

**Rediseño de una Cámara de Medida y de Concentración de Compuestos Volátiles de un  
Sistema de Olfato Electrónico para el Control de Calidad del Cacao**

**Richar Jaimes Albarracín**

**Proyecto Aplicado**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD**

**Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)**

**Ingeniería Electrónica**

**San José de Cúcuta – Colombia**

**2021**

**Rediseño de una Cámara de Medida y de Concentración de Compuestos Volátiles de un  
Sistema de Olfato Electrónico para el Control de Calidad del Cacao**

**Richar Jaimes Albarracín**

**Proyecto aplicado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Electrónico**

**Msc. Alexander Flórez Martínez**

**Director**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD**

**Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)**

**Ingeniería Electrónica**

**San José de Cúcuta – Colombia**

**2021**

**Proyecto aplicado para Opción de Grado de Ingeniería Electrónica**

**Rediseño de una Cámara de Medida y de Concentración de Compuestos Volátiles de un  
Sistema de Olfato Electrónico para el Control de Calidad del Cacao**

---

Presidente de Jurado

---

Jurado

---

Jurado

**San José de Cúcuta**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por estar conmigo, por enseñarme a crecer y a que si caigo debo levantarme, por apoyarme y guiarme, por ser las bases que me han ayudado a cumplir cada uno de los objetivos personales que me he planteado.

El presente trabajo es dedicado a mi familia, a mi esposa y a mi hija quienes han sido parte fundamental para escribir este trabajo, ellas son quienes me dieron grandes enseñanzas y las principales protagonistas de este “sueño alcanzado”.

**RICHAR JAIMES ALBARRACÍN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a DIOS quien nos da todas las herramientas fundamentales para realizar día a día nuestras tareas, a nuestras familias por ser la pieza primordial en la construcción de este proyecto de vida, lo cual garantizó siempre estar enfocados en la meta. También con los tutores que a lo largo de este camino han compartido los conocimientos para ser crear en mi un excelente profesional. Y a todos aquellos, que, de una u otra manera, han intervenido en este proceso.

Agradezco a mi director Alexander Flórez por el acompañamiento, asesoría, apoyo y disposición durante el proceso de investigación aportando tanto sus conocimientos como su calidad humana.

Finalmente, agradezco a FEDECACAO – Cúcuta por la participación, apoyo y contribución a la investigación. Además, por la guía práctica en la selección de cacao de buena calidad.

## **Resumen**

El siguiente trabajo de grado presenta la optimización de una nariz electrónica para el control de calidad del cacao. El desarrollo consta de 6 sensores de la serie MQ y sistema de adquisición de datos, conectado mediante puerto USB a un PC y con una interfaz gráfica de supervisión diseñada en LabVIEW, desde donde se almacenará los datos provenientes de cada una de las muestras de los volátiles asociados con las muestras de cacao.

Palabras clave: sensores, nariz electrónica, análisis de gases, Arduino, cámara de concentración, cámara de medida, LabVIEW.

### **Abstract**

The following degree project presents the optimization of an electronic nose for cocoa quality control. The development consists of 6 MQ series sensors and a data acquisition system, connected through a USB port to a PC and with a graphical supervision interface designed in LabVIEW, from where the data from each of the samples will be stored. volatiles associated with cocoa samples.

Keywords: sensors, electronic nose, gas analysis, Arduino, concentration chamber, measurement chamber, LabVIEW

## Tabla de Contenido

Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Introducción .....	1
Justificación .....	2
Planteamiento del Problema.....	3
Metodología .....	3
Objetivos.....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos.....	5
Capítulo I. Proceso de Cosecha y Post – Cosecha del Cacao .....	6
Variedad Clonal de Cacao.....	10
Proceso Post – Cosecha del Cacao.....	14
Fermentación .....	14
Secado.....	19
Capítulo II. Sistema de Olfato Electrónico Aplicado en Procesos de Alimentos .....	22
Sensores para Gases .....	27
Capitulo III. Rediseño Cámara de Concentración y de Medida de Compuestos Volátiles .....	32
Capítulo IV. Hardware y Software que Integran el Sistema de Olfato Electrónico .....	39
Esquema General – Diagrama de Bloques del Sistema .....	39
Sensores Aplicados al Proyecto. ....	40
Sensor MQ – 2.....	40
Sensor MQ – 3.....	42



