calidad.

REFERENCIAS

- CHO, A.R.; PARK, K.W.; KIM, K.M.; KIM, S.Y.; HAN, J. (2013) Influence of roasting conditions on the antioxidant characteristics of Colombian Coffee (*Coffee arabica*) beans. Journal of Food Biochemistry, ISSN 1745-4514. Doi:10.1111/jfbc.12045.
- CIE. (2016). Colorimetry, 3RD edition. Disponible en Commission Internationale de l'Eclairage: <http://www.cie.co.at>, Acceso en: 22 de marzo de 2016.
- HERNANDEZ, J.A.; HEYD, B.; TRYSTRAM, G. 2008. Prediction of brightness and surface area kinetics during coffee roasting. Journal of Food Engineering, v.89, p.156-163.
- OLIVEIRA, G.E.O.; CORREA, P.C.; SANTOS, F.L.; VASCONCELOS, W.L.; CALIL, C.J.; BAPTESTINI, F.M.; VARGAS-ELÍAS, G.A. 2014. Caracterização física de café após torrefação e moagem. Semina: Ciências Agrárias, v.35, p.1813-1828. Londrina, Brasil.
- PRASAD, K. (2015). Advances in Nondestructive Quality Measurement of Fruits and Vegetables. In Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops (pp. 51–87). Apple Academic Press. <http://doi.org/doi:10.1201/b18438-3>
- SCHWARTZBERG, H. Batch coffee roasting; roasting energy use; reducing that use. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOOD, 2011, Athens, Greece. Proceedings. 2011. Disponible en: <<http://www.expresssearch.com/samples/novelty/npl/Schwartzberg%202013.pdf>>. Acceso en: 22 marzo 2016.
- VARGAS-ELÍAS, G. Avaliação das propriedades físicas e de qualidade do café em diferentes condições de torrefação. 2011. 114 p. Tesis de Maestría. Ingeniería Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais; Brasil.
- VIRGEN-NAVARRO et al. (2016). Neuro-fuzzy model based on digital images for the monitoring of coffee bean color during roasting in a spouted bed. Revista: Expert System with Applications 54, (págs. 162-169).
- WANG, X.; LIM, L.T. A kinetics and modeling study of coffee roasting under isothermal conditions. Food Bioprocess Technology, DOI 10.1007/s11947-013-1159-8, 2013 Disponible en: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1159-8>>. Acceso en: 20 marzo 2016.
- WESTLAND, S.; RIPAMONTI, C. (2004). Computational Colour Science using MATLAB. England: John Wiley & Sons Ltd.