



## Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial

### Efficient and low-cost system for the selection of coffee beans: an application of artificial vision

Cesar Wilfredo Rosas-Echevarría<sup>1</sup>; Hubel Solís-Bonifacio<sup>1,2</sup>; Alberto Franco Cerna-Cueva<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Control de Procesos, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, 1009, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria de la Selva, 10131, Perú.

Received February 19, 2019. Accepted August 31, 2019.

#### Resumen

La calidad del café es un factor clave para el acceso a mejores mercados, por lo que un proceso de selección de granos eficiente resulta fundamental, sin embargo, actualmente estos equipos son de elevado costo e inaccesibles para los pequeños y medianos productores, por esta razón esta investigación tiene como objetivo establecer una propuesta de bajo costo para la selección de granos de café con respecto al color y tamaño mediante visión artificial (V.A.). Para esto se tomó una muestra al azar de 50 kg de café y se realizó la selección en forma tradicional mediante clasificación visual para el color (verde, rojo y marrón) y el tamaño (menor, igual y mayor a 1 cm<sup>2</sup>), posteriormente a esta misma muestra se aplicó la selección mediante V.A. en una cámara que recibía granos a razón de 3 por segundo. Los resultados obtenidos con la selección manual y aplicando V.A. no presentaron diferencia significativa estadística en cuanto a resultados a un nivel de  $\alpha = 0,05$ , sin embargo, en cuanto a tiempo y costos, la selección por V.A. le tomó solo una hora y la selección manual, dos. La selección de granos de café por V.A. es superior que la selección manual.

**Palabras clave:** granos de café; visión computacional; selección de granos; bajo costo.

#### Abstract

Quality is an important factor when positioning a product in the market, so it is necessary to have an efficient selection process. Currently there are expensive equipment that carry out the selection process that is not accessible to small businesses, it is therefore mentioned that a low-cost procedure is proposed through which the coffee bean selection process can be performed, using a library Real-time image processing for quality selection based on color and size (pixels on screen). A sample of 50kg of coffee was used for manual quality selection based on the proportion of colors (green, red, brown colors), size per grain that is classified into three categories (< 1 cm<sup>2</sup>, = 1 cm<sup>2</sup>, > 1 cm<sup>2</sup>). Then the same process was carried out on the same sample by using the image processing system based on color and size (pixels per screen by rows and columns for the calculation of the area of each grain) by a belt where 3 grains passed per second. The results referring to the color-based quality did not show a significant difference  $\alpha = 0.05$ , but with respect to the time used, the selection process through image processing lasted one hour compared to the 2 hours of the manual process, therefore the selection of the Coffee beans using the image processing system is superior to the manual selection process.

**Keywords:** coffee beans; computational vision; grain selection; low cost.

#### 1. Introducción

El café es la bebida más popular del mundo después del agua, también es el segundo producto más comercializado en el mercado mundial después del petróleo (Barbin *et al.*, 2014; Hailu, 2015). El color es un atributo importante que se usa

ampliamente para evaluar calidad de alimentos, este es un factor crucial en la aceptación del mercado y en el caso de selección de granos de café, el color tiene importancia económica significativa (Wu y Sun, 2013; Borem *et al.*, 2013). Por otra parte, el tamaño representa también un

#### How to cite this article:

Rosas-Echevarría, C.W.; Solís-Bonifacio, H.; Cerna-Cueva, A.F. 2019. Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial. *Scientia Agropecuaria* 10(3): 347 – 351.

\* Corresponding author

E-mail: [FrancoC\\_92\\_08@hotmail.com](mailto:FrancoC_92_08@hotmail.com) (A.F. Cerna-Cueva).

© 2019 All rights reserved

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2019.03.04

parámetro de calidad, ya que tamaños anómalos a los del grano de café en promedio, están asociados a sustancia extrañas (piedras pequeñas, granos de tierra, astillas, etc.) y a menor calidad.