Sensor MQ – 6.....	43
Sensor MQ – 7.....	44
Sensor MQ – 9.....	46
Sensor MQ – 135.....	47
Actuadores.....	49
Válvula Solenoide .....	49
Bomba de Aire.....	50
Tarjetas de Acondicionamiento de Señal.....	51
Fuente de voltaje .....	52
Tarjeta Arduino .....	53
Tarjeta Shield para Arduino .....	54
Cables.....	55
Cable de Datos.....	55
Cables Puente .....	55
Capítulo V. Análisis de Resultados .....	57
Protocolo de Adquisición.....	57
Protocolo de Muestreo .....	57
Procedimiento de Obtención de Volátiles de la Almendra de Cacao .....	59
Cámara de Concentración de Gases .....	64
Curva Obtenida por la Plataforma en LabVIEW .....	64
Conclusiones.....	74
Referencias.....	76
Anexos .....	85

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Características variedad clonal de cacao .....	12
Tabla 2. Peso de almendras de cacao.....	13
Tabla 3. Aplicaciones de la nariz electrónica en el monitoreo de etapas de producción.....	24
Tabla 4. Sustancias detectadas por los sensores .....	31

## Lista de Figuras

Figura 1. Mazorcas de cacao recolectadas .....	10
Figura 2. Ubicación Vereda Restauración .....	11
Figura 3. Variedad clon Tame 2 (FTA – 2) .....	11
Figura 4. Selección de la mazorca del cacao .....	12
Figura 5. Pesaje de mazorcas de cacao y desgrane .....	13
Figura 6. Representante FEDECACAO Jorge Duque, Richar Jaimes Albarracín, Director de Tesis Alexander Flórez Martínez.....	13
Figura 7. Variedad clon TAME 2 (FTA – 2) tomado para fermentación .....	18
Figura 8. Variedad clon TAME 2 (FTA – 2) sobre fermentado .....	18
Figura 9. Proceso de secado de almendra de cacao .....	19
Figura 10. Proceso de secado en vereda Restauración .....	20
Figura 11. Almendra seca de cacao .....	21
Figura 12. Comparación entre el olfato biológico y el electrónico.....	22
Figura 13. Clústeres asociados al proceso de cacao seco mediante análisis de componentes principales pre – procesado escalador robusto con Python. ....	26
Figura 14. Clústeres asociados al proceso de cacao seco sano e infectado con monilia, en una componente mediante PCA pre – procesado euclidiano $PC1 = 0.66$ .....	27
Figura 15. Sensores electroquímicos .....	29
Figura 16. Sensores catalíticos.....	30
Figura 17. Nariz electrónica y plataforma de análisis.....	32
Figura 18. Dispositivo de olfato electrónico optimizado.....	33
Figura 19. Cámara de medida y cámara de concentración de gases.....	34

Figura 20. Cámara de concentración de gases y de medida .....	35
Figura 21. Sistema de flujo .....	36
Figura 22. Sistema de adquisición de datos .....	37
Figura 23. Peso total de dispositivo de olfato electrónico rediseñado .....	37
Figura 24. Diagrama de Bloques del Sistema.....	39
Figura 25. Sensor MQ – 2.....	41
Figura 26. Sensor de Alcohol MQ – 3 .....	42
Figura 27. Sensor MQ – 6.....	44
Figura 28. Sensor MQ – 7.....	45
Figura 29. Sensor MQ – 9.....	46
Figura 30. Sensor MQ – 135.....	47
Figura 31. Válvula solenoide utilizada .....	49
Figura 32. Bomba de aire de 3V – 12V usada en el proyecto .....	50
Figura 33. Tarjeta relé.....	52
Figura 34. Fuente de voltaje YH 3018.....	52
Figura 35. Tarjeta ARDUINO UNO.....	53
Figura 36. Shield de expansión ARDUINO UNO.....	54
Figura 37. Cable de datos tipo A .....	55
Figura 38. Cable puente .....	56
Figura 39. Entorno software análisis de volátiles .....	58
Figura 40. Software realizando análisis .....	59
Figura 41. Recipientes de vidrio con tapa de goma para cierre hermético .....	59
Figura 42. Pesaje de recipientes de vidrio .....	60

