

DESARROLLO DE NARIZ ELECTRÓNICA PARA CALIDAD EN LOS PROCESOS CRÍTICOS DE TRANSFORMACIÓN DEL CACAO

Jesús Omar Vargas Flórez
Alexander Flórez Martínez
Programa ingeniería electrónica
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Correo electrónico jesus.vargas@unad.edu.co
Correo electrónico alexander.florez@unad.edu.co

Resumen—En este documento se plasma el estudio descriptivo de viabilidad en la implementación de un dispositivo multisensorial aplicado a los procesos críticos de transformación del cacao, pues se requiere indagar las necesidades tecnológicas del sector agroindustrial para que puedan potencializar y mejorar la calidad en sus cosechas, o productos comercializados, en específico el sector cacaotero, que en los últimos años ha tenido un crecimiento significativo en Colombia, y a su vez se ha convertido en una alternativa dentro de las políticas gubernamentales para resarcir los efectos del postconflicto. Como base para este estudio, se revisarán las experiencias en otros países con la implementación de los sistemas multisensoriales en la industria de los alimentos, y así mismo se revisará el impacto que puede tener el desarrollo de un sistema automatizado de bajo costo que permita hacer un análisis de caracterización sobre la calidad presentada en el producto dentro de cada una de las etapas críticas de transformación del cacao, como son el

fermentado, el secado y el tostado. El desarrollo electrónico lo conforma una matriz de multisensores de gases, un sistema de adquisición de datos y software para ejecución del proceso y captura de datos. Finalmente se implementa algoritmo machine learning no supervisado que permita clasificar clúster asociados a muestras de cacao tostado deseado y quemado.

Palabras clave— *Nariz electrónica, Aroma, jueces sensoriales, automatización de bajo costo, cacao, fermentación, secado, tostado.*

Abstract— For the development prior to a successful research process, the theory foundation and the review of the state of the art in the topics of interest should be made, since it becomes relevant to focus the experimentation to obtain reliable results. In this document the descriptive study of viability is implemented in the implementation of a multisensory device applied to the critical processes of cocoa

transformation, since it is required to investigate the technological needs of the agricultural industry sector so that they can potentiate and improve the quality of their crops, or marketed products, specifically the cocoa sector, which in recent years has had significant growth in Colombia, and in turn has become an alternative within government policies to compensate for the effects of the post-conflict. As a basis for this study, experiences in other countries with the implementation of multisensory systems in the food industry will be reviewed, and the impact of the development of a low-cost automated system that allows for a review will be reviewed. characterization analysis on the quality presented in the product within each of the critical stages of cocoa transformation, such as fermentation, drying and roasting.

• **Keywords**— *Electronic nose, Aroma, sensory judges, low cost automation, cocoa, fermentation, drying, roasting.*

I. INTRODUCCIÓN

Al hacer referencia a un proceso industrial se debe hacer énfasis al control de todas las etapas del proceso, basado en los parámetros iniciales establecidos para obtener el producto final esperado. Cada proceso en particular tiene una o muchas variables denominadas “críticas” que se deben mantener en unos valores específicos, de tal forma que el producto final se ajuste a los parámetros requeridos por el consumidor final, lo que se convierte en un patrón para mantener la calidad del mismo. En ocasiones, esas características del producto son fácilmente medibles y cuantificables, lo que las transforma en estándares, como por ejemplo en el sector dedicado a la fabricación de insumos, pero en otros sectores

productivos como en el de los alimentos, esta medida se vuelve relativa, en donde el criterio lo emite un humano, quien por comparación sensitiva (llámese visión, audición, gusto, olfato, tacto) entre los valores obtenidos y los que considera requeridos, dictamina si está cumpliendo un factor de calidad, que a su vez dependerá de la objetividad de cada individuo según su entrenamiento, y de la subjetividad de los factores externos que lo pueden afectar [1].

Por otra parte, los pequeños cultivadores de cacao requieren implementar sistemas de control de bajo costo que les permita mantener sus productos ajustados a los estándares de calidad exigidos por los compradores y los mercados en los cuales ofrecen sus productos. Dentro del proceso inicial de acondicionamiento del grano de cacao, existen tres etapas críticas en donde se evidencian las mayores pérdidas de producto, las cuales son la etapa de fermentación, la de secado y la de tostado, cada una con un aspecto específico que conlleva a que el grano ofrecido sea considerado de baja calidad y se pague a menor precio, o que simplemente se considere no apto, y se pierda porque ya no se puede comercializar[2].

En este artículo se mostrarán los avances tratará de indagar la viabilidad que puede tener el desarrollo de un sistema multisensorial aplicado a los procesos críticos de transformación del Cacao en Colombia, y así mismo incentivar la investigación de nuevos métodos para la parametrización de características en alimentos, que hasta el momento son medibles con un alto grado de subjetividad, y de esta forma impulsar al sector agrícola para que se estimule la incorporación de nuevas tecnologías que permitan nuevos ejes de desarrollo social, tecnológico y empresarial en la región.