En general, la selección de granos de café se realiza de forma manual por inspectores humanos, las decisiones tomadas por este personal en la selección, tienen alto grado de subjetividad y error, ya que la selección puede ser afectada por factores como el cansancio, limitaciones sensoriales, experiencia, entre otras, además de tener baja velocidad de procesamiento (Hailu, 2015). La selección automatizada a nivel industrial es mediante los conocidos “ojos electrónicos”, sin embargo, estos métodos son de elevado costo y son difícilmente accesibles a pequeños y medianos empresarios productores de café. Como alternativa a los ojos electrónicos se pueden utilizar técnicas de procesamiento de imágenes mediante visión artificial. Estos sistemas han sido ampliamente adoptados para cuantificar rápidamente el color de productos alimenticios usando diversos equipos de bajo costo (Kumar *et al.*, 2006; Valous *et al.*, 2009; Mendoza *et al.*, 2006). Han sido estudiados en el análisis de carne roja (Larrain *et al.*, 2008), carne de cerdo (Sun *et al.*, 2011), pescado (Yagiz *et al.*, 2009), jugo de naranja (Fernández-Vásquez *et al.*, 2011), vino (Martin *et al.*, 2007), papas al hilo (Pedreschi *et al.*, 2011), trigo (Zapotoczny y Majewska, 2010), yacón (Saldaña *et al.*, 2013; Saldaña *et al.*, 2014), semillas de pimiento (Ke-ling *et al.*, 2018) y granos de café (Morais *et al.*, 2016; Herrera *et al.*, 2016; Oblitas y Castro, 2014; Sanz-Urbe *et al.*, 2008; Niño y Ortiz, 2007). Estudios respecto al tamaño son los de Hailu (2015) y Zhang *et al.* (2018), y a la forma el de Izmaylov *et al.* (2018).

Así, el objetivo de este estudio fue diseñar un sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café con respecto al color y tamaño mediante visión artificial.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Clasificación manual de granos de café

La clasificación estuvo a cargo de un personal contratado con experiencia en selección manual, se clasificaron 50 kg de granos de café, encontrándose 12,22 kg de grano marrón, 4,91 kg de grano verde y 32,87 kg de grano rojo. Con respecto al tamaño se consideró al grano de café como una elipse (Hailu, 2015), por lo tanto, el área se calculó midiendo el diámetro mayor (a) y menor (b) de cada grano de café:  $\text{Área} = \pi ab$  (Área de una elipse), obteniendo 17,1 kg de granos con áreas menores a 1

cm<sup>2</sup>, 0,65 kg de granos con áreas iguales a 1 cm<sup>2</sup> y 32,26 kg de granos con áreas mayores a 1 cm<sup>2</sup>.

### 2.2 Adquisición de imágenes

Las imágenes fueron tomadas en un ambiente con luz controlada, con iluminación de tipo difusa de fluorescente. Además, se utilizó un fondo blanco para facilitar el proceso de segmentación. Las fotografías fueron tomadas a una distancia de 13 cm de la base aproximadamente, con una cámara digital de 640x480 y 1080x720. Los algoritmos utilizados fueron implementados con la librería OpenCV, que es una librería de visión por computador de código abierto, esta librería está escrita en los lenguajes C y C++ y es compatible con Linux, Windows y Mac OS X, cuenta con un desarrollo activo en interfaces para Python, Ruby, Matlab y otros lenguajes. En el presente estudio se utilizó un total de 50 kg de café, sin embargo, solo se usaron 30 capturas de imágenes por cada color (verde, rojo y marrón) y 30 por tamaño (menor, igual y mayor a 1 cm<sup>2</sup>), teniendo un total de 180 imágenes (90 para el color y 90 para el tamaño), estas imágenes se utilizaron en el entrenamiento. Para la evaluación del rendimiento de la red se trabajaron los 50 kg de café conociendo las cantidades respectivas para cada color (12,22 kg de grano marrón, 4,91 de grano verde y 32,87 de grano rojo) y tamaño (17,1 kg de granos con áreas menores a 1 cm<sup>2</sup>, 0,65kg de granos con áreas iguales a 1 cm<sup>2</sup> y 32,26 kg de granos con áreas mayores a 1 cm<sup>2</sup>).

### 2.3 Segmentación y transformación del modelo de color RGB al modelo HSV

Este proceso consiste en la separación de cada uno de los objetos presentes en la escena de la imagen, para este estudio lo que se busca es separar el grano de café del fondo blanco, de esta forma, en la etapa de extracción de características se obtendrán las propiedades relacionadas únicamente con el grano de café y no de objetos extraños. Como técnica de segmentación binaria se utilizó el método de Otsu (Hailu, 2015). Las características de color son más comúnmente tratadas en modelos de color RGB (Feng *et al.*, 2019). Sin embargo, existen otros modelos que describen los colores de diferentes maneras, este es el caso del modelo HSV (Hue, Saturation, Value o Tono, Saturación y Valor), que tiene como ventaja que describe los colores como lo haría un humano (Herrera *et al.*, 2016). La transformación del modelo RGB al modelo HSV se muestra en las siguientes ecuaciones:

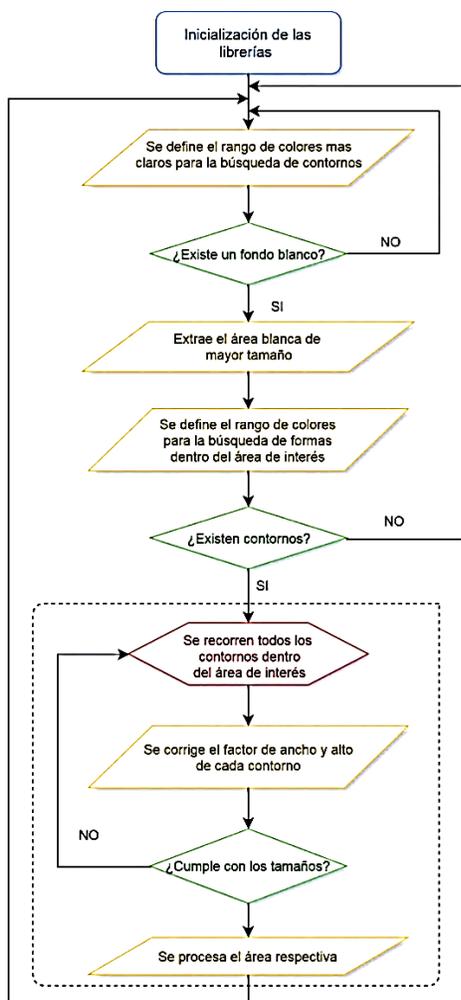
$$H = \begin{cases} \arccos \left[ \frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right], & \text{Si } B \leq G \\ 2\pi - \arccos \left[ \frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right], & \text{Si } B > G \end{cases}$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$$

$$V = \frac{\max(R, G, B)}{255}$$

### 2.4 Extracción de características de los píxeles

Se utilizaron los datos de las imágenes y se analizaron los colores en el espacio HSV, estos datos sirvieron para entrenar en la selección de granos de café por color, también se analizó la relación entre el ancho y largo de píxel con respecto a la medida real de la imagen para poder calcular el área, los detalles se muestran en la **Tabla 1**. Para entrenar a la red se tomaron la media y desviación estándar de cada elemento del modelo HSV con respecto a cada color de grano (verde, rojo y marrón) (**Herrera et al., 2016**).



**Figura 1.** Esquema del sistema diseñado para el proceso de adquisición de imágenes.

**Tabla 1**  
Determinación del área por píxel

	Píxel	Longitud (mm)	Factor	Área (mm <sup>2</sup> ) píxel
Ancho	26	12	0,4615	0,1648
Alto	28	10	0,3571	

### 2.5 Diseño experimental y análisis estadísticos

El presente estudio tiene como finalidad demostrar que la selección de granos de café mediante visión artificial puede usarse como alternativa a la selección manual. Para analizar la diferencia entre la selección manual y por visión artificial se utilizó una prueba de hipótesis de dos colas para una media poblacional de 10 repeticiones con respecto a cada parámetro de calidad (color y tamaño) utilizando como datos paramétricos los obtenidos en la selección manual.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Parámetros HSV de color

Se determinaron los parámetros del modelo de color HSV con 90 imágenes de entrenamiento (30 por color) (**Tabla 2**). Con respecto al color verde el rango de la tonalidad es desde 54,10 hasta 88,30, la saturación va de 12 a 24% y el valor de 55 a 85%, estos rangos concuerdan con los valores obtenidos por **Morais et al. (2016)** y por **Pajares et al. (2016)**. También el rango de tonalidades del color rojo, coinciden con los de **Herrera et al. (2016)**. Por otro lado, el color marrón coincidió con los estudios de **Oblitas y Castro (2014)**. Cabe mencionar que las desviaciones estándares de los estudios citados, son menores, esto puede deberse al tipo de cámara utilizado, la iluminación de cada estudio, ya que estas dos variables determinan la calidad de dato que se puede extraer de la imagen digital.

**Tabla 2**  
Parámetros HSV encontrados en las imágenes de entrenamiento

		Verde	Rojo	Marrón
H	Mínimo	54,10	351,20	20,60
	Máximo	88,30	18,70	32,70
	X	71,88	1,93	25,89
	D.E.	11,14	9,61	3,11
S (%)	Mínimo	12,00	54,00	22,00
	Máximo	24,00	100,00	74,00
	X	19,20	85,35	48,50
	D.E.	3,65	12,78	8,28
V (%)	Mínimo	55,00	33,00	43,00
	Máximo	85,00	100,00	65,00
	X	71,40	79,40	55,50
	D.E.	8,72	16,40	8,28

D.E. Desviación estándar.