Figura 43. Pesaje de recipientes de vidrio .....	60
Figura 44. Pesaje de las almendras de cacao en el recipiente .....	61
Figura 45. Pesaje de las almendras de cacao fermentado en el recipiente.....	61
Figura 46. Pesaje de las almendras de cacao seco en el recipiente.....	62
Figura 47. Pesaje de las almendras de cacao sobrefermentado en el recipiente .....	62
Figura 48. Recipientes de vidrio con almendras de cacao .....	63
Figura 49. Extracción de gas desde recipiente sellado .....	63
Figura 50. Inyección de gas en cámara de concentración.....	64
Figura 51. Muestra 1 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)	65
Figura 52. Muestra 2 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)	65
Figura 53. Muestra 3 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)	66
Figura 54. Muestra 4 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)	66
Figura 55. Muestra 5 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)	67
Figura 56. Muestra 1 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas) .....	67
Figura 57. Muestra 2 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas) .....	68
Figura 58. Muestra 3 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas) .....	68
Figura 59. Muestra 4 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas) .....	69
Figura 60. Muestra 5 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas) .....	69
Figura 61. Muestra 1 para almendras durante el proceso de sobre fermentación.....	70
Figura 62. Muestra 2 para almendras durante el proceso de sobre fermentación.....	70
Figura 63. Muestra 3 para almendras durante el proceso de sobre fermentación.....	71
Figura 64. Muestra 4 para almendras durante el proceso de sobre fermentación.....	71
Figura 65. Muestra 5 para almendras durante el proceso de sobre fermentación.....	72

Figura 66. Clústeres asociados al proceso de cacao fermentado, seco, y sobrefermentado  
mediante análisis de componentes principales.  $PC1 = 0.85$  y  $PC2 = 0.1$  ..... 73

## Introducción

La globalización del comercio de comestibles en el mundo ha impulsado a la misma industria a avanzar y a desarrollar tecnologías que ayuden a contrarrestar el rápido deterioro de los productos perecederos. En este trabajo se asume el reto de la optimización de un sistema basado en olfato electrónico, ya existente, para el control de calidad del cacao.

Este sistema y sus aditamentos se encargan de realizar el análisis a los gases que son emanados o expedidos por el fruto del cacao durante cada una de las etapas en las cuales se procesa, desde el momento en que se quita de la planta hasta el instante cumple el proceso de secado.

El sistema de olfato electrónico se somete a muestras de cacao fermentadas, secas, y sobre fermentadas de la variedad clon seleccionada TAME – 2 por ser de fino aroma y de cultivo regional.

El siguiente trabajo de grado presenta el rediseño de una cámara de medida y de concentración de compuestos volátiles de un sistema de olfato electrónico. El sistema integra 6 sensores de la serie MQ y un sistema de adquisición de datos conectado por puerto USB a un PC, además, con una interfaz gráfica de supervisión diseñada en LabVIEW desde donde se almacenará los datos provenientes de cada una de las muestras de los volátiles asociados a las muestras de cacao. Con esto se desea contribuir al continuo desarrollo de este tipo de sistema con el fin de que, con él, se puedan obtener un prototipo que permitan, a las empresas del sector, crear procedimientos necesarios que maximicen el tiempo necesario para definir la calidad del cacao.

## Justificación

Las operaciones de fermentación y secado son las más importantes porque es donde se desarrollan las características físicas, químicas y sensoriales deseadas en el chocolate. La fermentación se lleva a cabo de manera espontánea y consiste en dejar reposar los granos ya sea en cajas, canastos, bandejas o montones para que los microorganismos actúen sobre ellos. Se inicia con una fermentación alcohólica, donde las levaduras como *S. cerevisiae*, *K. marxianus* y *C. castelli*. hidrolizan y remueven el mucilago que rodea los granos y fermentan los azúcares produciendo etanol y compuestos aromáticos como acetato de isopropilo, acetato de etilo, 1-propanol, alcohol isoamílico, 2,3-butanodiol, succinato de dietilo y 2-feniletanol. (Castañeda Sedano et al., 2016)

La investigación inicia teniendo el precedente de un proyecto de investigación realizado en el año 2019<sup>1</sup>, en el que se implementó un sistema de olfato electrónico para determinar el control de calidad en granos de cacao seco y tostado, el proyecto es de gran interés por parte de productores, Federación Nacional de Cacaoteros, siendo un instrumento que permite clasificar la calidad del grano en pocos minutos. Para contextualizar, el proyecto pretende optimizar las dimensiones del sistema de olfato electrónico actual, por tal motivo se debe realizar un rediseño de la cámara de medida y concentración de volátiles, minimizando el volumen de la cámara de concentración de 200ml a aproximadamente a 50ml, para garantizar la inyección precisa del volumen del volátil proveniente de las muestras seleccionadas. Otro aspecto importante reducir la cantidad de sensores de gases, debido a que se identifica que algunos responden son magnitudes mínimas percibidas. Finalmente, el sistema de medición se integra a una tarjeta de

---

<sup>1</sup> (Flórez Martínez, 2019)



adquisición y posteriormente se realiza el almacenamiento de datos mediante el uso de software y PC.

