



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TIEMPO Y TEMPERATURA EN EL PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ DEL CAUCA, TENIENDO EN CUENTA LA PERCEPCIÓN DEL CONSUMIDOR

Diego Andrés Campo Ceballos, Carlos Alberto Gaviria López

**Universidad del Cauca
Popayán, Colombia**

Resumen

La industria del café está interesada en la obtención de procedimientos que realcen y potencien los atributos del café para satisfacer los requerimientos de los consumidores de cafés puros. La inclusión de estos procedimientos permitiría generar nuevos mercados, así como verificar la autenticidad de la materia prima. Un café se considera especial cuando es percibido y valorado por los consumidores por alguna característica que lo diferencia de los cafés convencionales, por lo cual están dispuestos a pagar un precio superior. Para que ese café sea efectivamente especial, el mayor valor que están dispuestos a pagar debe representar un beneficio para el productor. La asociación americana de cafés especiales (SCAA), considera que los cafés que obtengan más de 85 puntos sobre 100 son clasificados como "Especiales", y entre 80-84 son denominados "Premium". Un café especial debe al menos poseer un atributo distintivo en el cuerpo, sabor, aroma o acidez. Debe estar libre de defectos y manchas. El contenido de humedad debe estar entre el 9-13%. El proceso de tostado es el procedimiento con mayor impacto en la expresión de sabor del café. Durante el proceso de tostado, varias reacciones químicas producen compuestos volátiles y no volátiles que componen las propiedades organolépticas de la bebida, como el aroma y el sabor, y también son responsables del cambio de color de los granos de café. De esta manera, la definición correcta del grado de tostado del café, y el estudio de la curva de tiempo-temperatura son áreas de investigación activa y no trivial, que interviene en la obtención de perfiles de tostado consistentes. En este trabajo se propone definir un esquema de optimización de las condiciones de tiempo y temperatura de tostado del café, tomando como base los modelos de matemáticos de optimización para la industria de alimentos, y busca potenciar las características distintivas y consistentes en los atributos de acidez y cuerpo, aceptables por los consumidores de cafés especiales. El esquema de optimización

se validará en las variedades Castillo y Tabi, conocidas por la suavidad, aroma y acidez, de la unidad productiva de Supracafé-Colombia- Venta de Cajibío, Cauca, Colombia.

Palabras clave: tostado de café; optimización; percepción del consumidor

Abstract

The coffee industry is interested in obtaining procedures that enhance and enhance the attributes of coffee to meet the requirements of consumers of pure coffee. The inclusion of these procedures would allow generating new markets, as well as verifying the authenticity of the raw material. Coffee is considered special when it is perceived and valued by consumers for some characteristic that differentiates it from conventional coffees, for which they are willing to pay a higher price. For that coffee to be indeed special, the greater value that they are willing to pay must represent a benefit for the producers. The Specialty Coffee Association of America (SCAA), considers that the coffees that obtain more than 85 points out of 100 are classified as "Special", and between 80-84 they are called "Premium". Special coffee must at least have a distinctive attribute in the body, flavor, aroma or acidity. It must be free of defects and spots. The moisture content should be between 9-13%. The roasting process is the procedure with the greatest impact on the expression of coffee flavor. During the roasting process, several chemical reactions produce volatile and non-volatile compounds that make up the organoleptic properties of the beverage, such as aroma and flavor, and are also responsible for the color change of the coffee beans. In this way, the correct definition of the degree of roasting of coffee, and the study of the time-temperature profile are areas of active and non-trivial research, which intervenes in obtaining consistent roasting profiles. In this work a scheme for optimization of coffee roasting time and temperature conditions, based on optimization mathematical models for the food industry was proposed, and seeks to enhance the distinctive characteristics and consistent attributes of acidity and body, acceptable by consumers of specialty coffees. The optimization scheme will be validated in the Castillo and Tabi varieties, known for the softness, aroma and acidity, of the production unit of Supracafé-Colombia- Venta de Cajibío, Cauca, Colombia.

Keywords: coffee roasting; optimization; consumer perception

1. Introducción

En la industria del café, el proceso de tostado se utiliza para desarrollar las propiedades organolépticas especiales del café y generar condicionales de alta calidad en la bebida. Estos efectos ventajosos se ven influenciados de manera decisiva por las condiciones de tostado. Dichas condiciones se ven representadas por las variables tiempo y temperatura, y dependen de varios factores, como el grado de tostado requerido, el tipo de tostador, el tipo, variedad, densidad y humedad de la materia prima, además de los efectos del origen, altura, la cosecha y poscosecha del grano de café procesado [6], [9]. Existen estudios que muestran que existe una correlación entre el grado de tostado y los atributos de sabor percibidos por el consumidor, mostrando, que el uso de combinaciones inadecuadas de tiempo y temperatura durante el tostado de los granos de

café pueden provocar defectos de calidad, como el sabor quemado, el color oscuro, el sabor deficiente, entre otras no aceptables por los consumidores [10].

