

Evaluación de la calidad el café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes

Evaluation of roast coffee quality using digital image processing tools

Omar Jesús Benítez Urbano¹, Diego Andrés Campo Ceballos²

¹ Corporación universitaria Comfacaucua. Popayán, (Colombia)

² Corporación Universitaria Comfacaucua - Popayán (Colombia), Doctorado en Ciencias de la Electrónica, Universidad del Cauca - Popayán (Colombia)

Recibido: 5 de Junio de 2018

Aceptado: 13 de Noviembre de 2018

*Correspondencia del autor: Diego Andrés Campo Ceballos, E-mail: dcampo@unicomfacaucua.edu.co



Resumen

Introducción: En este trabajo se reporta la relación entre el color y los matices del café tostado, con sus propiedades organolépticas como herramienta para determinar la calidad del mismo.

Objetivo: Realizar una comparación entre los matices y colores del café tostado y sus propiedades organolépticas para ofrecer una herramienta de identificación y determinación de la calidad del café.

Metodología: Se utilizaron 5.0 kg de café pergamino de variedad bourbon (pointu) de la unidad productiva SUPRACafé localizada en la hacienda los naranjos, vereda la venta de Cajibío - Cauca. Las muestras fueron recolectadas bajo los estándares de café origen y proceso de cosecha y pos-cosecha café gourmet. Se tostaron 8 muestras a diferentes perfiles de tostación para obtener diferentes coloraciones en la almendra del café en la escala AGTRON. La evaluación del color se realizó mediante el procesamiento digital de imágenes en el entorno MATLAB en los espacios de color RGB Y CIELAB, tanto en grano como molido.

Resultados: Se propone la relación cuantitativa del color del café tostado con sus propiedades organolépticas a partir del proceso de catación por un experto Q-Grader basado en el protocolo SCAA (Fragancia, aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor).

Conclusiones: Se determinó un medio para mostrar la influencia del color del café tostado en la calidad en taza de las muestras estudiadas. Para tueste medio y medio alto se proponen directamente propiedades organolépticas destacadas como caramelo, chocolate, licor, mantequilla, malta, dulce agradable, cuerpo medio y afrutado, muy apreciadas en el mercado mundial.

Palabras claves: Café tostado; análisis de calidad; procesamiento de imágenes; color; matiz; catación; SCAA.

Abstract

Introduction: This work reports the relationship between color values of roasting coffee and coffee sensory features for quality assessment.

Objective: Compare color and nuances values from roasting coffee samples with selected sensory properties for propose a quality assessment tool.

Method: 5 kg of coffee Arabica bourbon from SUPRACafé Colombia was used. 8 roasted coffee samples in gourmet agron scale were obtained. Color and nuances values were obtained by using digital image processing analysis in RGB and CIELAB space color. Grain and grind coffee samples were considered.

Results: This study shows a quantitative relationship between the degree of roasting bourbon coffee and the sensory properties of coffee in quality cup assessments (fragrance, aromas, flavor, taste, acidity, body, aftertaste, balance, consistency, sweetness).

Conclusions: A quality assessment method was improved for prediction of specialty coffee cup. Medium and Medium-dark have candy, chocolate, liquor, butter, malt, nice sweetness, medium body and fruity, very appreciated for traded in the world

Keywords: Coffee, roasting coffee, quality assessment; image processing; color, nuances, cupping; SCAA.

Introducción

La caficultura Caucana requiere de generación de valor agregado al café, donde se busca analizar todas las operaciones que intervienen en el proceso de producción del café, caracterizándolas y desarrollando las tecnologías necesarias de supervisión para controlar la calidad del café en términos de su expresión de sabor. Para ello, se han identificado como operaciones críticas y prioritarias: la selección de cerezas, la fermentación del grano, separación de mucílagos el secado del café y la medición de la calidad del café en su proceso de tostación. Estas operaciones requieren de tecnologías que aún no están disponibles en el mercado o están totalmente desfasadas con el contexto económico del caficultor, proyectándose un amplio campo de generación de conocimiento y su aplicación pertinente para alcanzar un grado de desarrollo local en estas operaciones que permitan la obtención de patentes y explotación a nivel comercial (1).

La visión proporciona el 75 % de la información que recibe el ser humano (2); por eso incluir sistemas de visión artificial genera una mejora significativa en el proceso de medición del color en la industria alimenticia (2). La colorimetría en alimentos se basa principalmente en tres elementos. El primero es la caracterización de la calidad de un producto a partir del color, ya que se espera que todas las unidades de un mismo lote de café tengan el mismo color. Si una es diferente, pro-

bablemente será objeto de estudio para determinar que ocurrió en el proceso de tostado. El segundo elemento es el uso del color como índice de valor económico. Los niveles de tostado del café propician una agregación de valor determinado por las propiedades organolépticas que desarrolla el grano de café bajo un perfil de tueste controlado. Puesto que es más fácil medir el color que el sabor, se utiliza el color como medida del valor del lote (3). El tercer elemento es mejorar un producto dado. Aquí se puede manipular el color directamente en el proceso de tostado del café.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de visión artificial para evaluar el color y matiz del café tostado, utilizando una metodología secuencial lineal, para distinguir distintos niveles de tostado de café y determinar la correlación con sus propiedades organolépticas según las características de calidad previamente definidas por un panel de catación. Se propone una herramienta estadística para determinar la relación entre los parámetros de color, RGB y CIELab, extraídos por un algoritmo de procesamiento digital de imágenes, y las propiedades organolépticas de muestras de café especial tostado, favoreciendo el desarrollo de otra herramienta para la evaluación de calidad el café en esta etapa del proceso.