### **Planteamiento del Problema**

Se realiza el rediseño del sistema de olfato electrónico específicamente por que el sistema o dispositivo actual no dispone de una cámara de concentración de compuestos volátiles adecuada, siendo necesario para estabilizar los gases que serán inyectados a la cámara de medida. La cámara de concentración existente posee un tamaño o capacidad de 200ml y las muestras obtenidas de los compuestos volátiles que se extraen mediante el método de jeringa tienen un volumen de 20ml, por tal motivo es necesario optimizar el volumen de la cámara de medida.

Adicional se desea mejorar el sistema de flujo de aire implementando manguera siliconada y flexible, esto permite garantizar el correcto funcionamiento en la medida de las muestras en comparación con el sistema de olfato electrónico anterior el cual podría presentar lecturas erróneas si no se tiene la precaución de verificar, si las mangueras de poliuretano no están dobladas, esto generaría obstrucción del flujo de aire en el momento que se doblen, debido a que no tienen un alto grado de flexibilidad.

La cámara de medida actualmente dispone de nueve sensores de gases de los cuales se identifica que tres sensores no dan respuesta en amplitud de señal de voltaje al ser sometidos a los compuestos volátiles de muestras de cacao y son ellos los sensores MQ – 4, MQ – 5 y MQ – 8, por tal motivo el rediseño de la cámara se reduce a 6 sensores de gases.

### **Metodología**

El proyecto define el rediseño un sistema de medición de aromas electrónico para granos de cacao asociado a las cámaras de medida y concentración.

***Primera fase.*** Caracterización inicial del modelo que utiliza el prototipo.

***Segunda fase.*** Consta del rediseño de la estructura de las cámaras de concentración y de media de volátiles del sistema de olfato electrónico, disminuyendo el volumen, garantizando hermeticidad del sistema de control de flujo de aire y ajustado al volátil adquirido por cada muestra

***Tercera fase.*** Revisión de la data para determinar gases más representativos optimizando la matriz de sensores. Consta del ensamble de la cámara de medida donde alojaremos los sensores seleccionados para la medición de aromas. Posteriormente se realizará la conexión del sistema de flujo aire con la cámara de concentración.

***Cuarta fase.*** Corresponde al sistema de adquisición de datos donde se tomarán las señales correspondientes de los sensores y serán envías a un equipo de cómputo para su posterior almacenamiento de datos. Se procede a realizar pruebas de funcionamiento por cada instrumento o sensor y validar la correcta adquisición de datos.

***Quinta Fase.*** Se procede a preparar las muestras y someter el sistema con diferentes tipos de aromas provenientes de almendras sanas y contaminadas.

***Sexta fase:*** Documentación y posterior socialización del proyecto ejecutado.

## Objetivos

### Objetivo General

Rediseñar la cámara de medida y de concentración para el muestreo de compuestos volátiles, e implementación del sistema de adquisición de datos para el sistema de olfato electrónico, garantizando hermeticidad de los volátiles emitidos por las muestras de cacao.

### Objetivos Específicos

- Diseñar la cámara de medida y de concentración de compuestos volátiles, usando herramienta de hardware y software, que permita tener una mejor concentración en los volátiles sensados en las muestras de cacao.
- Seleccionar la instrumentación electrónica adecuada para el ensamble del sistema de medición de compuestos volátiles.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos que permita almacenar los datos provenientes de compuestos volátiles de las muestras de cacao sanas y contaminadas, previamente seleccionadas por un experto sensorial en cacao.

## Capítulo I. Proceso de Cosecha y Post – Cosecha del Cacao

El cacao es una planta perenne de las familias de las esterculiáceas que rinde varias cosechas al año, se mencionan que las semillas de cacao tienen un sabor amargo, los cuales son de color púrpura o color blanco muy parecido a las almendras. Según Morales et al, (2012) “La cascara (testa) indica el 10 – 14% del peso seco de la semilla del cacao y el núcleo o cotiledón se compone de la mayor parte o restante de 86 – 90 % que confiere sabores y aromas muy característicos del chocolate” (Morales et al., 2012).

Se resalta que el cultivo del cacao es una propuesta productiva que hace el país, Colombia, teniendo en cuenta la potencia y lo que ofrece el cacao tanto en lo comercial como en lo social, el cultivo por lo general se desarrolla en la parte rural, su apuesta principal comercial se propone mediante la producción de cacaos finos de calidad y aromas especiales. (Pabón et al., 2016)

Según una reciente investigación, se menciona que el cacao es cultivado en el país, pero el 60.1% de la producción nacional se da en mayor concentración en los departamentos de Santander, norte de Santander, Antioquia y Arauca, sin embargo, el departamento de Santander es el mayor productor, también se ha identificado el manejo de la post cosecha en las que las fincas productoras poseen inactividad tecnológica. (Sánchez et al., 2008 Citado por Pabón & Herrera Roa, 2016)

