

# Implementación de un sistema de olfato electrónico para la adquisición de volátiles provenientes de almendras de cacao seco operado mediante el uso de una interfaz gráfica en Labview.

## Implementation of an electronic smell system for the acquisition of volatiles from dry cocoa almonds operated through the use of a graphical interface in Labview.

Alexander Flórez-Martínez<sup>1</sup>, Jesus Omar Vargas-Flórez<sup>2</sup>, Harold Esneider Perez-Waltero<sup>3</sup>,  
Lucas Fernando Quintana-Fuentes<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Colombia

ORCID: <sup>1</sup>[0000-0003-3670-7692](https://orcid.org/0000-0003-3670-7692), <sup>2</sup>[0000-0002-4509-8764](https://orcid.org/0000-0002-4509-8764), <sup>3</sup>[0000-0003-3042-9169](https://orcid.org/0000-0003-3042-9169), <sup>4</sup>[0000-0003-4408-0906](https://orcid.org/0000-0003-4408-0906)

Recibido: 06 de julio de 2020.

Aprobado: 11 de noviembre de 2020.

**Resumen**— El presente artículo centra la investigación en la implementación de un sistema de olfato electrónico, construido con 9 sensores de gases del fabricante MQ, los cuales tienen la función de percibir los volátiles de almendras de cacao seco. Los actuadores del sistema lo conforman dos válvulas solenoides y una bomba para flujo de aire encargada de hacer circular el volátil al interior de la cámara de medida o cámara de sensores. El control automático se realiza mediante el uso de PC y software LabView. Finalmente, la conexión entre el PC y la matriz de sensores de gases, se realiza mediante el uso de una tarjeta de adquisición Arduino MEGA, con resolución de 10 bits. El desarrollo del sistema surge debido a que se desea monitorear la calidad del aroma del grano de cacao trayendo beneficios para el productor al momento de realizar la venta del producto, garantizando el buen aroma que caracteriza el cacao colombiano a nivel mundial, si el aroma no es agradable directamente afecta el precio de venta o probablemente no se pueda comercializar, en otros escenarios el veredicto de calidad queda sometido a la subjetividad humana.

**Palabras Claves:** olfato electrónico, LabView, sensores de gases MQ, adquisición de datos, Arduino.

**Abstract**— This article focuses the research on the implementation of an electronic smell system, built with 9 gas sensors from the manufacturer MQ, which have the function of perceiving the volatiles of dry cocoa almonds. The actuators of the system are made up of two solenoid valves and an air flow pump in charge of circulating the volatils inside the measurement chamber or sensor chamber. Automatic control is done through the use of PC and LabView software. Finally, the connection between the PC and the gas sensor matrix is made using an Arduino MEGA acquisition card, with 10-bit resolution. The development of the system arises because it is desired to monitor the quality of the aroma of the cocoa bean, bringing benefits to the producer when making the sale of the product, guaranteeing the good aroma that characterizes Colombian cocoa worldwide, if the aroma does not it is pleasant directly affects the sale price or probably can not be marketed, in other scenarios the quality verdict is subject to human subjectivity.

**Keywords:** electronic nose, LabView, MQ gas sensors, data acquisition, Arduino.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alexander.florez@unad.edu.co (Alexander Flórez Martínez).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>).

Forma de citar: A. Flórez-Martínez, J. O. Vargas-Flórez, H. E. Perez-Waltero y L. F. Quintana-Fuentes, "Implementación de un sistema de olfato electrónico para la adquisición de volátiles provenientes de almendras de cacao seco operado mediante el uso de una interfaz gráfica en Labview", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 8, no. S1, pp. 167-177, 2020.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha planteado el uso de instrumentos analíticos que intentan emular el proceso de identificación de aromas del que dispone el cuerpo humano mediante la construcción de sistemas de olfato electrónico, más conocidos como narices electrónicas, para la extracción de los rasgos característicos de los alimentos, porque ofrecen una alternativa rápida y no destructiva para detectar el aroma, y por ende, pueden ser usadas en diferentes campos con ventajas técnicas y económicas frente a otros procedimientos como la cromatografía de gases o el análisis sensorial [1].

El desarrollo de la presente investigación socializa la implementación de un sistema multisensorial conformado por 9 sensores de gases del fabricante MQ, los cuales tienen la función de sensar un conjunto de volátiles procedente de muestras de cacao seco.

Las muestras de cacao están alojadas en diales herméticos cuya función es concentrar el aroma característico de muestras de cacao de buena calidad e infectados con monilia.

La concentración del volátil presente en los diales se extrae mediante una jeringa de 20ml, la cual es inyectada a la cámara de medida conformada por el sistema multisensorial, cada sensor MQ, envía una señal de salida en voltaje de 0 a 5 Voltios. Adicional se implementa un sistema de adquisición de datos basado en microcontrolador Arduino Mega, siendo una solución asequible por el bajo costo.

Como sistema de acondicionamiento de señal para la activación de los actuadores se emplea una tarjeta de reles, encargada de energizar las electroválvulas y bomba de diafragma para impulsar el flujo de aire.