Uno de los problemas abiertos en el proceso de tostado de café es precisamente determinar las condiciones de tiempo y temperatura óptimas para obtener perfiles consistentes, replicables y en función del atributo que se busca potenciar para generar una percepción de sabor particular en el consumidor de café. Los niveles de tostado se establecen a partir de los perfiles de tiempo-temperatura, pero estos no son uniformes de lote a lote de café y se genera un cambio en la percepción de sabor al consumidor final [11]. La revisión de estudios en este tema ha reportado los enfoques basados en computadora para el análisis sensorial y de sabor, incluidos los enfoques de diseño óptimos para los diseños experimentales sensoriales y la incorporación de métodos de modelado no lineales como la red neuronal artificial en el análisis de los resultados [12]. Si bien las técnicas clásicas como los diseños factoriales fraccionados y la regresión de mínimos cuadrados parciales se han utilizado ampliamente en estudios relacionados con el sabor y la percepción sensorial de los alimentos, estas técnicas pueden ser inadecuadas para describir completamente un sistema complejo y potencialmente no lineal encontrado en los productos alimenticios. Además, los métodos más recientes basados en computadora todavía están en desarrollo, y es crucial que estos métodos se exploren más a fondo para que puedan establecerse y aceptarse fácilmente en estudios relacionados con el sabor y la percepción de los alimentos por el consumidor [12].

Por su parte, los métodos para evaluar la percepción del consumidor han sido asumidos para llevar a cabo la medición de la aceptabilidad de las bebidas preparadas a partir de una materia prima o de un nuevo producto, entre ellas se ha reportado el uso del análisis descriptivo rápido integrado al método de factor múltiple para determinar las inter-distancias entre cada atributo medido en vinos [13], también se ha resaltado la importancia de generar medidas sistemáticas para definir las escalas subjetivas, objetivas y hedónicas como insumo formal de información de las preferencias de los consumidores [14], [15] y se definieron técnicas de perfil sensorial rápidas [16]–[19], y métodos sensoriales dinámicos como el temporal dominance of sensations (TDS) [20].

Particularmente para el café, un estudio reciente mostró la afectación directa de la percepción sensorial del consumidor cuando se cambia la forma de la taza donde se sirve una bebida de café [21] y por otro lado se han introducido análisis CATA (Check-All-That-Apply) para estudios de percepción de los consumidores en relación a los atributos de su expresión de sabor como herramienta sistemática, encontrando relaciones complejas que dependen de aspectos psicológicos y culturales [11].

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis sensorial actualmente se basa en diseños experimentales clásicos y técnicas de análisis multivariado lineal que abordan de forma incompleta la complejidad del sabor del café. Los métodos basados en algoritmos informáticos, como los diseños óptimos en el diseño de experimentos, y las redes neuronales artificiales como un método de regresión no lineal, se pueden usar o adaptar, junto con los métodos actuales, para superar las posibles deficiencias de los métodos existentes [12]. En ese sentido, los métodos de optimización basados en superficies de respuesta multifactorial (RSM), utilizando diseño central compuesto CCD, han sido utilizados en diversos estudios para la determinación de varias características físicas y químicas del café (la calidad sensorial, su actividad antioxidante, el contenido de cafeína, azúcar total,

compuestos fenólicos, pH, etc), integrando modelos polinomiales [22]–[26]. En Brasil, se reportó un modelo con componentes lineales y cuadráticos para el tiempo, y un componente lineal para la temperatura, como significativo en un estudio del contenido total de azúcar y el pH para Café Robusta Canephora. El modelo predictivo para el contenido de compuestos fenólicos solo presentó coeficientes lineales para el tiempo y la temperatura como un factor de probabilidad del 5% [7]. En Indonesia, se reportaron estudio de optimización de las condiciones de tostado (temperatura y tiempo) de café robusta Canephora teniendo en cuenta obtener bajo nivel de acrilamida y presencia de pirazinas que produjeron calidad superior de café tostado [26], encontrando un modelo lineal cuadrático con un componente lineal para el tiempo y un componente cuadrático para la temperatura como significativo a un nivel de probabilidad del 5% en la determinación del contenido de cafeína [24].

En el Coffea arábica, por ejemplo, se reportan coeficientes lineales para el tiempo y la temperatura y la interacción entre estas variables como significantes a un nivel de probabilidad del 5% en la determinación de la actividad antioxidante [22]. Más adelante en Etiopía se realizó un estudio de optimización para café especial de la región de hararghe donde por primera vez se reporta el efecto de la optimización de las condiciones de tostado en la percepción del consumidor de bebidas hechas a base café hararghe. Los resultados del estudio indicaron que el color, la densidad aparente y la densidad real de los granos de café tostados se vieron afectados significativamente a un nivel de probabilidad del 5% por el tiempo de tostado, la temperatura y su interacción, mientras que la pérdida de peso, la susceptibilidad a la rotura y la fuerza de ruptura se vieron afectadas significativamente por el tiempo y la temperatura de tostado [25]. En estudios de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, Brasil), se reportó un estudio de café arábica cultivado bajo estrés hídrico controlado, para optimizar las condiciones de tiempo y temperatura y determinar el uso potencial de ese café en la industria del café instantáneo por su alto contenido de sólidos solubles [27]. En Colombia se ha reportado un estudio para optimizar la torrefacción de mezclas de café sano y brocado en función de la temperatura de proceso y el agua de apagado, donde no se obtienen diferencias significativas de calidad entre granos sanos y brocados [28] y la investigación sobre el efecto de la optimización numérica de las condiciones de tostado de genotipos de café especial basados en las preferencias del consumidor aún son limitadas. Es así como este trabajo busca investigar ¿Cómo optimizar las condiciones de tiempo y temperatura sobre el perfil de tueste estándar de la SCA para mantener consistencia en la acidez y cuerpo en taza aceptables por los consumidores de café, en las variedades Castillo® y Tabi®? Un esquema de optimización de las condiciones de tiempo y temperatura del café tostado, constituye un producto de gran valor tecnológico como referencia para la agregación de valor en la agrocadena del café, relacionado con las preferencias de los productores y consumidores en el mercado de cafés premium y cafés especiales, fomentando las bases para estudios posteriores en Cafés Origen en Colombia.