El sabor y aroma de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) fueron las principales razones que promovieron su domesticación y uso alimentario por los pueblos precolombinos de Mesoamérica. La calidad sensorial determina la clasificación entre cacaos finos y a granel. Muchos compuestos químicos de las almendras son responsables de la calidad sensorial, pero sobresalen los polifenoles y los alcaloides, compuestos que

de manera directa inciden en el sabor y palatabilidad de las almendras y de manera indirecta sobre los precursores de aroma. Los alcaloides están asociados con el amargor. Su concentración está relacionada con la variedad y se modifica con el procesamiento. Los polifenoles son responsables, junto con otras moléculas de la astringencia (poco deseable en chocolates), pero también de propiedades antioxidantes deseables por los consumidores. (Vásquez Ovando et al., 2016)

Las almendras de cacao son ricas en polifenoles (aproximadamente 15% de peso seco) y alcaloides (hasta 4%) y éstos contribuyen con el sabor y aroma del cacao. Los polifenoles confieren sensación de amargor y astringencia y contribuyen a los olores a verde y afrutado de las almendras, mientras que los alcaloides confieren amargor y están involucrados en la palatabilidad de los alimentos que los contienen. La cantidad y proporción de estos grupos de moléculas pueden variar en las almendras por aspectos genéticos y ambientales, por lo que el conocimiento en su biosíntesis puede impactar en el diseño a nivel biotecnológico o modificando las condiciones que afectan esas rutas de biosíntesis y con ello producir cacaos con características más deseables por el consumidor o la industria. (Vásquez Ovando et al., 2016)

La producción en Colombia de cacao fino y de aroma, es producto de clones criollos y trinitarios, cultivo fomentado en las diversas regiones del país por la Federación Nacional de Cacaoteros. “Según datos de la Federación Nacional de Cacaoteros, en el 2012 Colombia produjo 41.000 toneladas de cacao” (Herrera Gaviria & Ospina Medina, 2016).

Para poder ser exportado el cacao necesita cumplir los llamados estándares internacionales del cacao que se refieren a los siguientes aspectos<sup>2</sup>:

---

<sup>2</sup> (Herrera Gaviria & Ospina Medina, 2016)

- Que esté fermentado.
- Que se haya secado completamente.
- Que no tenga granos que huelan a humos u otros olores anormales.
- Que carezca de evidencias de adulteración.
- Que esté razonablemente libre de insectos vivos, de granos partidos, fragmentos y partes de cáscara.
- Que sea razonablemente uniforme en tamaño.

Los granos de cacao deben cumplir con ciertos criterios que satisfagan las necesidades del comprador. En Colombia, el cacao corriente debe cumplir con unos requisitos mínimos de calidad para que su comercialización no tenga inconvenientes o rechazos de parte de los fabricantes. Esos requisitos son los siguientes:

- Humedad: 7%.
- Peso de 100 granos: Mínimo 105g, límite inferior de un grano debe ser de 1g.
- Granos bien fermentados: Mínimo 65%.
- Granos regularmente fermentados: Máximo 35%
- Granos pizarrosos: Máximo 3%
- Granos mohosos: Máximo 3%
- Granos germinados, planchos e infestados por insectos: Máximo 3%

Como parámetros básicos para el grano del cacao en Colombia al momento de su comercialización, debe observarse la Norma NTC 1252, que fue modificada en el año 2003, la cual establece categorías, para el producto, lo cual debe conllevar a la diferenciación de precios.

En los últimos 50 años tanto la oferta como la demanda mundial de cacao han seguido una tendencia creciente (con un crecimiento anual de alrededor de 2.5%, según ICCO),

aunque con importantes diferencias de comportamiento, pues por un lado la demanda (moliendas) tuvo un incremento más estable, mientras que la producción cacaotera evidenció una mayor variabilidad afectada por factores climáticos (en promedio la variación anual entre 07/08 y 14/15 fue de 1.6% para la molienda versus 3% para la producción), lo que ha provocado continuos déficits o superávits de oferta a lo largo de los años, así como una reducción anual de 1.5% en la razón de existencias respecto a moliendas en el período 07/08 - 14/15, generando a su vez un efecto directo en el movimiento de los precios. (ESPAE - ESPOL, 2016) Citado por (Herrera Gaviria & Ospina Medina, 2016)

***Revisión de la Maduración.*** La recolección del cacao es una tarea delicada. Y uno de los mayores desafíos radica en saber cuándo poder recolectar las mazorcas. Un cacao sin madurar no tendrá desarrollado todos sus maravillosos sabores y aromas, mientras que, como explica la Organización Internacional del Cacao (ICCO), los que están demasiado maduros comenzarán a desarrollarse. (Guevara, 2018)