Finalmente se diseña una interfaz gráfica de usuario implementando el software LabVIEW siendo un lenguaje de programación gráfico, adoptado en la industria y en la academia, como estándar para el desarrollo de sistemas de instrumentación virtual, dado su poderoso conjunto de bibliotecas de funciones que permite el desarrollo de algoritmos complejos de procesamiento de señales, además de permitir la comunicación con cualquier protocolo de comunicaciones e interfaces de hardware y software existentes. Los sistemas de instrumentación virtual programados mediante el uso del software LabVIEW, permiten el monitoreo y control de cualquier variable física que desee ser procesada por computadora, y realizan la implementación de algoritmos matemáticos con el objeto de visualizar resultados gráficamente [2].

National Instruments lanzó una toolkit de manera gratuita llamada LIFA (Labview Interface for Arduino) la cual permite usar el arduino como una tarjeta de adquisición de datos [3].

Arduino es una plataforma de electrónica abierta (open source) para la implementación de prototipos rápidos, basada en una board simple de entradas y salidas que implementa el lenguaje Processing. El precio de ésta le permite ser asequible incluso a estudiantes, siendo una gran alternativa a las tarjetas de adquisición de National Instruments [4].

El objetivo de la presente investigación tiene como alcance el diseño e implementación del sistema de olfato electrónico integrando la cámara de medida de volátiles, sistema actuación, adquisición de datos y el diseño de la interfaz gráfica en labview para la operación, control y almacenamiento de datos en pc para instalación en sistema operativo Windows.

## II. MARCO TEÓRICO

### *a. La inteligencia artificial en la actualidad*

Desde Alan Turing, la inteligencia artificial como “ciencia que trata de establecer las bases para el posterior desarrollo de un conjunto de técnicas destinadas a dotar a las máquinas de una cierta autonomía”, ha representado un sueño para el hombre. Sus esfuerzos para lograr que la máquina sea lo más autónoma posible no han cesado nunca. Sin embargo, con el advenimiento del llamado progreso tecnocientífico, en los últimos años el desarrollo de la inteligencia artificial nos hace cuestionar sobre el futuro que como humanidad nos espera [5].

### *b. Automatización en el control de calidad de alimentos*

En los últimos años se ha asistido a una profunda restauración en la industria alimentaria. Durante la mayor parte del siglo XX los esfuerzos en investigación y desarrollo fueron encaminados a optimizar la producción desde un punto de vista cuantitativo. Actualmente, la existencia de excedentes de producción y la excesiva competencia ha propiciado un cambio de mentalidad en el que se prima la calidad por encima de la cantidad. Por ese motivo, el control de calidad de los alimentos está adquiriendo una importancia capital. Además, se trata de una actividad que, lejos de ser puntual, se integra cada vez más en todo el proceso productivo, abarcando desde el inicio de la producción hasta la distribución del producto final en los mercados de consumo. Este cambio de mentalidad, si bien es general en toda actividad relacionada con la alimentación es crítico en las producciones frutícolas. La competencia de países desarrollados no para de crecer como consecuencia, el precio final en los mercados es elevado y la viabilidad (venta) del producto solo se justifica si va acompañado de una garantía de calidad [6].

### *c. Aplicación de sensores de gases implementando hardware Arduino*

En procesos de aprovechamiento de la biomasa/residuos para la obtención de energía, se generan mezclas de gases combustibles, cuya composición y caudal necesitan ser determinados. También se generan pequeñas cantidades de gases contaminantes, que igualmente necesitan ser cuantificados. Asimismo, en el día a día existen fuentes móviles de contaminación (donde se incluyen diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones, aviones). La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce gases contaminantes peligrosos y/o nocivos para la salud (por ejemplo, los óxidos de nitrógeno, NOx) y otros que son los causantes del llamado “Calentamiento global” (por ejemplo, dióxido de carbono, CO2). Otra aplicación para la que puede ser interesante la medición de ciertos gases es para determinación de la calidad del aire en interiores (por ejemplo, oficinas de trabajo, locales comerciales, talleres). Sistemas de hardware basado

en Arduino para la detección de gases, son capaces de registrar los datos medidos usando sensores de bajo coste. Los gases contaminantes para los cuales se han encontrado sensores económicos y que se puedan implementar mediante Arduino son: Metano (CH<sub>4</sub>), Monóxido de Carbono (CO), y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), otros tipos de sensores que o bien resultan menos económicos (por ejemplo, los sensores de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, hidrocarburos y otros) [7].

#### d. *Sistemas de olfato electrónico para la agroindustria*

Los sistemas de olfato electrónico, más comúnmente conocidos en la industria agroalimentaria como narices electrónicas, son considerados hoy en día como una técnica de análisis de gran aplicabilidad y una práctica no destructiva diseñada para determinar, reconocer e identificar niveles muy bajos de sustancias químicas volátiles. Un arreglo de sensores electroquímicos crea una huella única digital del alimento, haciendo posible el control de calidad, el desarrollo de productos, la caracterización, clasificación y diferenciación por origen y por estado de madurez, la evaluación de su tiempo de vida útil y también como herramienta de control para identificar problemas que amenazan la comercialización, como la falsificación y la adulteración. Algunas técnicas implementadas en los sistemas de olfato electrónico se basan en estadística multivariada e inteligencia artificial. Los datos recogidos con la nariz electrónica son objetivos, reproducibles, confiables y obtenidos en tiempo real. Los sensores identifican compuestos volátiles por grupos funcionales y mediante las técnicas de análisis estadístico multivariado garantizan su utilidad en diferentes aplicaciones industriales [8].