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

Las narices electrónicas se componen de tres elementos principales: un sistema de muestreo, un sistema de detección y un procesamiento de datos y algoritmos de reconocimiento de patrones. La siguiente figura muestra el diagrama esquemático de un sistema de olfato electrónico.

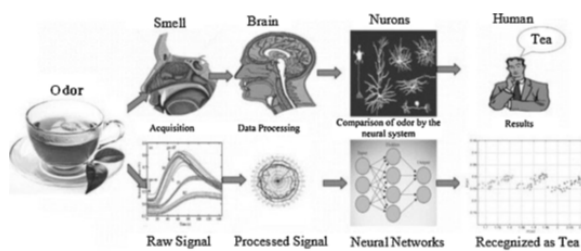


Figura 1. Analogía entre olfato biológico y el olfato electrónico. [3]

Otro de los motivos por los cuales estos dispositivos electrónicos fueron incorporándose gradualmente dentro de la industria de procesamiento de alimentos, es porque en un comienzo fueron desarrolladas para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que estos se consideran costosos en el momento del proceso de entrenamiento, así como difíciles al momento de trasladarlos y transportarlos, y algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por el cansancio, estado anímico, el clima y otros factores externos.

Algunas veces estos paneles de expertos se han apoyado en cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas, no sólo clasificando olores sino también cuantificándolos, todo esto con un elevado costo en tiempo y en dinero.[4].

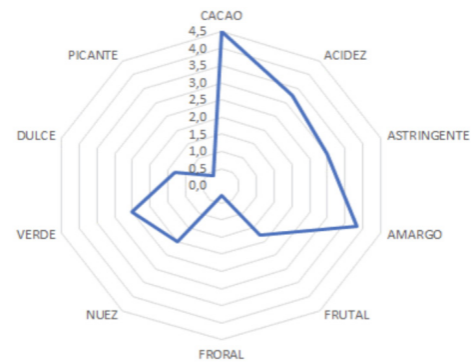


Figura 2. Perfil sensorial modelo I-CCN51 global [5]

Dentro del proceso de fabricación del chocolate artesanal se destacan las siguientes fases y etapas:



Figura 3. Diagrama de proceso artesanal para la producción de chocolate y sus derivados.

Fuente: Los autores

Así pues, como objetivo principal de esta investigación se planteaba el desarrollo y la implementación de una nariz electrónica de bajo costo, dentro de los procesos críticos de transformación del cacao, donde se presentan las mayores pérdidas de los pequeños productores, de tal forma que se puedan caracterizar los granos según las condiciones que hayan sido tenidas en el transcurso del proceso, y a su vez comparadas con el criterio de los jueces sensoriales.

III. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

A. Proceso Innovador

El desarrollo del dispositivo denominado nariz electrónica para el control de calidad de cacao, tiene como finalidad adquirir una huella digital olfativa característica de las muestras de grano de cacao en la etapa de secado o tostado con la capacidad de discriminar aquellas que cumplen o no con el aroma deseado, dentro de unos parámetros de calidad determinado por los jueces sensoriales.

El dispositivo electrónico está conformado por tres etapas:

- **Matriz multisensorial:** teniendo en cuenta la discriminación de los volátiles presentes en las almendras de cacao dentro de los procesos de secado y tostado, se efectúa una preselección de sensores, con la capacidad de detectar partes por millón de la sustancia, y se incluyeron sensores adicionales para la detección de algunas sustancias que se pueden considerar no deseadas dentro del proceso de evaluación de calidad. De esta forma, la matriz sensorial quedó conformada por un conjunto de 9 sensores de gases del fabricante MQ sensor, cuyas referencias son: se anexan a continuación: MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135

- **Sistema de adquisición de datos:** se realiza la selección del en microcontrolador arduino MEGA, debido al número de terminales E/S digitales y análogos. La función principal de la tarjeta arduino es recibir la información de la matriz de multisensores y realizar el accionamiento hacia los actuadores del sistema, como son válvulas y bomba para flujo de aire.

- **Software de monitoreo:** la plataforma de desarrollo es Labview, siendo un entorno gráfico de alto nivel. El software incluye un menú desplegable que permite seleccionar el puerto de comunicación para

ser conectado al sistema de adquisición de datos, igualmente permite la operatividad del sistema contabilizando la ejecución del tiempo de forma automática para lograr adquirir la data proveniente de cada muestra de cacao. la figura ilustra interfaz gráfica de usuario principal

Los tiempos asociados son:

- Tiempo de limpieza de la cámara
- Tiempo de inyección del volátil
- Tiempo de captura de data
- Tiempo de recuperación

Sistema de muestreo

Está compuesto por varias etapas, cada una con un modo de operación controlado, que garantiza una lectura correcta y una data confiable.

Etapa 1 - Alistamiento de muestras: el operario debe ingresar la muestra para ser analizada en un frasco de vidrio de 20ml, en el cual se deja concentrar el aroma por 3 horas esperando se forme un “espacio de cabeza”.

Etapa 2 - Extracción de volátiles: Se utilizó una jeringa para proceder a realizar la extracción del compuesto volátil.