2. Técnicas de optimización

El proyecto aborda en su fase experimental una función objetivo, definida por la curva de tostado estándar para catación, donde se busca que los parámetros de tiempo y temperatura de tostado puedan optimizarse para estudiar la consistencia en dos atributos seleccionados del café, la acidez

y el cuerpo. En ese sentido se han adoptado las técnicas de optimización. Las técnicas de optimización se clasifican ampliamente en dos categorías: enfoque univariado y multivariado. El enfoque univariado, también conocido como enfoque de un factor-tiempo (OFAT), implica la variación de un parámetro a la vez. Sin embargo, el enfoque multivariado tiene varias ventajas sobre OFAT, entre ellas el análisis de factor múltiple. La ejecución paso a paso de un proceso de optimización a este nivel se presenta en la Figura 1.

De la figura 1, se observa que el proceso de optimización debe garantizar un diseño y planeación del experimento, a fin de iterar consecutivamente hasta lograr el objetivo deseado. La metodología de superficie de respuesta RSM, es una herramienta estadística multivariable que consiste en un grupo de técnicas matemáticas y estadísticas que se basan en el ajuste de los modelos empíricos a los experimentales. El uso de RSM en la optimización del proceso lleva a la necesidad de un diseño experimental, que puede generar muchas muestras para la evaluación del consumidor en un corto período de tiempo y, por lo tanto, las pruebas a nivel de laboratorio son más eficientes [7].

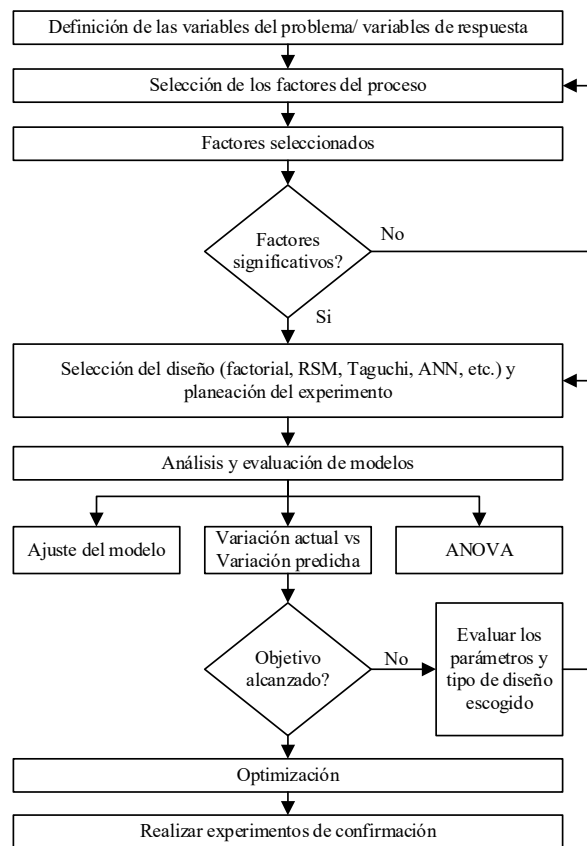


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de optimización. Adaptada [29]

El diseño central compuesto (CCD) es el diseño más útil para estimar la superficie de respuesta multifactorial, lo que reduce al mínimo el número de experimentos, al tiempo que permite realizar evaluaciones simultáneas de las variaciones de todos los factores experimentados estudiados y distinguir la interacción entre ellos [30]. Un CCD tiene tres grupos de puntos de diseño [38].

- (i) Puntos de diseño factorial o factorial fraccional de dos niveles ($2k$), que consiste en posibles combinaciones de niveles de factor $+1$ y -1 ;
- (ii) $2k$ puntos axiales (a veces llamados puntos de estrella) fijados axialmente a una distancia, normalmente α desde el centro, para generar términos cuadráticos;
- (iii) Puntos centrales que representan términos replicados. Los puntos centrales proporcionan una estimación buena e independiente del error experimental.

El diagrama de flujo del esquema para el diseño central compuesto (CCD) se presentan en la Figura 2.