La figura 1, ilustra circuito de acondicionamiento de señal de un sensor de gas, igualmente se relaciona la ecuación para el cálculo de la variación de la resistencia del sensor  $R_s$ .

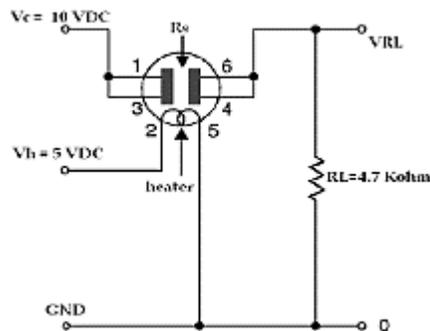


Figura 1: Circuito de acondicionamiento del Sensor de gas.  
Fuente: [9].

$$R_S = \left( \frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) R_L \quad (1)$$

$V_C$  = Voltaje de alimentación del sensor

$V_h$  = Voltaje de heater

$R_L$  = Resistencia de carga

Con el afán de buscar condiciones de vida más seguras y confortables, se han construido robots para que replacen al hombre en ciertos tipos de tareas. A estos robots se les ha provisto de dispositivos que emulan algunos de los sentidos humanos, garantizando así que algunas tareas se realicen de manera más segura, confiable y menos costosa. Entre estos sentidos se destacan la visión, la audición, el olfato y el gusto. En este trabajo se revisan las narices electrónicas, sus orígenes, aplicaciones, funcionamiento e importancia como dispositivo suministrador de información olfativa a circuitos de control. Los orígenes de la nariz electrónica se remontan a los años 60, cuando la compañía Bacharac Inc., construyó un dispositivo conocido con el nombre de Sniffer, el cual constaba de un solo sensor de gas y, por lo tanto, no se consideró una nariz electrónica. En la década de los 80, surgen dos grupos de investigadores, en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña y en el Argonne National Laboratory (ANL) en Estados Unidos. Krishna Persaud y George Dodd, realizaron la primera publicación relacionada con las narices electrónicas en 1982 (Persaud y Dodd, 1982), orientaron sus estudios en entender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxidos metálicos, y luego ampliaron su investigación a sensores basados en polímeros conductores, mientras que, el otro grupo propuso un aparato para detectar, identificar y medir una amplia variedad de productos químicos y mezclas transportadas por ferrocarriles, barcos y camiones [10].

La nariz electrónica (ES) es un instrumento de medida no invasivo que ofrece la ventaja de realizar un análisis y control sobre el estado actual de los alimentos, sin destruir el producto final. Tiene la capacidad analítica que permite, en poco tiempo, detectar, compuestos orgánicos volátiles de los alimentos, responsables de su olor y aroma, permitiendo la aplicación de esta tecnología en el control de la calidad alimentaria [11].

La arquitectura de un E-nose también se aplica en la detección de gases para la detección de componentes o mezclas de gases / vapores, que desempeña un papel cada vez más importante en el propósito general en la detección de gases en muchas aplicaciones, como análisis de olores, control de calidad de alimentos, protección del medio ambiente. El principal componente de hardware de un E-nose es una matriz de sensores de gas, es decir, sensores que interactúan con una amplia gama de productos químicos con diferentes concentraciones. En consecuencia, el análisis estimula los sensores en la matriz, lo que provoca una respuesta característica llamado "huella digital". El componente de software principal de un E-nose es su extracción y patrón de características algoritmos de reconocimiento, que procesan la respuesta característica del sensor, extraen y seleccionan información para realizar el reconocimiento de patrones [12].

Hoy, las narices electrónicas son instrumentos, basados en la interacción de sensores semi-selectivos, la figura 2, ilustra algunos componentes que hacen parte de una nariz electrónica [13].

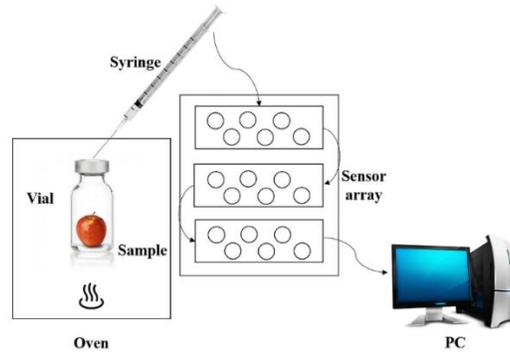


Figura 2: Componentes de la nariz electrónica.  
Fuente: [13].