Etapa 3 - Inyección del volátil: Se inyecta el volumen del volátil al interior de la cámara en donde se aloja la matriz multisensorial.

Etapa 4 - Ejecución del aplicativo de software para la captura de la información, y posterior exportación de la data a excel.

Implementación machine learning con Python para procesamiento de datos

Teniendo en cuenta la cantidad de datos que se procesan, se implementa el análisis de

componentes principales (PCA) siendo una técnica matemática utilizada para reducir la dimensionalidad, lo que permite conservar la mayor parte de la información de la data.

PCA es un método muy útil de aplicar previa utilización de otras técnicas estadísticas tales como regresión, clustering. Aun así, no hay que olvidar que sigue siendo necesario disponer del valor de las variables originales para calcular las componentes. Como la varianza de una variable se mide en su misma escala elevada al cuadrado, si antes de calcular las componentes no se estandarizan todas las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1, aquellas variables cuya escala sea mayor dominarán al resto. De ahí que sea recomendable estandarizar siempre los datos [6]



Figura 4. Almendras de cacao tostado para muestreo

Fuente: Los autores

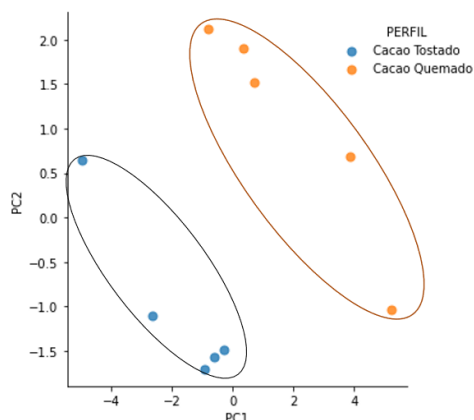


Figura 5. Clústeres asociados a muestras de cacao tostado, implementando análisis de componentes principales PC1=76.2%
PC2=21%

Fuente: Los autores

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de las covarianzas en la primera componente PC1 es del 76.29% y la componente PC2=21% para un total del 97.29% de las muestras asociadas al tostado de cacao deseado y quemado. El pre-procesado implementado es escalador estándar, se observan resultados deseados, no hay solapamiento entre las muestras asociadas a los clústeres.

La nariz electrónica se ha convertido en un dispositivo de apoyo en los centros de acopio cacaoteros, en donde se pueden agilizar los procesos de inspección de calidad, ya que reduce los tiempos y los costos para el análisis de las muestras.

Se puede optimizar la matriz de sensores disminuyendo la cantidad de información procesada al interior del sistema.

Se debe reacondicionar el diseño de las cámaras de muestreo y de sensado, en relación a la capacidad volumétrica y la manera como fluye el volátil al interior de las mismas.

AGRADECIMIENTO

Finca Jerusalem en Lebrija, Finca La Carola en el Carmen de Chucuri, Agroindustria Villadosa, FEDECACAO. Grupo investigación GIDESTEC, Grupo de investigación GIAUNAD. Grupo de investigación en sistemas multisensoriales UNIPAMPLONA.

REFERENCIAS

[1] L. F. Quintana-Fuentes, S. Gómez-Castelblanco, A. García-Jerez, y N. C. Martínez-Guerrero, «Conformación de un panel de jueces en entrenamiento para el análisis sensorial de licores de cacao obtenidos de diferentes modelos de siembra», *Entramado*, vol. 12, n.º 2, pp. 220-227, dic. 2016.

[2] M. Ventura, A. María, J. González, O. Rodríguez, y J. Almonte, «Caracterización de los atributos de calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) del municipio de Castillo», *Revista Agropecuaria y Forestal*, vol. 3, n.º 1, pp. 55-60, 2014.

[3] S. Kiani, S. Minaei, y M. Ghasemi-Varnamkhasti, «Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review», *Journal of Applied Research on*

Medicinal and Aromatic Plants, vol. 3, n.º 1, pp. 1-9, mar. 2016.

[4] I. Moreno, R. Caballero, R. Galán, F. Matía, y A. Jiménez, «La Nariz Electrónica: Estado del Arte», *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 6, n.º 3, pp. 76-91, jul. 2009.

[5] L. F. Quintana Fuentes, A. García Jerez, y E. Moreno Martínez, «Perfil sensorial de cuatro modelos de siembra de cacao en Colombia», *Entramado*, vol. 14, n.º 2, pp. 256-268, jun. 2018.

[6] J. Amat, «Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE», 2017. https://www.cienciadedatos.net/documentos/35_principal_component_analysis (accedido sep. 15, 2020).

Autores

Jesús Omar Vargas Flórez, Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y Especialista en Automatización Industrial de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga. Msc(c) Controles Industriales. Más de 10 años de experiencia como docente, 12 años de experiencia en el sector industrial ahora como asesor y consultor, enfocado al desarrollo de proyectos en el área de electrónica. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la UNAD,

10 años de experiencia como docente, 7 años de experiencia en el sector industrial. Actualmente es docente e investigador en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

Alexander Flórez Martínez, Ingeniero en Instrumentación y Control Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Automatización Industrial de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, Magister en Controles Industriales con la Universidad de Pamplona,