Materiales y métodos

En esta investigación se utilizó la malla 16/64 y 17/64

de pulgada y un total de 5.0 kg de café Bourbon previamente recolectados y con buenas prácticas agrícolas implementadas en la empresa SUPRACafé Colombia como muestra en tabla 1 y Fig. 1a, respectivamente, así mismo se especifica el diagrama de flujo para el procesamiento de imágenes adoptado en este estudio. Fig. 1b.

TABLA 1. Detalle café variedad Bourbon

Cantidad	5000 g
Densidad de siembra	4000
Fecha de siembra	Diciembre de 2008
Sistema de producción	Semi-sombra
Fertilización	3 veces al año
Distancia de siembra	1.66 m*1.5 m
Fecha de recolección	24 abril de 2017
Proceso de beneficio	Lavado
Horas de fermentación	24 horas
Días de secado	9 días
Elementos usados durante el proceso	Medidor humedad, despulpadora, clasificadora electrónica, clasificadora mecánica, lavador, monitor de pergamino, elevadores, bolsas y sacos



Fig. 1 (a) Protocolo de buenas prácticas agrícolas para la recolección y selección de las muestras. Fuente: autores.

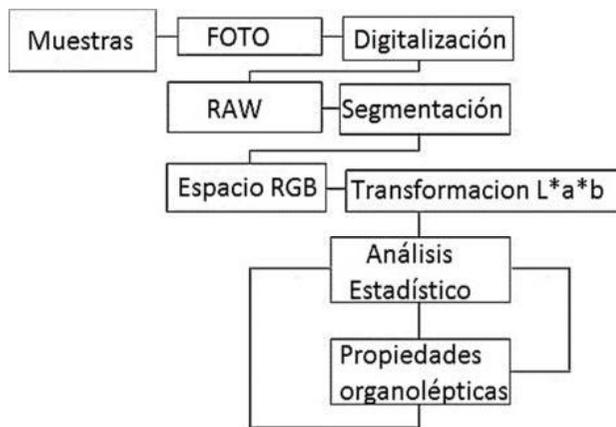


Fig. 1 (b) Procesamiento digital de imágenes. Fuente: autores.

Tostación de las muestras.

El funcionamiento de una máquina tostadora de muestras se aproxima al funcionamiento de la máquina industrial, pero no reproduce las mismas condiciones, por eso se prestó especial atención en reproducir con gran aproximación el mismo punto de tostación. Este procedimiento se complementó usando medición de color mediante colorímetros y registrando las medidas en formatos para cada muestra y su posterior seguimiento y análisis estadístico de las variaciones del punto de tostación del operador de la máquina.

De este modo, siguiendo con el protocolo de la SCAA (Sociedad americana de cafés especiales) se tuvieron en cuenta las siguientes variables para el proceso de tostación: variedad y productor del café, temperatura inicial, temperatura final, malla, peso inicial, peso final, merma, densidad, primer crack, segundo crack, humedad, tiempo y temperatura de tostación (curva de tostación).

Para el desarrollo de la evaluación sensorial, fueron sometidas 20 lotes de café (250g c/u) al proceso de tostación, usando una máquina tostadora PROBAT para muestras de café, teniendo como consideración la existencia de luz neutra (luz blanca), así como evitar la presencia de olores, humos, quemados etc., y trabajar a temperatura ambiente de aproximadamente 22 grados centígrados.

Las muestras tostadas correspondieron a perfiles en la escala AGTRON, la cual fue propuesta por la SCAA para cafés especiales y clasifica el café tostado en 8 perfiles según el color, asignando un número que va desde 95 a 25 en pasos de 10, siendo 95 el más claro (más

crudo) y 25 el más oscuro (más tostado). Los granos de café muy crudos no resaltan sabores ni aromas muy agradables al paladar del consumidor y así mismo los granos de café con perfiles de tostación muy altos son demasiado amargas y desagradables (4). En este punto, se usaron estos criterios para excluir dos perfiles de tostación, el más crudo, perfil 1 y el muy tostado, perfil 8; así, se tuvieron en cuenta 6 (seis) perfiles de tostación y como resultado seis tonos diferentes para el estudio, con tres muestras por tono. La Tabla 2 resume las ca-

racterísticas de tostación empleada para los 6 perfiles considerados en el estudio. Todas las operaciones de tostación fueron realizadas con máximo cuidado para asegurar la conservación de las características únicas de café origen. Esto es, los granos fueron tostados muy lentamente para preservar su delicadeza y acidez natural. El café fue sometido a malla 16/64, 17/64 pulgadas lo que garantizó la homogeneidad de los granos para el estudio.

TABLA 2. Condiciones de tostación para las muestras de café

Variable	PERFIL					
	1	2	3	4	5	6
Temp. inicial (°C)	180	180	180	180	180	180
Peso inicial (g)	191	191	191	191	191	191
Peso final (g)	145	135	132	140	130	120
Merma (g)	46	56	59	51	61	71
Primer crack (°C)	NA	180	185	180	180	180
Segundo crack (°C)	NA	NA	190	190	190	190
Humedad Inicial (%)	12	12	12	12	12	12

Fuente: Autores



Fig. 2 Muestras de café tostado en almendra, variedad Bourbon. Fuente: Autores

Resultados

Proceso de análisis sensorial de café tostado y molido tradicional.

El proceso de análisis sensorial de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de la Federación Nacional de Cafeteros ubicado en la sede del municipio de Popayán, Departamento del Cauca, se hizo un panel de dos catadores, todo este proceso se acogió al protocolo de la SCAA.