### e. Preprocesamiento de datos

Es importante realizar preprocesado de datos para preparar la señal para posterior procesamiento, generalmente se extrae características de los datos en términos del cambio estático en la resistencia del sensor. A fin de que optimizar el rendimiento de ese tipo específico de sensor de olor el parámetro utilizado:

$$x_{ij} = (y_{ij} - y_i) \quad (2)$$

Donde  $y_i$  o señal de línea de base es el estado estacionario, respuesta o la conductancia (resistencia inversa) de los sensores  $i$  en el aire, y  $y_{ij}$  es la conductancia de el sensor  $i$  en presencia de olor [14].

### f. Métodos de procesado de datos

Análisis de componente principales (PCA): Es un método que supone colinealidad entre las variables que intervienen. En otras palabras, se trata de un algoritmo lineal que puede funcionar incorrectamente en procesos altamente no lineales como pueden ser las interacciones químicas entre sensores y compuestos volátiles. De todas formas, funciona sorprendentemente bien en muchas aplicaciones con narices electrónicas, en las que las concentraciones de volátiles no son muy elevadas y el comportamiento de los sensores es por lo general lineal. La compresión de datos y extracción de información relevante se hace más necesaria en aquellas situaciones en las que existe una falta de selectividad en cada uno de los sensores que componen la matriz. Por ese motivo el análisis de componentes principales es un método idóneo para explotar el concepto de sensibilidades solapadas que se aplica en la mayoría de las narices electrónicas [11].

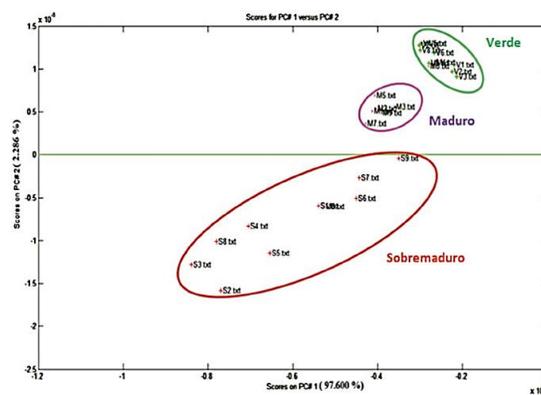


Figura 3: Discriminación de PCA con los tres índices de madurez del tomate de árbol.  
Fuente: [11].

## III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

El sistema de olfato electrónico esta conformado por una cámara de medida, módulo de actuadores, sistema de adquisición de datos e interfaz gráfica de usuario para la operabilidad y captura de data. La figura 4, ilustra las partes que conforman el sistema en general.



Figura 4: Sistema de olfato electrónico para adquisición de volátiles de muestras de cacao seco.  
Fuente: Elaboración propia.

Cámara de medida: lo integra una matriz de 9 sensores de gases, el material acero inoxidable, la función principal concentrar los compuestos volátiles recibidos por cada muestra de cacao seco. Los sensores convierten la lectura de compuestos volátiles en una salida en voltaje, que será enviada a un sistema de adquisición de datos.

La figura 5, ilustra el diseño de la cámara de medida.

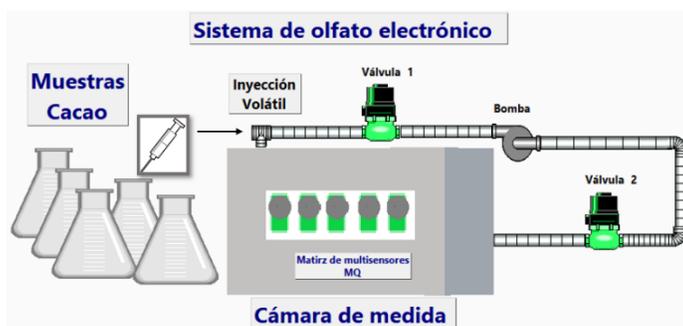


Figura 5: Cámara de medida, sistema de olfato electrónico para medición de volátiles de muestras de cacao seco.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se observa la cámara de medida implementada, en los laterales se ubican los sensores de gases encargado de percibir los compuestos volátiles por cada muestra de cacao.

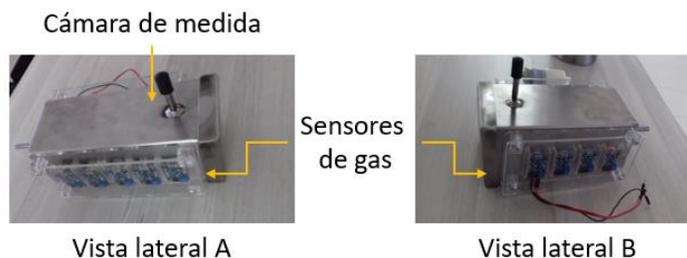


Figura 6: Cámara de medida del sistema de olfato electrónico.  
Fuente: Elaboración propia.

La matriz de sensores que conforman la cámara de medida se describe en la tabla 1.

Tabla 1: Sensores MQ que conforman la cámara de medida.