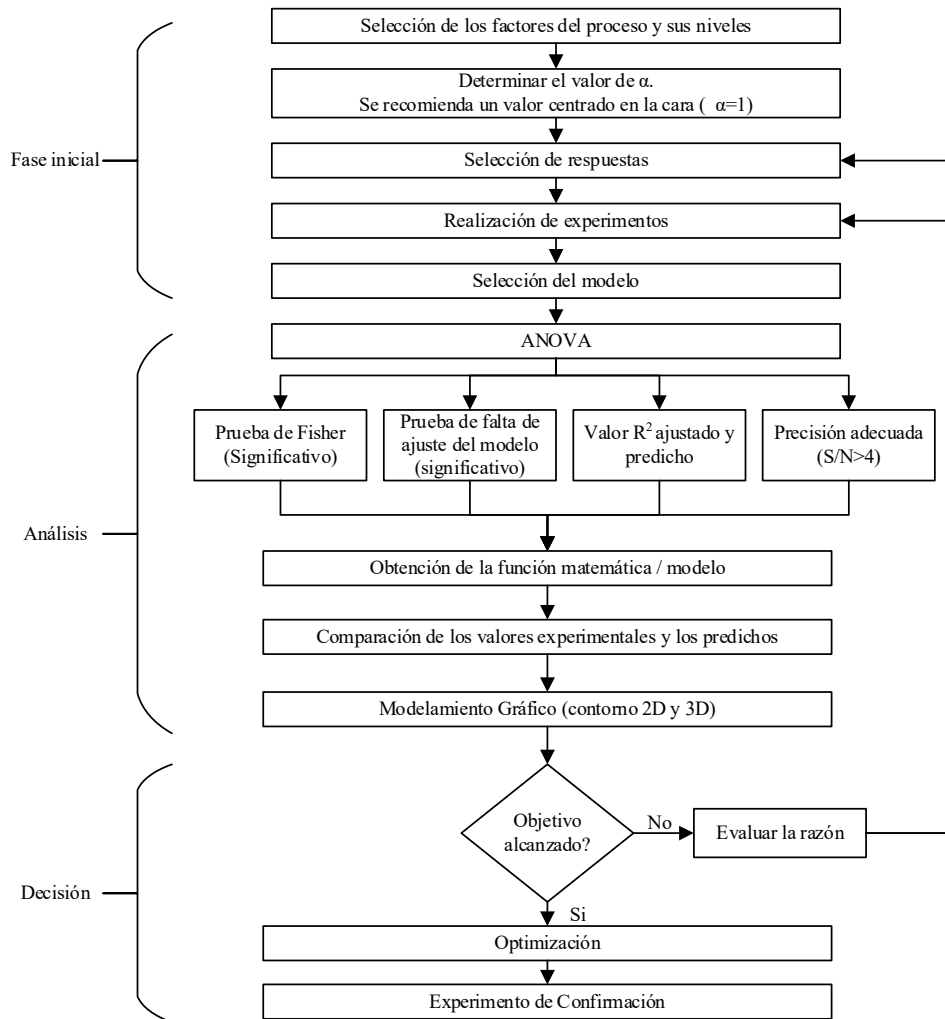


Figura 2. Diagrama de flujo del diseño central compuesto. Adaptado [29]

Teniendo en cuenta estos puntos, el número de experimentos diseñados por CCD será:

$$N = k^2 + 2k + n \quad (1)$$

donde N es el número total de experimentos, k es el número de factores estudiados y n es el número de repeticiones. El diseño central compuesto bajo RSM se realiza normalmente utilizando un software y el objetivo es observar el efecto de los factores sobre un entorno central. En el diseño central compuesto, es importante calcular el valor de alfa ya que podría determinar la ubicación

de los puntos axiales en el dominio experimental. Según el valor alfa, el diseño es esférico, ortogonal, giratorio o centrado en la cara. Prácticamente, se encuentra entre la cara centrada y esférica y se calcula como:

$$\alpha = (2^k)^{0.25} \quad (2)$$

El valor deseable para alfa es 1 porque asegura la posición del punto axial dentro de la región de la porción factorial. Se llama diseño centrado en la cara y ofrece tres niveles para los factores que se deben incluir en la matriz de diseño experimental.

Los resultados experimentales obtenidos se analizan utilizando el procedimiento de regresión de superficie de respuesta del sistema de análisis estadístico. La correlación entre las respuestas y las variables independientes se obtiene incluyéndolas en el polinomio de segundo orden [10].

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_{ii}^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{i \neq j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3)$$

Donde, Y representa las respuestas, k es el número total de factores independientes, β_0 es la intersección con el eje; β_i , β_{ii} , y β_{ij} representan los valores de coeficiente para efectos lineales, cuadráticos y de interacción, respectivamente, y x_i y x_j muestra los niveles codificados para variables independientes [29].

3. Pruebas sensoriales

En la industria del café los análisis sensoriales se han convertido en herramientas de gran valor, debido a su capacidad para procesar correctamente un enorme número de variables relacionadas con los atributos del producto. Dependiendo de los objetivos del proyecto o de la investigación, el perfil de los catadores puede variar, así como el nivel y tiempo de entrenamiento [32].

Como parte del proyecto, se tomó como referencia el criterio de un panel de expertos CQI con nivel Q-Grader del comité departamental de cafeteros del Cauca, CAFICAUCA, para evaluar las muestras de café estudiadas, alineados con los protocolos de la asociación de cafés especiales SCAA. En la figura 3, se pueden observar los 10 atributos evaluados por el formato del SCAA, correspondientes a la percepción sensorial del panel de expertos. Por ejemplo, para tuestes medios, los atributos de acidez y cuerpo, que son el objetivo de la evaluación, se mantienen en niveles intermedios (puntaje 8) relacionados con la curva de tostado de la muestra. Para tuestes altos, la acidez agradable cae y empieza a percibir un sabor amargo moderado en muestras tostada con perfil medio-alto, hasta el defecto de chamuscado en la bebida para la muestra más alta o quemado (comercial).