Fig. 3 Proceso de análisis sensorial de café. Fuente: Autores

TABLA 3. Atributos y defectos del café tostado estudiado

<p>Perfil 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste claro • Frutos secos • Almendra • Cereales • Maíz tostado • Pan tostado • Cuerpo bajo 	<p>Perfil 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste claro • Cítrico • Floral • Caramelo • Panela • Sabor ligero • Maíz tostado
<p>Perfil 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste medio • Caramelo • Chocolate • Licor • Mantequilla • Malta • Dulce agradable • Cuerpo medio • Afrutado 	<p>Perfil 4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste medio alto • Dulce residual moderado • Cítrico • Panela • Te con limón • Afrutado • Cuerpo medio • Alquitrán
<p>Perfil 5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste alto • Nata • Panela • Humo moderado • Amargo pronunciado • Leve sabor a quemado 	<p>Perfil 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tueste alto • Amargo moderado • Humo • Grasa residual • Nota medicinal • Cuero

Fuente: Autores

En la Tabla 3 se consignan los resultados de las pruebas de catación realizadas por los expertos, donde se puede observar que una misma muestra de café pergamino de la misma variedad, pero tostado a diferentes temperaturas y tiempos, dará resultados diferentes casi irreconocibles, por eso es muy difícil generalizar las variables que pueden ser dadas por un perfil de tostación diferente. En ese sentido, se proyectó la importancia del uso de herramientas tecnológicas de visión artificial y algoritmos de análisis de datos, que respalden la evaluación sensorial del café de acuerdo a su nivel de tostación y mucho más a la cuantificación del color y matiz del café tostado y su influencia con las propiedades organolépticas. Para ello, este estudio se ha enfocado en los dos perfiles con mayores atributos sensoriales descritos por los expertos Q-grader, es decir el perfil 3 y el perfil 4. En la Tabla 4 se presenta el análisis de los atributos de los perfiles 3 y 4 bajo el protocolo SCAA en la escala de (0-100)

TABLA 4. Evaluación sensorial para el café tostado estudiado.

ATRIBUTOS	PERFIL 3	PERFIL 4
Fragancia	7,75	8
Aroma	7,75	8
Acidez	7,5	8
Cuerpo	7	7,5
Uniformidad	8	8
Balance	8	8
Taza limpia	10	10
Sabor residual	7,5	7,5
Dulzor	8	8
Impresión global	7	7,5
TOTAL	78,5	80,5

Fuente: Autores

Generalmente se describe el perfil sensorial de un café en un diagrama araña, en el cual se observa cual es el atributo que más resalta en la muestra de café evaluada y el que menos contribuye a su calificación global. La fig. 4 y Fig. 5 representan el comportamiento de las dos muestras situadas en el rango de tueste medio y su respectivo análisis sensorial bajo la norma ISO 17025. La calificación entre 7 y 8 punto para los atributos característicos del café origen Cauca, pueden vincularse con que estas variedades, acumulan azúcares y compuestos que se traducen en una bebida con notas dulces y de alta acidez, además de la interacción de los azúcares con el azufre proveniente de los suelos de origen volcánico que permite generar los aromas acaramelados que se destacan del café de esta región.

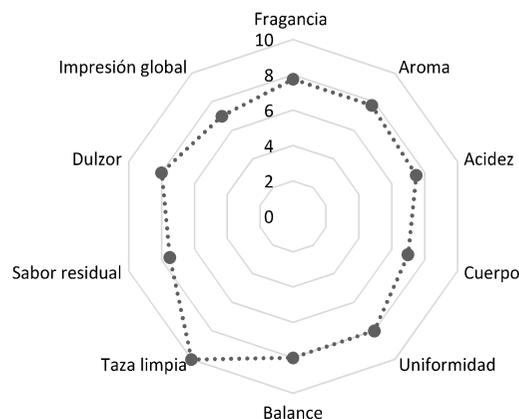


Fig. 4 Perfil de taza para tostación de la muestra 3. Fuente: Autores

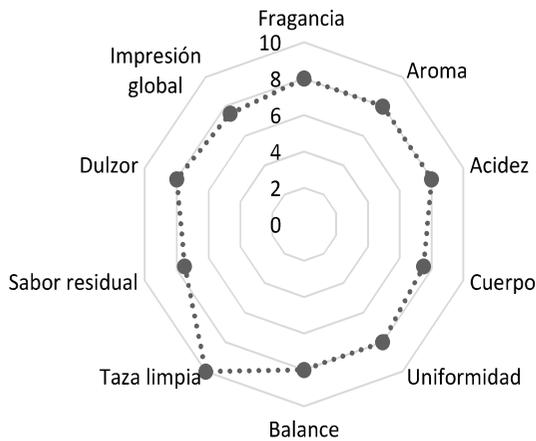
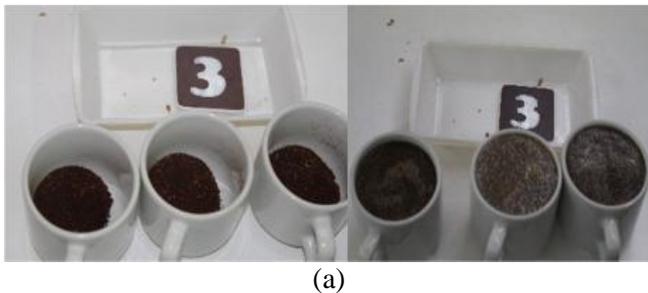


Fig. 5 Perfil de taza para tostación de la muestra 4. Fuente: Autores

Además, el atributo de taza limpia, que se destaca en las Fig. 6, por su puntaje de 10, es garantizado por la homogeneidad de las muestras y su calidad gourmet, lo que permite estandarizar el proceso de evaluación y centrarse en el atributo del color del café tostado molido.