***Recolección.*** Dado que las vainas de cacao maduran en diferentes momentos, la recolección mecánica no es posible. Para esto, a menudo se usa un machete o un cuchillo especializado. los árboles de cacao pueden ser altos. Y a diferencia de los árboles de café, a menudo se les permite crecer a su máxima altura. (Guevara, 2018)

***Control de calidad.*** Se inspecciona y se controla la cantidad de pulpa y la madurez. Si está demasiado maduro, no entrará en la caja de madera y se pondrán en una lámina de plástico separada. Aunque esto no significa que esos granos se desperdicien. Los granos demasiado maduros también se fermentan y se venden, sin embargo, se mantienen separados del cacao de alta calidad. (Guevara, 2018)

## Variedad Clonal de Cacao

En el Norte de Santander se cultiva una gran variedad clonal de plantas de cacao, para el desarrollo del proyecto se seleccionó el clon TAME 2, cuyos cultivos encontramos en la finca EL AMPARO ubicada en la vereda RESTAURACIÓN del área rural del municipio de Cúcuta y de las cuales daremos algunas características.

### Figura 1.

*Mazorcas de cacao recolectadas*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

Un clon o variedad clonal de cacao es un conjunto de plantas genéticamente idénticas, reproducidas en forma asexual a través de la injertación, por acodos, o por enraizamiento de estacas y ramillas.

La clonación es el medio para fijar, preservar y reproducir las características deseables que posee una planta en particular. Las diferencias entre las plantas de un





**Tabla 1.***Características variedad clonal de cacao*

<b>Característica</b>	<b>Tame – 2 (FTA – 2)</b>
Compatibilidad	Auto Incompatible
Índice de grano (IG)	1,8
Índice de mazorca (IM)	15
Frutos/Árbol/Año	28
Rendimiento	1,67
Semillas por fruto	45,8

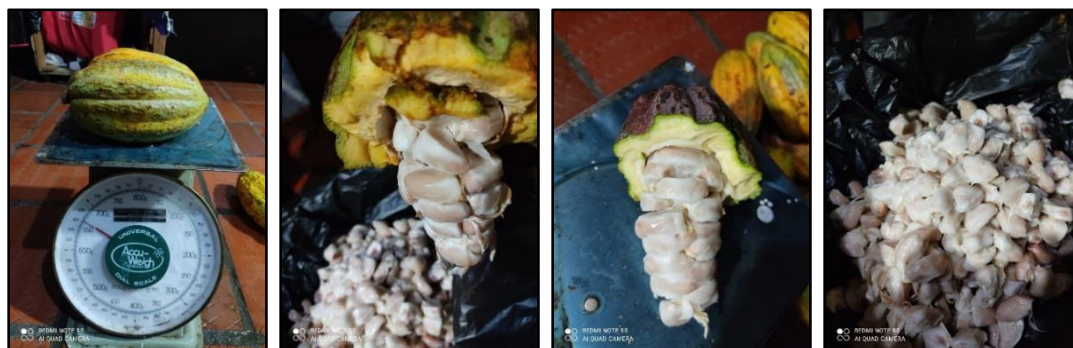
*Nota:* Adaptado de Aportes de la investigación de FEDECACAO – Fondo Nacional del Cacao al incremento de la productividad y reconocimiento de la calidad del cacao de Colombia, (Guerrero, 2016)

**Figura 4.***Selección de la mazorca del cacao*

*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

**Figura 5.**

*Pesaje de mazorcas de cacao y desgrane*



*Nota: Nota: Adaptado, (Autor, 2021)*

**Tabla 2.**

*Peso de almendras de cacao*

	<b>CANTIDAD TOTAL MAZORCAS</b>	<b>CANTIDAD TOTAL MAZORCAS ÚTILES</b>	<b>PESO DE ALMENDRAS (Gr.)</b>
<b>TAME 2</b>	22	20	1.830,00

*Nota: Adaptado, (Autor, 2021)*

**Figura 6.**

*Representante FEDECACAO Jorge Duque, Richar Jaimes Albarracín, Director de Tesis*

*Alexander Flórez Martínez*



*Nota: Adaptado, (Autor, 2021)*

## **Proceso Post – Cosecha del Cacao**

Es el conjunto de prácticas interrelacionadas que tienen que ver con la transformación biológica que deben sufrir las semillas o almendras una vez cosechadas y que permiten la expresión de su real potencial de calidad, su valoración y demanda por los procesadores de la industria chocolatera y el mercado exterior. El buen proceso de post – cosecha asegura que el grano sea apreciado, apetecido por la industria, lo que justifica un mejor precio y garantiza su comercialización al mercado nacional y de exportación.