MQ-2	Sensor adecuado para detectar GLP, propano, metano, alcohol, hidrogeno, humo.
MQ-3	Muy sensible al alcohol y de menor sensibilidad a la bencina, tambien es sensible a gases como GLP, Hexano, CO, CH4 pero con sensibilidad muy baja, la cual se puede despreciar si hay poca concentración.
MQ-4	Gas Metano, puede detectar concentraciones desde las 300 hasta las 10000 ppm.
MQ-5	Deteccion de GLP, propano, butano
MQ-6	Es adecuado para detectar la presencia de Gas LP, compuesto principalmente por Propano y Butano y Gas Natural (Metano) en el aire. El sensor puede detectar concentraciones de gas entre 200 y 1000 ppm. Otros compuestos: Monoxido de carbono y alcohol.
MQ-7	Sensor de alta sensibilidad al monoxido de carbono (CO), pero tambien es sensible al H2.
MQ-8	Adecuado para detectar concentraciones de hidrógeno en el aire. Puede detectar concentraciones de gas de hidrógeno en cualquier lugar de 100-10000 ppm.
MQ-9	Sensor de Monóxido de Carbono (CO) y de gas inflamable.
MQ-135	Se utilizan en equipos de control de calidad del aire, son adecuados para la detección de NH3, NOx, alcohol, benceno, humo, CO2, etc.

Fuente:[15].

Implementación de un sistema de olfato electrónico para la adquisición de volátiles provenientes de almendras de cacao seco operado mediante el uso de una interfaz gráfica en Labview

Módulo de actuadores: lo integran una bomba para impulsar el flujo de aire y hogenizar los compuestos al interior de la cámara de medida y dos electroválvulas normalmente cerradas con voltaje de alimentación de 12 Voltios.

Sistema de adquisición de datos: basado en hardware Arduino Mega, algunas características: dispone de 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar [16]

Se implementa la placa Arduino Mega debido al número de canales de entrega análogo, del cual se utilizan 9 provenientes de cada sensor de gas que integra la matriz alojada en la cámara de medida.

Interfaz grafica de usuario: mediante el uso del software LabView versión 2018 se realiza el control y adquisición de datos del sistema de olfato electrónico. La figura 7, ilustra ventana principal del aplicativo, que realizara la captura de data de muestras de cacao seco.



Figura 7: Aplicativo de software LabView NOSE-V1. Fuente: Elaboración propia.

El software dispone de un menú desplegable en la pantalla principal, el cual permite al usuario informar el método para realizar el proceso de medida de muestras asociadas.

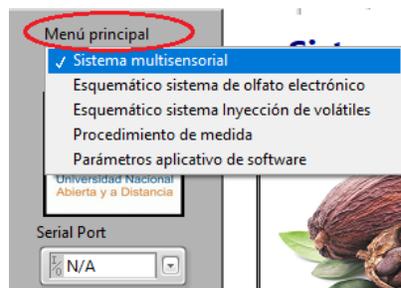


Figura 8: Menu principal aplicativo de software LabView NOSE-V1. Fuente: Elaboración propia.

La comunicación se realiza por puerto serial, el usuario debe conectar la tarjeta de adquisición Arduino y seleccionar en el menú el puerto de conexión asignado.

Nota: En caso no establezca conexión entre el software y la tarjeta Arduino, cargue nuevamente el firmware del dispositivo, mediante el uso de la aplicación Maker Hub – LINX, la figura 9, ilustra ejecución de la librería MakerHub.

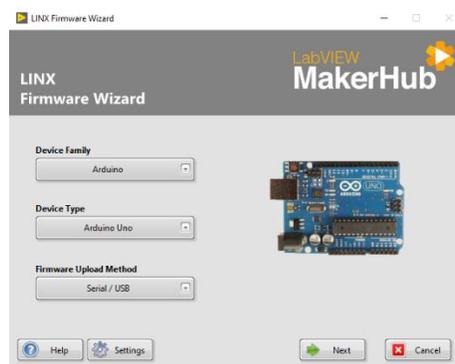


Figura 9: Librería MakerHub para Arduino. Fuente: Elaboración propia.

Puede confirmar la correcta comunicación entre labview y arduino, ejecutando el aplicativo de prueba, visualice el led del pin 13 que esta conectado por defecto en la placa Arduino y pulse el led de control de la interfaz grafica, finalmente observe figura 10, si al pulsar el control boleano, prende y apaga el led embebido en la tarjeta Arduino.

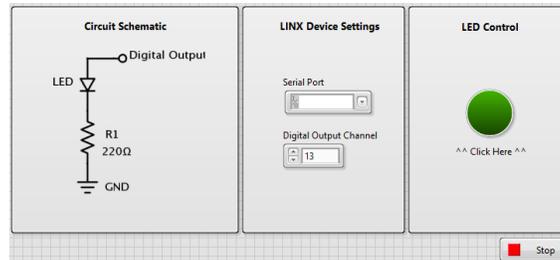


Figura 10: Aplicativo de prueba para verificar la comunicación entre LabVIEW y Arduino.  
Fuente: Elaboración propia.