(a)



(b)

Fig. 6 Infusiones preparadas (a) perfil 3 y (b) perfil 4 de Café Bourbon tostado y molido. Fuente: Autores

Curvas de tostación.

El grado de tostación del café es uno de los factores determinantes en el sabor de una taza. Las curvas de tostación evidencian la acción de la temperatura en el tiempo para tostar la almendra sana de café pergamino. Con estos datos se procedió a graficar para cada perfil

de tostación su curva respectiva. Se observa que para el perfil 4, se llevan las muestras hasta 195 °C, siguiendo el mismo patrón de tostado, controlado por el horno PROBAT, utilizado para este fin.

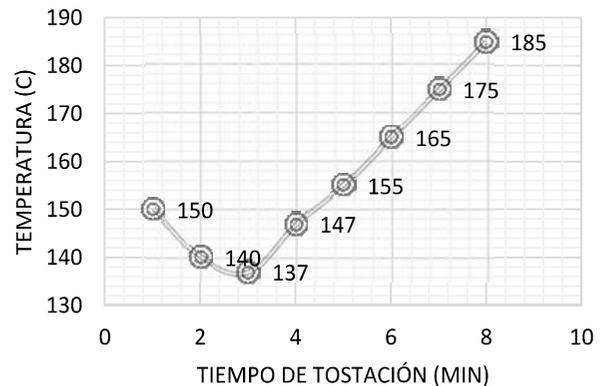


Fig. 7 Curva de tostación del perfil 3. Fuente: Autores

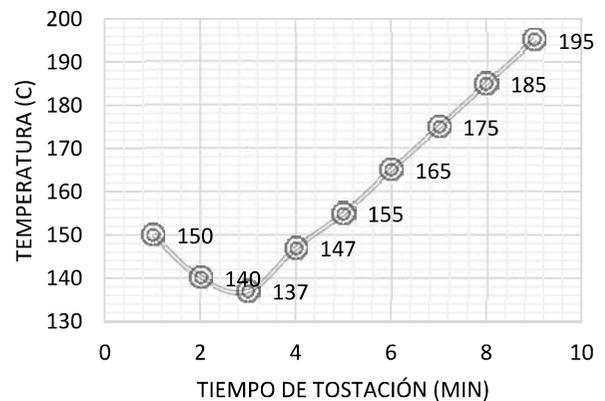


Fig. 8 Curva de tostación del perfil 4. Fuente: Autores

Inicialmente el grano absorbe calor y pierde la humedad y algunos gases. Luego ocurre el “primer crack” con un sonido como de crispeta (maíz tostado) o “palomitas de maíz”. A partir de ese momento el grano crece en tamaño y comienza a tomar un color oscuro por la caramelización de los azúcares conformando los más de 800 compuestos orgánicos volátiles presentes en la estructuras o cavernas. La transformación de los azúcares simples y aminoácidos, que le otorgan al café la mayoría de sus mejores propiedades aromáticas y su color característico, se conoce como la reacción de Maillard. Dependiendo del grado de tostación deseado, carta AGTRON/SCAA, puede haber un “segundo crack” y se presenta una reacción exotérmica, donde se liberan aceites a la superficie del grano y el café queda quemado.

Finalmente, para cada una de las muestras de café se hace una molienda media, según el protocolo SCAA, en un molino para muestras de la unidad productiva de SUPRACafé Colombia, dejando reposar durante unos minutos para que libere gases y se enfríe. Las muestras fueron empacadas en bolsas desgasificadoras especiales para café.

El café una vez está tostado, fue separado en 3 lotes pequeños de 20g cada uno, a fin de obtener fotografías en un espacio iluminación controlada y constante, usando un medio difuso para ello. Fue usada una cámara canon EOS 18 MP con formato RAW a una distancia de 42 cm de las muestras, lo que permitió calcular los ángulos de incidencia, el error y la respectiva calibración. Posteriormente, se procede a hacer el análisis de estas fotos con el algoritmo desarrollado en MATLAB y su librería de procesamiento de imágenes, para extraer características de color, matiz y uniformidad, estos resultados evidencian los resultados cuantitativos del color y matiz del café y su relación con las propiedades organolépticas destacadas.

Procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes, determinado en gran medida por un procedimiento riguroso de iluminación, filtrado, segmentación y transformación de los datos de color, permitió establecer dos frentes de trabajo, como por ejemplo la variación de los parámetros de color entre las imágenes de café tostado en grano y del café tostado molido, como se observa en la figura 9, y figura 10, para el perfil 3 y el perfil 4, respectivamente



Fig. 9 Color de café tostado en (a) grano y (b) molido perfil 3. Fuente: Autores.



Fig. 10 Color de café tostado en (a) grano y (b) molido perfil 4. Fuente: Autores.

Normalmente, la subjetividad para evaluar a ojo desnudo el nivel de tostado del café, a través de la inspección del color del café tostado en grano podría ser superior al 50 %, dada la inclusión de factores instrumentales de iluminación y/o posicionamiento de los granos en la imagen. Sin embargo, trabajar con este lote de muestras contribuye a profundizar en el escenario de trabajo tanto de un experto humano como de un caficultor en general. Incluir técnicas de visión artificial, contribuyó a bajar este porcentaje de subjetividad, logrando un entrenamiento profundo de las características de color en particular, para la evaluación de calidad del café tostado.