Luego catar el café, se evidencia el impacto que tiene el tiempo de tueste en la acidez y el cuerpo y permitiría experimentar con el perfil de temperatura y su tasa de incremento (RoR). Además, se obtuvo como resultado importante que el color del café tostado, no siempre es el principal indicador de sabor o calidad del café, pues tal y como se ha mostrado, el sabor final en la taza depende de las condiciones de la materia prima, de las decisiones que se tomaron durante el proceso de tostado y de la forma de preparación de la bebida en la catación, entre otros aspectos que se están explorando actualmente para integrarlos a los criterios de desempeño del proceso de optimización de las condiciones de tiempo y temperatura para lograr consistencia en dos de sus atributos, la

acidez y el cuerpo percibidos por los consumidores de café. En este punto del proyecto actualmente se está trabajando en la exploración de la metodología para cuantificar la percepción del consumidor de café, confrontando un grupo seleccionado por medio de un formulario y un consentimiento informado, a un procedimiento de entrenamiento para la evaluación sensorial, según la metodología reportada en la literatura [35] [41]. También se tendrá presente los conceptos de los expertos catadores, ajustado a la metodología de la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA) y tener el punto de referencia como garantía de la integridad de las percepciones sensoriales de las muestras de café.

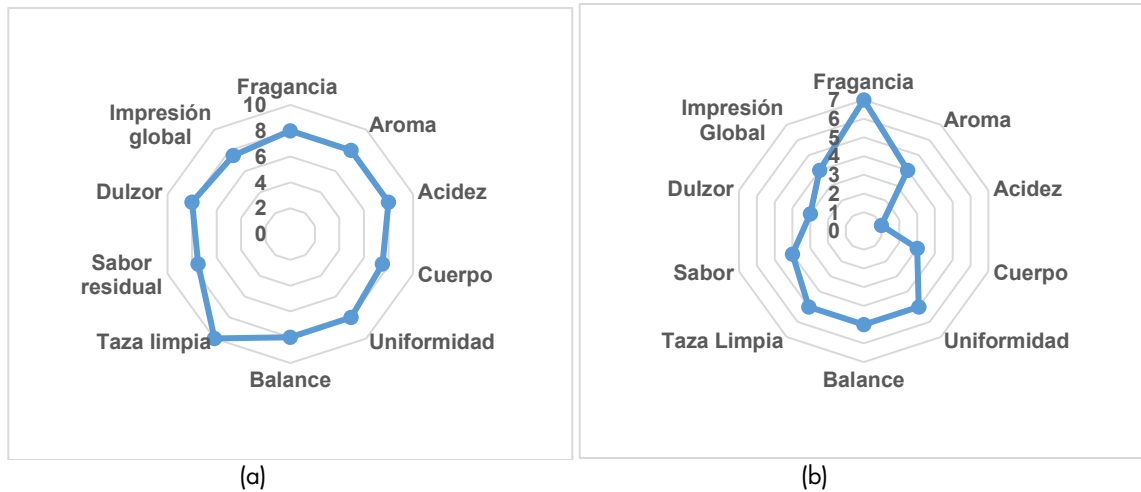


Figura 3. Perfil de taza de la muestra (a) Tostado medio y (b) Tostado alto.

4. Métodos de análisis sensorial basado en percepción del consumidor

Los análisis sensoriales agrupan un conjunto de técnicas, las cuales son utilizadas para medir las respuestas de los cinco sentidos humanos hacia características de los alimentos y bebidas. Existen tres retos fundamentales en los análisis sensoriales: la discriminación, la caracterización y la tipología. Las metodologías sensoriales basadas en las percepciones de los consumidores se han vuelto populares y ampliamente utilizadas por las industrias en los últimos años para reemplazar los métodos clásicos [31]. Estos métodos no requieren capacitación, tienen un bajo impacto financiero, optimizan el tiempo y los recursos en las empresas y proporcionan información altamente correlacionada con los métodos tradicionales. Entre los métodos rápidos utilizados que se han destacado para captar las percepciones de los consumidores, y las tareas verbales están las escalas de intensidad, la CATA, el Flash Profiling, los métodos basados en la similitud (Proyección de mapas y clasificación) y los métodos basados en referencias (Posicionamiento sensorial polarizado - PSP, Proyectividad polarizada Mapping - PPM y Pivot Profile). Los perfiles de sabor del café se podrían evaluar para comprender cómo el grado de tostado y los cambios en el aroma del café afectan las características de sabor percibidas por los consumidores. Las evaluaciones de los consumidores serían necesarias para identificar los atributos clave que podrían afectar la aceptabilidad. Lo anterior es de especial valor al momento de investigar las preferencias y gustos de los consumidores [19], [32]