Una vez retorna al programa principal y seleccione en el menú, la opción esquemático de olfato electrónico ver figura 11, allí se relaciona cada uno de los bloques que conforman el sistema medición de volátiles, las etapas que lo integran son: la matriz multisensorial que contiene sensores de gases del fabricante MQ, sistema de adquisición de datos Arduino y finalmente equipo de computo el cual permite realizar la interacción con el usuario y almacenamiento de la data.

### Esquemático sistema de olfato electrónico Aplicado al proceso secado del cacao



Figura 3. Matriz multisensorial.

Figura 4. Tarjeta de adquisición

Figura 5. Software de procesamiento.

Figura 11: Etapas que conforman el dispositivo de medición de volátiles.  
Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de medida: se realizan cuatro etapas fundamentales, la primera corresponde a la preparación de muestras, donde se aloja aproximadamente 20 gramos de cacao seco en mezcla, en viales totalmente herméticos, esto permite generar espacio de cabeza. La figura 12 ilustra muestras de cacao seco.



Figura 12: Muestras de cacao seco alojadas en viales herméticos.  
Fuente: Elaboración propia.

Etapas 2: se utiliza una jeringa para extraer el 20ml del compuesto volatil producido por las muestras de cacao seco.

Etapas 3: se procede a inyectar los 20ml del volatil en la cámara de medida, el usuario desde el aplicativo tiene la posibilidad de visualizar el procedimiento.

Etapas 4: se inicia el proceso de captura de forma automática, según los tiempos establecidos. La figura 13, ilustra las etapas del proceso de medición de volátiles.

### Procedimiento de medida

	<b>1. Etapa de preparación de muestras</b>	Ingrese en el frasco de vidrio hermético, las almendras de cacao con los siguientes parámetros: Peso 20 gramos. Tiempo: 3 horas.	<b>4. Parámetros aplicativo de software</b>	Ingrese nombre del archivo Modo de operación limpieza: 5 minutos. Modo de operación Visualización y captura de datos: 5 minutos. Modo de establecimiento: 5 minutos.
	<b>2. Extracción de volátiles</b>	Utilice una jeringa para extracción de volátiles: Volumen aproximado 20ml.		
	<b>3. Inyección de volátiles</b>	inyecte el volumen de 20ml en la matriz multisensorial.		

*Nota Para la ejecución del software, verifique la correcta conexión de la fuente de alimentación, cable USB conectado al equipo de cómputo y sistema de adquisición, matriz de sensores conectados al sistema de adquisición de datos.*

Figura 13: Procedimiento de medida.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, las lecturas de las señales provenientes de las muestras cacao seco, se pueden visualizar desde la interfaz gráfica de usuario, es importante asignar un nombre para guardar la data adquirida por cada muestra, en la figura 14, se ilustra la huella olfativa generada.

### Parámetros nariz electrónica para el control de calidad en el proceso de manufactura del cacao

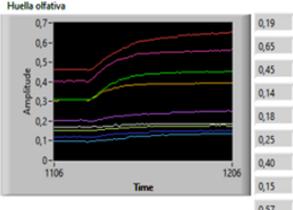
**Cconfiguración de operación**

Tiempo de Limpieza  
300 Segundos

Tiempo Inyección del volátil  
300 Segundos

Tiempo de captura de data  
81 Segundos

Tiempo recuperación  
0 Segundos



**Importante**  
1. Verifique que el recipiente esta completamente tapado.

Ingrese nombre del archivo  
SecoFsoM1.xlsx

Figura 14: Huella digital de muestra de cacao seco.

Fuente: Elaboración propia.

## IV. RESULTADOS ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Una vez adquirido los datos, se proceden a realizar algunas gráficas de muestras de cacao seco, adquiridas, las figuras 15,16,17,18,19 ilustran algunos resultados.

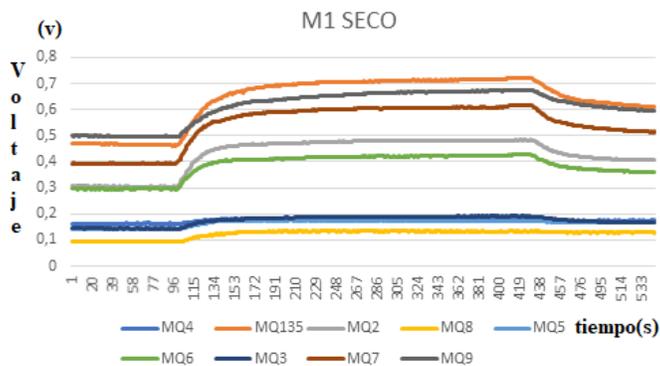


Figura 15: Respuesta de la matriz de sensores de gas ante compuesto volatil de la primera muestra de cacao seco.

Fuente: Elaboración propia.