Extracción de características.

A continuación, se encuentran secuencialmente las imágenes del café tostado como también tostado y molido a los cuales se les hizo la extracción de características de color, uniformidad varianza, delta [5]. Para cada una de estas se encuentra en su parte superior los valores tomados por los planos $L^*a^*b^*$, esto para el espacio CIELAB y para el espacio RGB los resultados están en el componente rojo, verde y azul con el cual se genera el color final, como también se muestra en escala de grises la varianza que deja al descubierto el contraste de tonos claros y oscuros en la muestra. Por otro lado, se puede apreciar un histograma en escala de grises, teniendo en cuenta los colores negro y blanco en el eje (x), comprendidos en un rango de 0 hasta 250, siendo (0) igual a negro y 250 igual a blanco y en el eje (y) se muestra los pixeles. Se puede apreciar una figura gaussiana con preferencia hacia tonos oscuros, interpretada como la uniformidad de tonos medios, pero dada en escala de grises, del procesamiento digital de imágenes. Se debe resaltar que los resultados corresponden al perfil 3 y el perfil 4, que resaltan por sus propiedades organolépticas, según la catación SCAA, consignada en la Tabla 3.

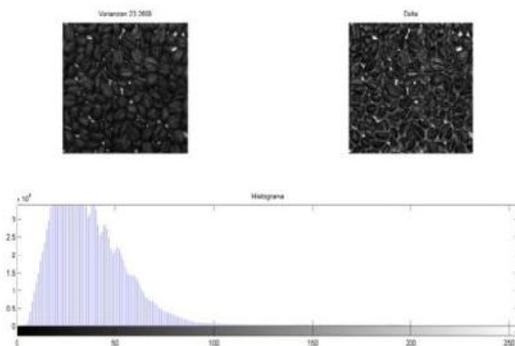


Fig. 11 Histograma en escala de grises para perfil 3 en grano. Fuente: Autores.

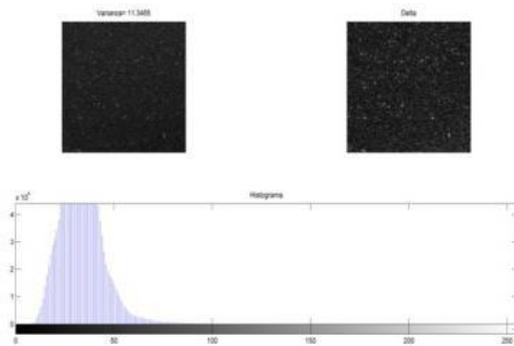


Fig. 12 Histograma en escala de grises para perfil 3 molido. Fuente: Autores.

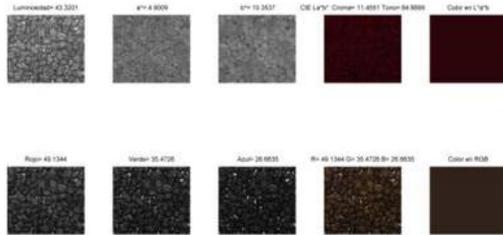


Fig. 13 Características de color en el espacio RGB y CIE-LAB para perfil 3 en grano. Fuente: Autores.

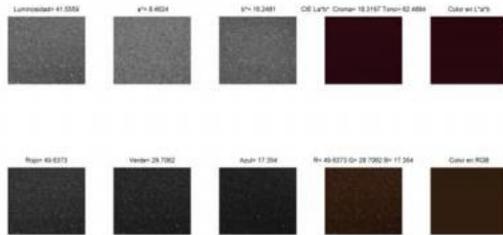


Fig. 14 Características de color en el espacio RGB y CIE-LAB para perfil 3 molido. Fuente: Autores.

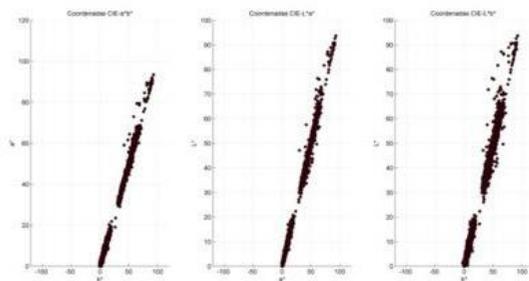


Fig. 15 Distribución color $L^*a^*b^*$ para perfil 3 en grano. Fuente: autores

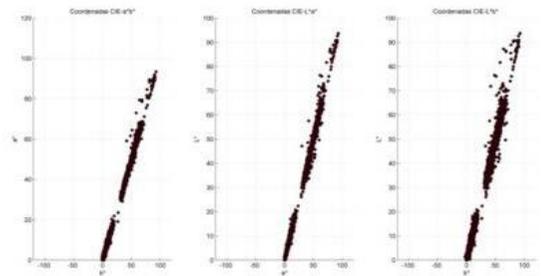


Fig. 16 Distribución color $L^*a^*b^*$ para perfil 3 molido. Fuente: autores

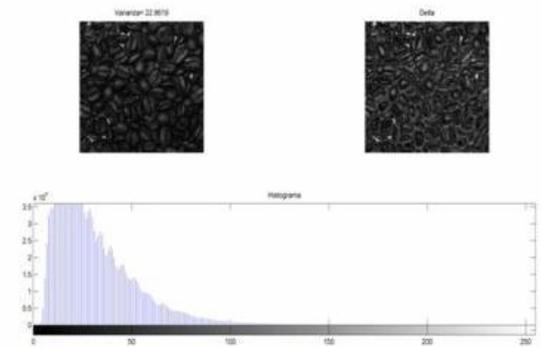


Fig. 17 Histograma en escala de grises para perfil 4 en grano. Fuente: Autores.