El mapeo proyectivo (PM) es uno de los métodos holísticos más populares, con un número emergente de estudios en los últimos años. Como principal ventaja, proporciona un juicio global sobre los productos, integrando todas las características sensoriales. Este método propuesto por Pagés [13], [33], consiste en presentar a los panelistas un grupo de K diferentes productos. Los evaluadores deben marcar cada producto en una manteleta de papel (usualmente de tamaño 40 x 60 cm) de acuerdo a las diferencias o similitudes percibidas. Por ejemplo, dos productos aparecerán muy cercanos en la manteleta si éstos son percibidos como semejantes. Por el contrario, productos diferentes aparecerán muy lejanos en la manteleta. Cada panelista, además de proporcionar un par de coordenadas en cada evaluación, debe complementar con cinco palabras, que, de acuerdo a su criterio propio, mejor describen al producto. Este método, en contraste con los anteriormente explicados, permite a los evaluadores expresar juicios personalizados, con mayores niveles de abstracción. Lo anterior evita el sesgo ocasionado por utilizar escalas hedónicas, mismas que limitan a los panelistas emitir sus juicios en función solo de los atributos en cuestión [32].

Por otro lado, los métodos basados en cuestionarios o preguntas Check-all-that-apply (CATA) consisten en una lista de palabras o frases de las cuales los encuestados deben seleccionar todas las palabras que consideren apropiadas para describir la muestra [11], [31]. Se considera un enfoque práctico para proporcionar información sobre las percepciones sensoriales, con altas correlaciones con los perfiles sensoriales generados por evaluadores capacitados [31]. Recientemente, se ha propuesto el método Pivot Profile (PP) como un nuevo enfoque para una descripción rápida y comparativa de los productos alimenticios. Este método tiene como estrategia principal capturar las diferencias entre dos muestras a través de comentarios espontáneos y libres, donde el un producto evaluado se encuentra al lado de uno de referencia, que se llama un pivote [34]. Aunque prometedor, el perfil pivote ha sido poco explorado, mostrando ventajas comparativas con otros métodos sensoriales como los mapas proyectivos y el cuestionario CATA [35]. En el ámbito del café se considera el Coffee Quality Institute (CQI) como el ente entrenador y calibrador de los evaluadores de cafés bajo el protocolo SCA.

5. Resultados esperados

Los métodos propuestos para el desarrollo de este trabajo permitirán explorar técnicas optimización. De esta manera será posible proporcionar una base de referencia en la optimización de los procesos de tostado de café y su efecto en la consistencia de las características o atributos de sabor, que sean aceptados por los consumidores de café.

Realizar un análisis comparativo de distintos métodos de análisis sensorial enfocado en el consumidor [35], [41], incluyendo el esquema de optimización propuesto en esta investigación [42]. Durante esta fase se realizará la pasantía internacional, donde se espera replicar las condiciones de tiempo y temperatura óptimos para lograr consistencia en acidez y cuerpo del café. Integrar los parámetros físicos y sensoriales obtenidos, al esquema de optimización para realizar un análisis preliminar con pruebas de aceptación por parte de los consumidores de café.

Desarrollar un esquema que permita confirmar las condiciones óptimas de las condiciones de tiempo y temperatura del café tostado, teniendo en cuenta la consistencia de los atributos de acidez

y cuerpo aceptados por los consumidores, y su relación con las propiedades físicas de las muestras de café.

El proceso de tostado del café es una combinación compleja de múltiples factores, que agrega valor a la materia prima. El esquema de optimización propuesto permitirá establecer las condiciones de tiempo y temperatura del proceso de tostado para acentuar los atributos deseados y estudiar su consistencia a través de métodos de percepción sensorial aplicados a consumidores de café.

Divulgar los resultados obtenidos a través de la publicación de dos artículos y la presentación del documento de tesis de doctorado.

6. Conclusiones

El color del grano y el desarrollo del tostado no siempre están conectados. Se encontraron variaciones en el índice de color estudiados, lo que indica que siempre existirá, para una misma muestra, dos tonos diferentes. Las medidas del grado de tostado del café basado en el color se pueden presentar al consumidor como una medida de transparencia del proceso.

Los procesos de tostado más oscuros se asocian a menudo con más cuerpo (aceites y compuestos orgánicos no volátiles), sin embargo, cuando se tuesta el café a altas temperaturas se pierde dulzura, y la acidez natural frutal se convierte en desagradable y amarga. El estudio de optimización de las condiciones de tiempo y temperatura incluye variar la duración y la intensidad de la reacción de Maillard y registrar sus efectos en el perfil para la obtención de cafés consistentes, aceptables por los consumidores.

La acidez percibida es una de las percepciones clave dentro del perfil organoléptico del café. Esta característica depende del origen del café, la variedad y el método de procesamiento de las cerezas de café. Aunque no está claro qué compuestos son responsables de la acidez percibida, se sabe que los ácidos cítrico, málico, acético, quínico y principalmente clorogénico, son las especies de ácido más abundantes en el grano de café y pueden ser responsables de esta característica organoléptica. Por lo general, los cafés cultivados a altitudes más altas o sometidos a un tratamiento de tratamiento húmedo posterior a la cosecha presentan una mayor acidez. La acidez percibida depende de la cantidad final de ácidos presentes y extraídos, que se relaciona principalmente con el grado de tostado. Una percepción muy ácida puede considerarse como un defecto del café. Los cafés muy tostados y ligeramente tostados presentan una acidez percibida más baja.