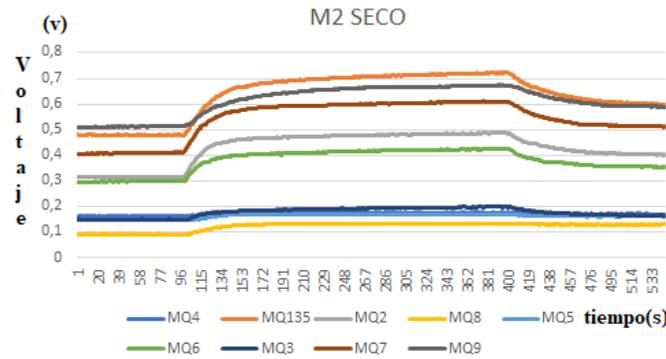


Figura 16: Respuesta de la matriz de sensores de gas ante compuesto volatil de la segunda muestra de cacao seco. Fuente: Elaboración propia.

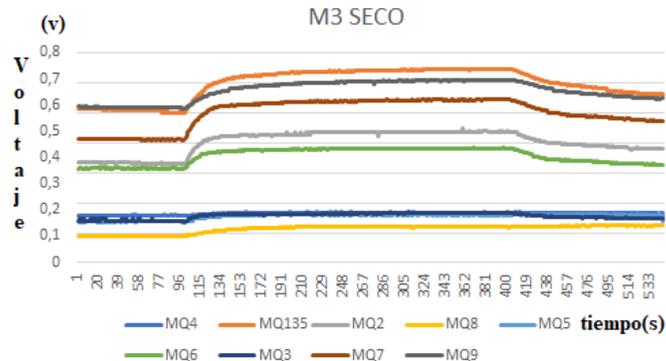


Figura 17: Respuesta de la matriz de sensores de gas ante compuesto volatil de la tercera muestra de cacao seco. Fuente: Elaboración propia.

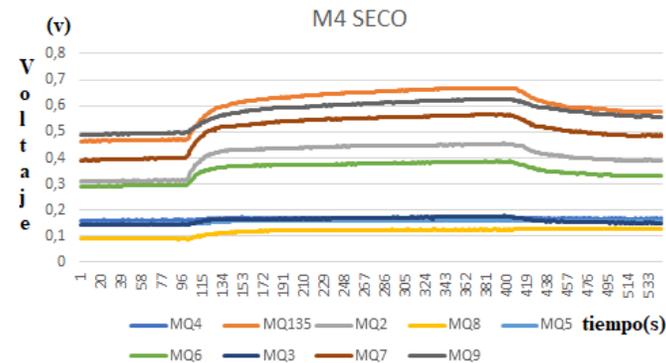


Figura 18: Respuesta de la matriz de sensores de gas ante compuesto volatil de la cuarta muestra de cacao seco. Fuente: Elaboración propia.

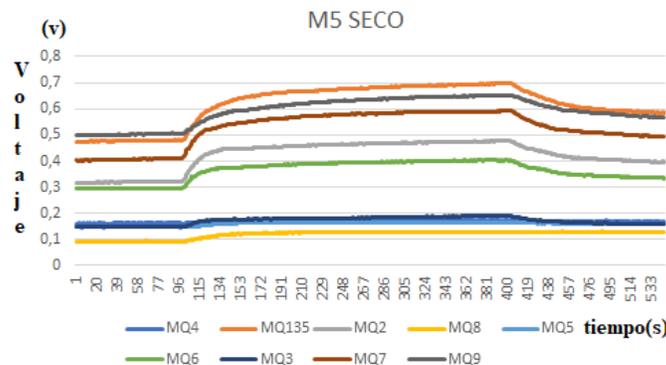


Figura 19: Respuesta de la matriz de sensores de gas ante compuesto volatil de la quinta muestra de cacao seco. Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos se puede analizar que son 5 sensores que responden con mayor amplitud al ser sometidos por cada muestra de cacao seco, estos son, MQ135, MQ9, MQ7, MQ2, MQ6, y en menor amplitud de respuesta MQ3, MQ5, MQ8.

Características de los sensores que presentan mayor amplitud en voltaje:

MQ-135: monitoreo de calidad del aire, son adecuados para la detección de NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, alcohol, benceno, humo, CO<sub>2</sub>, etc.

MQ-9 Sensor de Monóxido de Carbono (CO) y de gas inflamable.

MQ-7 Sensor de alta sensibilidad al monóxido de carbono (CO), pero también es sensible al H<sub>2</sub>.

MQ-2 Sensor adecuado para detectar GLP, propano, metano, alcohol, hidrógeno, humo.

MQ-6 Es adecuado para detectar la presencia de Gas LP, monóxido de carbono y alcohol.

Sensores con baja amplitud de respuesta:

MQ-3 Muy sensible al alcohol y de menor sensibilidad a la bencina, también es sensible a gases como GLP, Hexano, CO, CH<sub>4</sub> pero con sensibilidad muy baja, la cual se puede despreciar si hay poca concentración.

MQ-5 Detección de GLP, propano, butano.

MQ-8 Adecuado para detectar concentraciones de hidrógeno en el aire. Puede detectar concentraciones de gas de hidrógeno en cualquier lugar de 100-10000 ppm.

## V. PROPUESTA DE SOLUCIÓN O MEJORAS

Con los resultados obtenidos en una posterior publicación se darán a conocer algunas técnicas machine learning implementadas para el análisis de datos, de muestras de cacao seco sanas e infectadas o que no cumplen con la calidad del producto.