### 3.2 Comparación de la selección manual y por visión artificial

Las medidas de resumen y el análisis comparativo de la selección de granos de

café de manera manual y por visión artificial se muestran en la [Tabla 3](#), los resultados demuestran que no hay diferencia significativa entre la selección manual y por visión artificial, por otra parte, el proceso de selección de manera manual tomó un aproximado de 2 horas, mientras que, en el proceso de selección por visión artificial, solo se requirió un poco más de una hora, por otra parte, el proceso de visión artificial es flexible en la adopción de parámetros específicos de calidad, lo que hace que el producto se inserte en un mercado más competitivo y rentable ([Castro \*et al.\*, 2004](#)). Con respecto al color el que mejor selección tuvo con respecto a la desviación estándar y al p – valor, fue el café verde (D.E. = 0,29 y p (Bilateral) = 0,950), esto se puede deber a que las tonalidades de los colores rojo y marrón se pueden superponer por ser fronterizos en tonalidades, ello pudo aumentar el error disminuyendo el p – valor para los colores rojo y marrón. Si bien es cierto el proceso es tuvo una fuente de luz, no se controló la intensidad de esta, lo que también puede causar sesgos pequeños en la medición del color ([Morais \*et al.\*, 2016](#)). Por otro lado, con respecto al tamaño, tampoco se halló diferencia significativa entre la selección manual y por visión artificial. La medición que tuvo más C.V. (%) y estuvo más cerca de ser diferente (p – valor = 0,194), es para 1 cm<sup>2</sup>, esto se puede deber a que los píxeles que cubren una determinada imagen de grano de café pueden ser alteradas por el posicionamiento, factor de forma, entre otros ([Hailu, 2015](#)). Otro factor importante en el cálculo del tamaño es la resolución de la cámara digital, ya que esto significa mayor número de píxeles y diferente factor de conversión.

**Tabla 3**

Prueba comparativa de selección de granos de café manualmente (parámetro) y por visión artificial (media)

		Media (kg) <sup>1</sup>	Parámetro (kg) <sup>2</sup>	p (bilateral)
Color	Verde	4,97	4,91	0,950
	Rojo	32,69	32,87	0,271
	Marrón	12,39	12,22	0,444
Tamaño	< 1 cm <sup>2</sup>	32,34	32,25	0,325
	= 1 cm <sup>2</sup>	0,60	0,65	0,194
	> 1 cm <sup>2</sup>	17,06	17,10	0,643

<sup>1</sup> Promedio de la selección del color y tamaño de granos de café aplicando visión artificial

<sup>2</sup> Son los valores obtenidos con la selección manual, tanto para para el tamaño y color de los granos de café.

#### 4. Conclusiones

Los resultados muestran que para la selección de granos de café con respecto al color y tamaño (área) no existe diferencia significativa en cuanto a resultados de

selección, tanto si se trabaja manualmente o con visión artificial. Con respecto al tiempo de trabajo, si existe diferencia, ya que la selección manual llevo un periodo de 2 horas por un personal con experiencia, sin embargo, trabajando con visión artificial solo se requirió poco más de una hora. Con respecto a los costos, también resultan muy bajos en comparación con los ojos electrónicos, ya que los equipos son de bajo costo y el software es de código libre (OpenCV). El presente sistema es flexible para control de calidad con parámetros estandarizados, ya que el sistema recibe los valores estándar que deseamos para la posterior selección.