Se debe tener en cuenta que la definición de Café de Cauca es compleja: su fragancia y aromas fuertes y acaramelados, una taza de acidez alta, cuerpo medio, impresión global balanceada, limpia, suave y con algunas notas dulces y florales, hacen de este proyecto una base para contribuir al entendimiento de los procesos que lleven generar consistencia en estas características sobresalientes.

7. Referencias

- [1] Federación Nacional De Cafeteros de Colombia, "Nuestros Cafés Especiales | Federación Nacional de cafeteros." [Online]. Available: https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestra_propuesta_de_valor/portafolio_de_productos/nuestro_cafe_especial/. [Accessed: 16-Nov-2018].
- [2] coffeeresearch.org, "SCAA Green Coffee Beans Classification," 2016. [Online]. Available: <http://www.coffeeresearch.org/coffee/scaaclass.htm>. [Accessed: 10-Aug-2018].
- [3] J. D. Bustos-Vanegas *et al.*, "Developing predictive models for determining physical properties of coffee beans during the roasting process," *Ind. Crops Prod.*, vol. 112, no. September 2017, pp. 839–845, 2018.
- [4] N. T. Fadai, J. Melrose, C. P. Please, A. Schulman, and R. A. Van Gorder, "A heat and mass transfer study of coffee bean roasting," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 104, pp. 787–799, 2017.
- [5] D. Bottazzi, S. Farina, M. Milani, and L. Montorsi, "A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process," *J. Food Eng.*, vol. 112, no. 3, pp. 243–252, Oct. 2012.
- [6] W. B. Sunarharum, D. J. Williams, and H. E. Smyth, "Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective," *FRIN*, vol. 62, pp. 315–325, 2014.
- [7] L. C. Mendes, H. C. de Menezes, M. Aparecida, and A. P. da Silva, "Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability tests and {RSM}," *Food Qual. Prefer.*, vol. 12, no. 2, pp. 153–162, Mar. 2001.
- [8] SCAA, "SCAA Protocols Cupping Specialty Coffee," *Spec. Coffee Assoc. Am.*, pp. 1–10, 2015.
- [9] G. V. de Melo Pereira *et al.*, "Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review," *Food Chem.*, vol. 272, no. December 2017, pp. 441–452, 2019.
- [10] N. Yang, C. Liu, X. Liu, T. K. Degn, M. Munchow, and I. Fisk, "Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects," *Food Chem.*, vol. 211, pp. 206–214, 2016.
- [11] D. Giacalone, T. K. Degn, N. Yang, C. Liu, I. Fisk, and M. Münchow, "Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception," *Food Qual. Prefer.*, vol. 71, no. July 2017, pp. 463–474, 2018.
- [12] P. Yu, M. Y. Low, and W. Zhou, "Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 71, no. November 2017, pp. 202–215, 2018.
- [13] J. Pagès, "Collection and analysis of perceived product inter-distances using multiple factor analysis: Application to the study of 10 white wines from the Loire Valley," *Food Qual. Prefer.*, vol. 16, no. 7, pp. 642–649, 2005.
- [14] S. P. Birwal P and Y. BK, "Importance of Objective and Subjective Measurement of Food Quality and their Inter-relationship," *J. Food Process. Technol.*, vol. 06, no. 09, 2015.
- [15] J. Li, N. A. Streletskaia, and M. I. Gómez, "Does taste sensitivity matter? The effect of coffee sensory tasting information and taste sensitivity on consumer preferences," *Food Qual. Prefer.*, vol. 71, no. August 2018, pp. 447–451, 2019.
- [16] J. Liu, W. L. P. Bredie, E. Sherman, J. F. Harbertson, and H. Heymann, "Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash