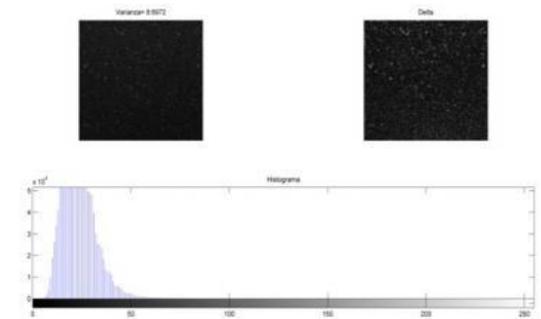


Fig. 18 Histograma en escala de grises para perfil 4 molido. Fuente: Autores

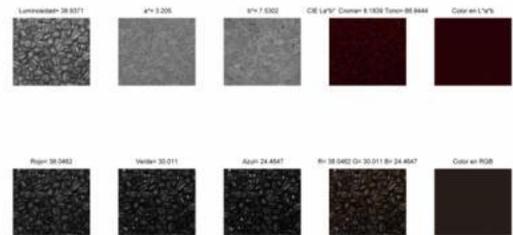


Fig. 19 Características de color en el espacio RGB y CIE-LAB para perfil 4 en grano. Fuente: Autores.

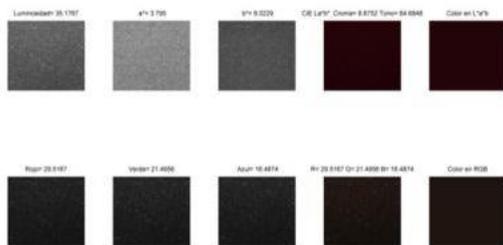


Fig. 20 Características de color en el espacio RGB y CIE-LAB para perfil 4 molido. Fuente: Autores.

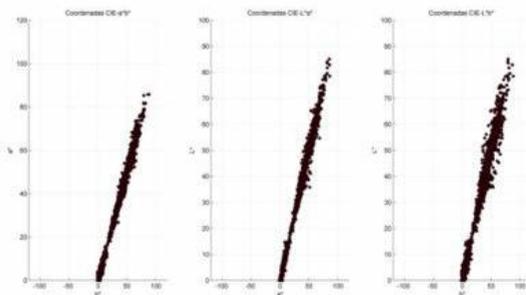


Fig. 21 Distribución color $L^*a^*b^*$ para perfil 4 en grano. Fuente: autores

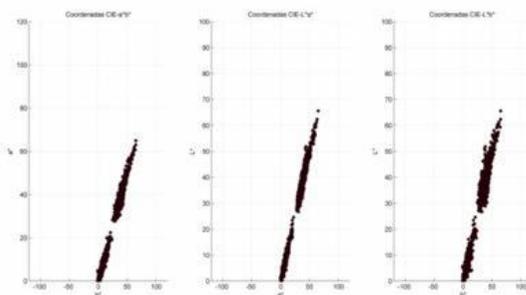


Fig. 22 Distribución color $L^*a^*b^*$ para perfil 4 molido. Fuente: autores

En el procesamiento de imágenes se analizaron todos los perfiles obtenidos en la tostación pero para este estudio se analizan dos perfiles con más atributos organolépticos, perfil 3 y 4. Se evidencia inicialmente un cambio de tonalidades de color tanto en el espacio de RGB como en CIELAB para cada una de las muestras (perfil 3 y perfil 4) que corresponde progresivamente al proceso de tostación estimado en las Tablas 2 y Tabla 3, promoviendo una relación muy fuerte entre el nivel de tostación de la muestra de café, su color y sus propiedades organolépticas (6). Se observa inicialmente que para las muestras (perfil 3 y perfil 4) el nivel de color es medio, como lo evidencian los planos de color a^* y b^* que se incrementan gradualmente, Fig 15-16 y Fig. 21-22. La percepción sensorial del color es similar, pero se

definen por el valor distinto de los parámetros de L^* y b^* respectivamente. Se observa también una homogeneidad en el color parecido para estas muestras, observando el histograma, donde para la distribución dentro de los límites 95%, la más uniforme en color en el perfil 3 para esta tonalidad de color.

Para el perfil 4, se observa la influencia de tonalidades más oscuras, pero continúan teniendo una distribución de color homogénea y cercana. La diferencia radica en el plano de color a^* y b^* respectivamente, donde la orientación empieza a moverse hacia colores rojos intensos con baja luminosidad, volviéndolos colores oscuros. Este hecho se relaciona con los niveles de tostación que tienen aquellas muestras.

El histograma de las imágenes del café tiene un comportamiento uniforme en cuanto a las tonalidades oscuras y una orientación preferencial por el rango entre 0 y 100, en la escala de grises contemplada en el procesamiento e imágenes y que propone la tonalidad oscura en la escala de 0 y clara o blanca para 255 en todo el rango establecido.