Existen diferentes apreciaciones respecto a las labores que abarca el manejo de post – cosecha, algunos estudiosos lo consideran como el proceso final de la producción de la cadena que se inicia con la recolección y partida de mazorcas, la fermentación y secado del grano y termina con la clasificación y almacenamiento; mientras que otros, consideran más bien que se trata del proceso inicial de la transformación e industrialización y que abarca sólo las fases de fermentación, secado y almacenamiento. Lo cierto es que el proceso para desarrollar la máxima calidad posible del cacao, exige ejecutar sistemáticamente los pasos desde la selección de las mazorcas que se cosechan, la quiebra y el desgrane, un correcto proceso de fermentación y secado, y finalmente una exigente limpieza y clasificación del grano. (Guerrero Cabrera, 2007)

### ***Fermentación***<sup>3</sup>

El proceso de fermentación consta de varias etapas, las cuales se hallan determinadas por la disponibilidad de oxígeno, pH, contenido de azúcares, temperatura ambiental y por la presencia espontánea de los microorganismos. La velocidad de estas etapas cambia de acuerdo con la magnitud de las anteriores variables y de las condiciones de manejo que se le dé al cacao

---

<sup>3</sup> (Pérez B. & Contreras M., 2017)

fresco. Asimismo, las etapas no tienen un límite definido y se superponen mientras van ocurriendo durante todo el proceso de fermentación. Por ello las referencias en horas que se dan para cada proceso son, justamente, meras referencias, no datos absolutos.

En la fermentación es donde se inicia el desarrollo del aroma, sabor y color de la almendra para obtener aromas finos. Si no se hace el protocolo de fermentación adecuado, la calidad se ve afectada. Es así como la nariz electrónica determina si el cacao cumple con los protocolos de la Federación o si por el contrario está sobre fermentado o enfermo con monilia y otros hongos. La fermentación contribuye a formar un grano hinchado, de color marrón y de buena apariencia. (Villamizar Leal, 2019)

#### **Etapas de Fermentación del Cacao<sup>4</sup>**

##### ***Primera Etapa – Fermentación Alcohólica (0h – 48h):***

- El azúcar se transforma en alcohol (etanol) por acción de las levaduras.
- Se descompone la estructura de la pulpa, la cual libera líquidos que deben escurrir.
- La fermentación libera agua, CO<sub>2</sub> y genera un aumento de temperatura aproximadamente hasta los 45 °C, si las condiciones del recipiente y la temperatura ambiental son adecuadas.
- El pH inicial de la pulpa (menor de 4.5) favorece la prevalencia de las levaduras y empieza a subir lentamente mientras se desarrolla esta etapa.

##### ***Segunda Etapa – Fermentación Acética (48h – 96h):***

- El alcohol se transforma en ácido acético por acción de bacterias.
- El ácido acético penetra las semillas hasta su interior, disminuyendo el pH interno casi hasta 4.5.

---

<sup>4</sup> (Pérez B. & Contreras M., 2017)

- La temperatura ideal se debe mantener día y noche entre los 48 y 51 °C.
- Las bacterias consumen oxígeno a gran velocidad, por lo cual es necesario hacer las remociones para que entre aire fresco y se libere el CO<sub>2</sub> acumulado.
- Con las remociones también se volatiliza parte del ácido acético, con lo que mejora el sabor del cacao.
- El pH de la pulpa aumenta hasta acercarse al valor de 6.
- Los granos se hinchan por la entrada de la solución de ácido acético.
- Los granos empiezan a cambiar en su interior desde los bordes hacia adentro, y disminuye la intensidad del color violeta, que se torna marrón.
- Se van formando surcos en el interior del grano y cambia la textura totalmente plana.

***Tercera Etapa – Oxidación (6h hasta determinar el fin de la fermentación):***

- El ácido acético empieza a salir del interior del grano, por lo cual su pH interno empieza a subir.
- La temperatura se debe mantener día y noche entre los 48 y 51 °C.
- Las bacterias siguen consumiendo oxígeno a gran velocidad, de ahí que sea necesario hacer las remociones con el fin de que entre aire fresco y se libere el CO<sub>2</sub> acumulado.
- Con las remociones también se volatiliza parte del ácido acético, lo que mejora el sabor final del cacao.
- El pH de la pulpa residual va aumentando acercándose al valor de 7.
- Los granos siguen cambiando en su interior y predomina el color marrón desde el borde hasta el centro.
- Se profundizan los surcos en el interior del grano.