- Profile," *Food Res. Int.*, vol. 106, no. November 2017, pp. 892–900, 2018.
- [17] G. Ares, R. Deliza, C. Barreiro, A. Giménez, and A. Gámbaro, "Comparison of two sensory profiling techniques based on consumer perception," *Food Qual. Prefer.*, vol. 21, no. 4, pp. 417–426, 2010.
- [18] C. Narain, A. Paterson, and E. Reid, "Free choice and conventional profiling of commercial black filter coffees to explore consumer perceptions of character," *Food Qual. Prefer.*, vol. 15, no. 1, pp. 31–41, 2004.
- [19] C. Dehlholm, P. B. Brockhoff, L. Meinert, M. D. Aaslyng, and W. L. P. Bredie, "Rapid descriptive sensory methods - Comparison of Free Multiple Sorting, Partial Napping, Napping, Flash Profiling and conventional profiling," *Food Qual. Prefer.*, vol. 26, no. 2, pp. 267–277, 2012.
- [20] M. Charles *et al.*, "Understanding flavour perception of espresso coffee by the combination of a dynamic sensory method and in-vivo nosespace analysis," *Food Res. Int.*, vol. 69, pp. 9–20, 2015.
- [21] F. M. Carvalho and C. Spence, "The shape of the cup influences aroma, taste, and hedonic judgements of specialty coffee," *Food Qual. Prefer.*, vol. 68, no. January, pp. 315–321, 2018.
- [22] H.-S. Chung, D.-H. Kim, K.-S. Youn, J.-B. Lee, and K.-D. Moon, "Optimization of roasting conditions according to antioxidant activity and sensory quality of coffee brews," *Food Sci. Biotechnol.*, vol. 22, no. 1, pp. 23–29, 2013.
- [23] K.-S. Youn and H.-S. Chung, "Optimization of the roasting temperature and time for preparation of coffee-like maize beverage using the response surface methodology," *{LWT} - Food Sci. Technol.*, vol. 46, no. 1, pp. 305–310, 2012.
- [24] Riskiono slamet and Darsef, "optimization of roasting robusta sukamakmur coffee with of response surface methodology," *BEST Int. J. Manag. Inf. Technol. Eng. (BEST UJMITE)*, vol. 2, no. 6, pp. 35–42, 2014.
- [25] A. Anisa, W. K. Solomon, and A. Solomon, "Optimization of roasting time and temperature for brewed hararghe coffee (*Coffea Arabica* L.) using central composite design," *Int. Food Res. J.*, vol. 24, no. 6, pp. 2285–2294, 2017.
- [26] K. Y. K. Madihah, A. H. Zaibunnisa, S. Norashikin, O. Rozita, and J. Misnawi, "Optimization of Roasting Conditions for High-Quality Robusta Coffee," *{APCBEE} Procedia*, vol. 4, no. 04, pp. 209–214, 2012.
- [27] J. V. Malaquias, S. M. C. Celestino, and M. F. F. Xavier, "Optimization of the roasting conditions of arabica coffee cultivated in the cerrado area of Brazil," *Brazilian J. Food Technol.*, vol. 21, no. 0, 2018.
- [28] J. J. Castrillón Castaño and G. P. Quintero Sánchez, "Optimización de la torrefacción de mezclas de café sano y brocado, en función de la temperatura de proceso y el agua de apagado," *Cenicafé*, vol. 52, no. 1, pp. 49–73, 2001.
- [29] A. Asghar, A. A. A. Raman, and W. M. A. W. Daud, "A Comparison of Central Composite Design and Taguchi Method for Optimizing Fenton Process," *Sci. World J.*, vol. 2014, 2014.
- [30] K. Y. K. Madihah, A. H. Zaibunnisa, S. Norashikin, O. Rozita, and J. Misnawi, "Optimization of Roasting Conditions for High-Quality Robusta Coffee," *{APCBEE} Procedia*, vol. 4, no. 4, pp. 209–214, 2012.
- [31] G. Ares, "Methodological challenges in sensory characterization," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 3, pp. 1–5, 2015.

- [32] E. Napping, E. Napping, and I. B. Torres, "El Napping en el análisis sensorial del café. Un caso de estudio," *XI Congr. Int. Mercados.*, no. April, 2016.
- [33] J. Pagés and F. Husson, "Multiple factor analysis with confidence ellipses: A methodology to study the relationships between sensory and instrumental data," *J. Chemom.*, vol. 19, no. 3, pp. 138–144, 2005.
- [34] M. Lelièvre-Desmas, D. Valentin, and S. Chollet, "Pivot profile method: What is the influence of the pivot and product space?" *Food Qual. Prefer.*, vol. 61, no. November 2016, pp. 6–14, 2017.
- [35] J. P. Ferraz *et al.*, "Consumer-based product characterization using Pivot Profile, Projective Mapping and Check-all-that-apply (CATA): A comparative case with Greek yogurt samples," *Food Res. Int.*, vol. 99, no. May, pp. 375–384, 2017.
- [36] L. Virgen-Navarro, E. J. Herrera-López, R. I. Corona-González, E. Arriola-Guevara, and G. M. Guatemala-Morales, "Neuro-fuzzy model based on digital images for the monitoring of coffee bean color during roasting in a spouted bed," *Expert Syst. Appl.*, vol. 54, pp. 162–169, Jul. 2016.
- [37] P. B. Pathare, U. L. Opara, and F. A.-J. Al-Said, "Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 36–60, 2013.
- [38] D. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2001.
- [39] T. A. Catelani, J. R. Santos, R. N. M. J. Páscoa, L. Pezza, H. R. Pezza, and J. A. Lopes, "Real-time monitoring of a coffee roasting process with near infrared spectroscopy using multivariate statistical analysis: A feasibility study," *Talanta*, vol. 179, no. August 2017, pp. 292–299, 2018.
- [40] O. Benítez Urbano, D. Campo Ceballos, "Evaluación de la calidad el café tostado utilizando herramientas de procesamiento digital de imágenes", *REVISTA ACCB*, vol. 1, n.º 30, pp. 32-43, dic. 2018.
- [41] N. Gutiérrez G. and O. M. Barrera B, "Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café Coffea Arabica " *Rev. Ciencias Agrícolas*, vol. 32, no. 2, p. 77, 2016
- [42] F. Erdogdu, *Optimization in Food Engineering*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.

Sobre los autores

- **Diego Andrés Campo Ceballos** Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca, Magister en sistemas Mecatrónicos de la Universidad el Brasilia - Brasil, Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Electrónica de la Universidad del Cauca. Profesor asistente de la Corporación Universitaria Comfacauca. dcampo@unicauca.edu.co, dcampo@unicomfacauca.edu.co
- **Carlos Alberto Gaviria López** Ingeniero Electrónico y de telecomunicaciones, Doctor en Automatización Avanzada y Robótica de Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor titular de la Universidad del Cauca, facultad de Ingeniería electrónica y telecomunicaciones. cgaviria@unicauca.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)