En las Fig. 15, Fig. 16, Fig. 21 y Fig. 22, se observa la distribución de color de los perfiles 3 y 4, respectivamente, en los planos de color CIELAB, esto representa la relación polar entre los planos del espacio de color; (a^* vs b^*), (L^* vs a^*) y (L^* vs b^*), tanto en café tostado en grano como en molido respectivamente. Esta gráfica deja en evidencia la homogeneidad del color de cada una de las muestras y su pendiente indica la correlación entre los planos de color. A mayor dispersión menor homogeneidad del color de la muestra y viceversa. Así, se identificaron los perfiles 3 y 4 como los que tienen la mejor distribución de color LAB determinado en las figuras, por su coherencia y linealidad en las gráficas de los planos de color, es decir, el grupo de píxeles de la imagen se agrupan en una línea recta determinando un valor de color o matiz particular para esta muestra. Cabe destacar que todas las muestras están en el primer cuadrante del espacio CIELAB (valores positivos de a^* y b^*) lo que quiere decir que el color está ubicado hacia el anaranjado-rojizo según la paleta de colores CIELAB.

Por otro lado, analizar el café tostado en grano con la extracción de características de color aún resulta un desafío, pues analizando, por ejemplo, el comportamiento del color en las imágenes Fig. 13 y Fig 14, se observa que las coordenadas de color a^* , y b^* del espacio de color CIELAB son los parámetros que más afectan

la determinación del color del perfil 3, bajo las condiciones físicas del café. En este caso se observa una disminución progresiva de los valores de $a^*=8,4624$ y $b^*=16,2481$ para café tostado molido, en comparación con los resultados para café tostado en grano que varían significativamente en los valores de $a^*=4,9009$, $b^*=10,3537$, siendo esto un aumento progresivo en la tonalidad oscura del café, evidenciando que aún existe el reto de determinar el grado de tostación de un café cuando se encuentra en grano, dado que a pesar de la iluminación difusa, quedan sombras entre granos y entonces, necesariamente se debe moler para garantizar confiabilidad en el parámetro de homogeneidad del color y así hacer la trazabilidad con sus propiedades organolépticas (8).

Se puede decir entonces que los colores promedio identificados desde perfil 3 molido y perfil 4 molido son tonos medios, cuyas tonalidades pueden variar de acuerdo a la curva de tostación y además por la partícula fina de la muestra molida, donde será más evidente el abanico de matices para un mismo color y por lo tanto diversos y llamativas propiedades organolépticas. Particularmente se tuvo en cuenta la Croma (C^*ab) y el Tono (Hab) que son combinaciones de las coordenadas a^* y b^* , del espacio de color CIELAB, y su comportamiento permite cuantificar fácilmente que tan “vivo” es el color y el tono del color para cada muestra, en su estado de tostación, respectivamente. Como, por ejemplo, en la Fig. 14, se puede apreciar el valor del cromas= 18,3197 y el tono=62.4884, estos matices se pueden asociar al “rojizo” de la paleta de colores LAB para el perfil3, y en la Fig. 20, cromas= 8,8752 y el tono=64.6848 que se puede asociar a un matiz “violeta oscuro”, respectivamente.

Además, la uniformidad del color está dado por el análisis de los histogramas de las imágenes en escala de gris, en este caso para las muestras de café tostado y molido del perfil 3 y el perfil 4 observa una distribución de colores en la escala entre 0 y 190 aproximadamente, lo que significa una variedad de tonos de gris, posiblemente debidos a la presencia de cutícula en el grano de café molido que es de color claro y contribuye a caminar hacia los tonos claros de la paleta de colores

en los matices anteriormente mencionados. Así mismo, los perfiles 3 y 4 muestran en el histograma una fuerte tendencia hacia la región entre 0 y 100, donde se alojan los tonos oscuros representativos del proceso de tostación de café y evidencia que se ha realizado un proceso de tostación homogénea y adecuada de acuerdo a las curvas y perfiles de tostación proyectados para este trabajo, abriendo el espectro de los tonos medios mediante la cuantificación del color y matiz de los perfiles 3 y 4.

Por otro lado, la varianza o contraste de las imágenes del café tostado disminuye progresivamente desde el perfil 3, lo que significa una distribución cada vez más homogénea del color a medida que el café es sometido a las curvas de tostación más altas. Se consideró en el algoritmo de procesamiento de imágenes la presencia de cutícula, que es de color claro e influye en la apariencia de las muestras, aunque este hecho no afecta la extracción de las características de color en el espacio CIELAB, dado que se contempla la luminosidad de (0-100) y el plano de color a^* y b^* , agrupa toda la percepción de colores y matices Amarillo-Rojo.

A pesar que la cuantificación tanto del color como del matiz de las muestras de café tostado, no es el único parámetro de calidad que se debe tener en cuenta para definir la calidad del café tostado, en este trabajo se logra ampliar el espectro del perfil de tostación medio, donde se encuentra el gran potencial para nuevos mercados por sus propiedades organolépticas especiales y potencial de agregación de valor para la caficultura Caucana (9-10).

El trabajo contribuyó a determinar la relación del color y matiz del café tostado con sus propiedades organolépticas bajo el protocolo SCAA, brindando una primera aproximación a la implementación de algoritmos de inteligencia artificial [9], que apoyen el proceso de evaluación sensorial del café y su respectivo análisis visual, a través de herramientas de visión artificial. Estas relaciones se consignan en la tabla 5 y tabla 6, respectivamente, para las muestras de tono medio y medio-alto, donde generalmente se tiene subjetividad en el proceso de evaluación sensorial por color.