Analizando los resultados el sistema puede optar por una versión de optimización utilizando los sensores que presentan una mayor amplitud al ser sometidos a los compuestos volátiles de cacao seco.

## VI. AGRADECIMIENTOS

PHD. Cristhian Manuel Duran Acevedo, Msc Jeniffer Katherine Carrillo Gómez del grupo de investigación en sistemas multisensoriales GSM UNIPAMPLONA. Miller Otero/ Jorge Asdrúbal Duque de FEDECACAO Norte Santander, Agro Industria VillaDiosa, Licenciado Emiro Villalba, del comité departamental de cacaoeros de Norte Santander, por su contribución al desarrollo de la investigación.

## VII. CONCLUSIONES

Uno de los aspectos importantes a considerar en el diseño de la cámara de medida radica en la hermeticidad, si no se garantiza la concentración de compuestos volátiles afecta la toma de datos percibidos por la matriz de sensores de gas.

El peso seleccionado por cada muestra de cacao seco al interior de los viales, queda seleccionado en 20 gramos, esto se debe a que se realizaron pruebas con 50 gramos, 30 gramos, y los resultados obtenidos en amplitud de voltaje registrada por los sensores demuestran un cambio de 0.1 voltios, siendo un cambio mínimo en la salida del sensor, esto permite minimizar la pérdida de granos que se realizan en cada muestra.

De los resultados obtenidos se puede concluir que de los 9 sensores que hacen parte de la cámara de medida, 5 sensores que responden con mayor amplitud al ser sometidos por cada muestra de cacao seco, estos son MQ135, MQ9, MQ7, MQ2, MQ6, y en menor amplitud de respuesta MQ3, MQ5, MQ8.

## VIII. RECOMENDACIONES

Para garantizar la calidad de las almendras de cacao seco, es importante el acompañamiento y aplicación de protocolos establecidos por FEDECACAO.

## IX. REFERENCIAS

- [1] «v18n2a12.pdf». Accedido: sep. 22, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v18n2/v18n2a12.pdf>.
- [2] A. P. Olivares, «Instrumentación virtual. Fundamentos de programación gráfica con LabVIEW», p. 26, 2013.
- [3] J. Herrera, M. Barrios, y S. Pérez, «Diseño e implementación de un sistema scada inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino», Prospectiva, vol. 12, n.o 2, p. 65, nov. 2014, doi: 10.15665/rp.v12i2.290.
- [4] M. B., «Getting Started with Arduino», Make:Books, 2011.
- [5] J. E. R. Estrada y D. V. S. Salazar, «ARTIFICIAL INTELLIGENCE: REPLACING THE HUMAN BEING IN PSYCHOTHERAPY?», Intel. Artif., vol. 24, n.o 53, p. 21, 2016.
- [6] L. J. Brezmes, «Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta.», 2001.
- [7] M. S. Villanueva, «Arduino diseño de un sistema de captura y procesamiento de señales.», p. 72, 2014.

- [8] M. C. Quicazán y C. M. Zuluaga, «La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria.», vol. 18, n.o 2, p. 9, 2011.
- [9] P. A. G. Monsalve y C. M. D. Acevedo, «ADQUISICIÓN DE DATOS DE UNA MATRIZ DE SENSORES DE GASES (E-NOSE), MEDIANTE MÓDULOS DE COMUNICACIÓN XBEE», Rev. Colomb. Tecnol. Av. RCTA, vol. 2, n.o 26, may 2017, doi: 10.24054/16927257.v26.n26.2015.2383.
- [10] I. Moreno, R. Caballero, R. Galán, F. Matía, y A. Jiménez, «La Nariz Electrónica: Estado del Arte», Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind. RIAI, vol. 6, n.o 3, pp. 76-91, 2009, doi: 10.1016/S1697-7912(09)70267-5.
- [11] A. C. M. Durán y G. O. Gualdron, «Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (Cyphomandra Betacea Sendt)», Ing. Investig. Tecnol., vol. 15, n.o 3, pp. 351-362, jul. 2014, doi: 10.1016/S1405-7743(14)70346-4.
- [12] J. Yan et al., «Electronic Nose Feature Extraction Methods: A Review», Sensors, vol. 15, n.o 11, pp. 27804-27831, nov. 2015, doi: 10.3390/s151127804.
- [13] A. R. Di Rosa, F. Leone, F. Cheli, y V. Chiofalo, «Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment – A review», J. Food Eng., vol. 210, pp. 62-75, oct. 2017, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.024.
- [14] A. C. M. Durán y J. Brezmes, «SISTEMA DE OLFATO ELECTRONICO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE HORNEO», vol. 2, n.o 8, 2006.
- [15] Rambal, «Sensores de gas serie MQ». <https://rambal.com/gases-polucion/1254-kit-sensores-de-gas-serie-mq.html> (accedido abr. 12, 2020).
- [16] «Arduino en español: Arduino Mega 2560», Arduino en español. <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html> (accedido abr. 12, 2020).