#### Referencias bibliográficas

- Barbin, D.; Felicio, A.; Sun, D.-W.; Nixdorf, S.; Hirooka, E. 2014. Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview. *Food Research International* 61: 23-32.
- Borem, F.M.; Ribeiro, F.C.; Figueiredo, F. P.; Giomo, G.S.; Fortunato, V.A.; Isquierdo, E.P. 2013. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research* 52: 1-6.
- Castro, P.; Contreras, Y.; Laca, D.; Nakamatsu, K. 2004. Café de especialidad: alternativa para el sector cafetalero peruano. *ESAN - Cuadernos de difusión* 17: 61-84.
- Feng, L.; Liu, Y.; Li, Z.; Zhang, M.; Wang, F.; Liu, S. 2019. Discriminative bit selection hashing in RGB-D based object recognition for robot vision. *Assembly Automation* 39: 17-25.
- Fernández-Vásquez, R.; Stinco, C.M.; Meléndez-Martínez, A.J.; Heredia, F.J.; Vicario, I.M. 2011. Visual and instrumental evaluation of orange juice color: a consumers' preference study. *Journal Sens. Stud.* 26(6): 436-444.
- Hailu, A. 2015. Identification and Classification of Foreign Materials (Non-Coffee Beans origin) present in Sample Coffee Beans by using Imaging Techniques. Tesis de maestría, Universidad de Haramaya, Oromia. Etiopia. 93 pp.
- Herrera, J.C.; Medina, S.M.; Martínez, G.E.; Beleño, K.; Berrio, J.S. 2016. Clasificación de los frutos de café según su estado de maduración y detección de la broca mediante técnicas de procesamiento de imágenes. *Prospect* 14: 15-22.
- Izmaylov, D.V.; Tolstoba, N.D.; Bodrov, K.Y. 2018. Computer vision system selection for control of rapid prototyping processes. *Optical Instrument Science, Technology and Applications: 106950Q*.
- Ke-ling, T.; Lin-juan, L.; Li-ming, Y.; Jian-hua, W.; Qun, S. 2018. Selection for high quality pepper seeds by machine vision and classifiers. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 1999-2006.
- Kumar, A.; Ganjyal, G.M.; Jones, D.D.; Hanna, M.A. 2006. Digital image processing for

- measurement of residence time distribution in a laboratory extruder. *Journal Food Engineering* 75(2): 237-244.
- Larrain, R.E.; Schaefer, D.M.; Reed, J.D. 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International* 41(4): 380-385.
- Martin, M.L.; Ji, W.; Luo, R.; Hutchings, J.; Heredia, F.J. 2007. Measuring colour appearance of red wines. *Food Quality* 18(6): 862 - 871.
- Mendoza, F.; Dejmek, P.; Aguilera, J. M. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biological Technology* 41(3): 285-295.
- Morais, E.; Samid, D.; Groenner, B.H.; Pereira, M.; Alvarenga, R. 2016. A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *Journal of Food Engineering* 171: 22-27.
- Niño, Z.L.; Ortiz, F.A. 2007. Caracterización de café cereza empleando técnicas de visión artificial. *Facultad Nacional de agronomía* 60(2): 4105-4127.
- Oblitas, J.; Castro, W. 2014. Computer Vision System for the Optimization of the Color Generated by the Coffee Roasting Process According to Time, Temperature and Mesh Size. *Ingeniería y Universidad* 18(2): 355-368.
- Pajares, G.; García-Santillán, I.; Campos, Y.; Montalvo, M.; Guerrero, J. M.; Emmi, L.; Gonzales-Santos, P. 2016. Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide. *Journal of Imaging* 2: 34.
- Pedreschi, F.; Mery, D.; Bunguer, A.; Yanez, V. 2011. Computer vision classification of potato chips by color. *Journal Food Process Engineering* 34: 1714-1728.
- Saldaña, E.; Siche, R.; Huamán, R.; Luján, M.; Castro, W.; Quevedo, R. 2013. Computer vision system in real-time for color determination on flat surface food. *Scientia Agropecuaria* 4(1): 55-63.
- Saldaña, E.; Siche, R.; Castro, W.; Huamán, R.; Quevedo, R. 2014. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. *LWT - Food Science and Technology* 59(2, Part 2): 1220-1226.
- Sanz-Urbe, J.R.; Ramos - Giraldo, P. J.; Oliveros - Tascon, C.E. 2008. Algorithm to identify maturation stages of coffee fruits. *Advances in Electrical and Electronics Engineering - IAENG Special Edition of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, 22-24 oct, 2008.*
- Sun, X.; Chen, K.; Berg, E.P.; Magolski, J.D. 2011. Predicting fresh beef color grade using machine vision imaging and support vector machine (SVM) analysis. *Journal Animal Veterinary* 10: 1504-1511.
- 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(1): 132-141.
- Wu, D.; Sun, D.W. 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control - a review. *Food Sci. Technol* 29: 5-20.
- Yagiz, I.; Balaban, M.O.; Kristinsson, H.G.; Welt, B.A.; Marshall, M.R. 2009. Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal Science Food Agricultural* 89(4): 728-730.
- Zapotoczny, P.; Majewska, K. 2010. A comparative analysis of colour measurements of the seed coat and endosperm of wheat kernels performed by various techniques. *International Journal Food Properties* 13(1): 75-89.
- Zhang, F.; Li, W.; Zhang, Y.; Feng, Z. 2018. Data Driven Feature Selection for Machine Learning Algorithms in Computer Vision. *IEEE Internet of Things Journal* 5(6): 4262-4272.