TABLA 5. Relación valores espacio de color y las propiedades organolépticas. Fuente autores

Perfil de Tostación 3				
ESPACIO DE COLOR	Valores numéricos			Propiedades organolépticas de la muestra
Etapas de transformación	Grano	Molido	Diferencia	Tueste medio
L	43,32	41,55	1,77	Caramelo
a*	4,9	8,46	-3,56	Chocolate
b*	10,35	16,24	-5,89	Licor
Croma	11,45	18,31	-6,86	Mantequilla
Tono	64,65	62,48	2,17	Malta
R	49,13	49,63	-0,5	Dulce agradable
G	35,47	28,7	6,77	Cuerpo medio
B	26,66	17,35	9,31	Afrutado

TABLA 6: Relación valores espacio de color y propiedades organolépticas. Fuente: autores

Perfil de Tostación 3				
ESPACIO DE COLOR	Valores numéricos			Propiedades organolépticas de la muestra
Etapas de transformación	Grano	Molido	Diferencia	Tueste medio
L	38,93	35,17	3,76	alto
a*	3,2	3,79	-0,59	Dulce
b*	7,53	8,02	-0,49	residual
Croma	8,18	8,85	-0,67	moderado
Tono	66,94	64,65	2,29	Cítrico
R	38,04	29,51	8,53	Panela
G	30,01	21,49	8,52	Te con limón
B	24,46	16,48	7,98	Afrutado
				Cuerpo medio

Conclusiones

En el proceso de tostación de muestras de café arábica Bourbon, para el perfil 3, tueste medio, presentó sus mejores atributos como aromas pronunciados, afrutados, cítricos, en cuanto su acidez deja un agradable cítrico, la densidad o persistencia de las características de la bebida en el gusto, el resabio o sabor residual de la muestra se percibe minutos después en la parte profunda de la lengua donde también se percibe un sabor residual plano y amargos suaves, por ello recibe un puntaje SCAA=78.5. La relación de sus propiedades organolépticas con sus valores numéricos de su color fueron $L=43,3201$, $a^*=4,9009$ y $b^*=10,3537$ en el espacio de color CIELa*b*, en café tostado grano y para grano molido se obtuvo $L=41,5559$, $a^*=8,4624$ y $b^*=16,2481$; teniendo en cuenta que el tamaño de la partícula influye en los valores extraídos del procesamiento de imágenes y en las condiciones del protocolo SCAA.

El perfil de tostación 4 de una muestra de café arábica Bourbon es un tueste medio alto, el cual se pudo relacionar con un sabor residual agradable, sabores cítricos, panela, té con limón, dejando en evidencia un cuerpo medio y unos aromas afrutados, este perfil de se logró con un tiempo en el tambor tostador de 9 minutos y a una temperatura inicial de 180 °C y una temperatura final de 195 °C. Este perfil tiene un cuerpo medio el cual es agradable a la boca y un sabor residual amargo plano que resalta los atributos del café, con puntaje con un puntaje SCAA=80.5. Los valores numéricos de su color fueron $L=38,9371$, $a^*=3,205$ y $b^*=7,5302$ en el espacio de color CIELa*b* para café tostado grano y para grano molido se obtuvo: $L=35,1767$, $a^*=3,795$ y $b^*=8,0229$.

Agradecimientos

Los autores agradecen a SUPRACafé Colombia, y la administración de la Hacienda los Naranjos en la Venta de Cajibío – Cauca, en asocio con Unicomfauca, por su valioso aporte en esta etapa del proyecto. Al proyecto InnovAcción Cauca, por la financiación del proyecto “Diseño de un prototipo para evaluar el color y matiz del café tostado y sus propiedades organolépticas”. Corporación Universitaria Comfauca. Grupo de investigación en Sistemas inteligentes. Financiado por Innovación Cauca Proyecto UEES 04A-2015. Año inicio 2016, año de finalización 2017. Al Doctorado en Ciencias de la Electrónica, de la Universidad del Cauca por su vinculación en la siguiente fase del proyecto.

Referencias

1. Gobernación del Cauca «Plan Departamental de Desarrollo 2016-2019. Cauca territorio de Paz». Popayán, 2016.
2. Correa E. C. Barreiro P., Hills, B., Bongaers E., Jiménez, T., Melado A., et al. Prospective of innovative technologies for quality supervision and classification of roasted coffee beans. In 6th International CIGR Technical Symposium - Proceedings of 6th International CIGR Technical Symposium. disponible en http://oa.upm.es/6858/1/Barreiro_88.pdf
3. Tolessa K., Rademaker M., De Baets B., Boeckx P. (2016). Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. *Talanta*, 150: 367–374.
4. Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2016). Fusion of artificial senses as a robust approach to food quality assessment. *J Food Eng. J Food Eng.* 171: 230-239
5. Portugal-Zambrano C.E., Gutierrez-Caceres, J.C., Ramirez-Ticona, J., Beltran-Castanon, C.A. (2017). Computer vision grading system for physical quality evaluation of green coffee beans. In Proceedings of the 2016 42nd Latin American Computing Conference, CLEI 2016. <https://doi.org/10.1109/CLEI.2016.7833383>
6. Flores, W. C., Pineda, G. M. (2017). A type-2 fuzzy logic system approach to train Honduran coffee cuppers. In 2016 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence, LA-CCI 2016 - Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/LA-CCI.2016.7885710>
7. Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends Food Sci Technol.* 57(A): 20-30.
8. Federación Nacional de Cafeteros. [En línea]. Disponible en: https://www.federaciondefcafeteros.org/particulares/es/nuestro_cafe/cafes_especiales/
9. Shetty D., Kolk RA (2010) *Mechatronics System Design SI version*. Cengage Learning editors. 2d^o edición. 504 p.
10. Gee S. (1981) *Technology Transfer Innovation and International Competitiveness*. Nueva York. Wiley & Sons Inc editors.