- Al cortar el grano se encuentra, entre la cáscara y la almendra, un líquido viscoso de color rojizo.

“No puede haber protocolos de fermentación preestablecidos, debido a las numerosas variables que determinan la actividad de los microorganismos y de las enzimas involucradas en el proceso de fermentación, pero se puede hacer algunas recomendaciones al respecto” (Pérez B. & Contreras M., 2017).

Las recomendaciones generales para tomar la decisión del primer volteo son:

- El cacao fresco ha escurrido suficientemente en los cajones donde se ha depositado inicialmente.
- Lograr un incremento de al menos 5°C en las primeras 12 horas de fermentación.
- Lograr como mínimo una temperatura de 45°C en las primeras 48 horas de fermentación.

“El método para iniciar el proceso de fermentación se rige al protocolo establecido por FEDECACAO, para el proceso postcosecha” (Flórez Martínez, 2019).

En este proceso se desarrolla el sabor y aroma del producto y contribuye a formar un grano (hinchado), de color marrón y de buena apariencia.

- Primer volteo: 48 horas
- Segundo volteo: 24 horas (72 horas)
- Tercer volteo: 24 horas (96 horas)
- Cuarto volteo: 24 horas (120 horas)
- Quinto volteo: 24 horas (144 horas)

**Nota:** tapar la masa con hojas de plátano, encima costales limpios o un plástico negro debidamente limpio. No se deben mezclar granos provenientes de mazorcas cosechadas ni con un da de diferencia.

**Figura 7.**

*Variedad clon TAME 2 (FTA – 2) tomado para fermentación*



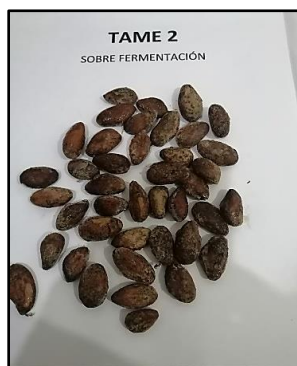
*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

Los objetivos de remover o voltear el cacao en fermentación son:

- Lograr que los granos de cacao no se queden en una sola ubicación, bien sea en el mismo cajón o en otro a donde se trasvasa. Especialmente para los granos que quedan en el fondo donde se acumula la mayor cantidad de líquidos.
- Introducir aire fresco en la masa de fermentación.
- Liberar el CO<sub>2</sub> que se ha acumulado.
- Facilitar la volatilización del ácido acético producido.

**Figura 8.**

*Variedad clon TAME 2 (FTA – 2) sobre fermentado*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)



### *Secado*<sup>5</sup>

Dependiendo del manejo que se le haya dado en la fermentación, el cacao recién sacado del cajón puede tener una humedad cercana al 65%, la cual debe ser disminuida hasta un rango del 6,5 a 7,0 %. De este modo, los microorganismos no encuentran un medio en el cual desarrollarse y las distintas enzimas existentes en el interior del grano se desactivan, con lo cual el cacao ya seco puede almacenarse de manera segura.

Sin embargo, mientras en el proceso de secado se alcanza la humedad de almacenamiento, se siguen dando varias reacciones al interior del grano que aportan al desarrollo de su sabor.

### **Figura 9.**

Proceso de secado de almendra de cacao



*Nota:* Adaptado de Métodos de secado de cacao, (Nogales, 2017)

El efecto de secado se optimiza cuando se logra la combinación de los siguientes factores ambientales:

- El menor porcentaje (%) de humedad en el aire que entra en contacto o está cerca del cacao.

---

<sup>5</sup> (Pérez B. & Contreras M., 2017)

- La mayor temperatura del aire, considerando un límite de 60° C.
- La mayor velocidad con la cual el aire se renueva pasando entre y sobre el cacao.

El mayor porcentaje (%) de la superficie del grano queda expuesta al aire.

Protocolo de secado según FEDECACAO<sup>6</sup>:

- *Primer día:* Tres (3) horas de sol, luego la masa se recoge.
- *Segundo día:* Cuatro (4) horas de sol, luego la masa se recoge.
- *Tercer día:* Todo el día recibiendo radiación solar.
- *Cuarto día:* Todo el día recibiendo radiación solar.
- *Quinto día:* Todo el día recibiendo radiación solar.

Se realizará remoción de la masa de cacao cada 2 horas, entre 4 y 5 remociones diarias.

### **Figura 10.**

*Proceso de secado en vereda Restauración*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

---

<sup>6</sup> (FEDECACAO, 2018)

**Figura 11.**

*Almendra seca de cacao*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

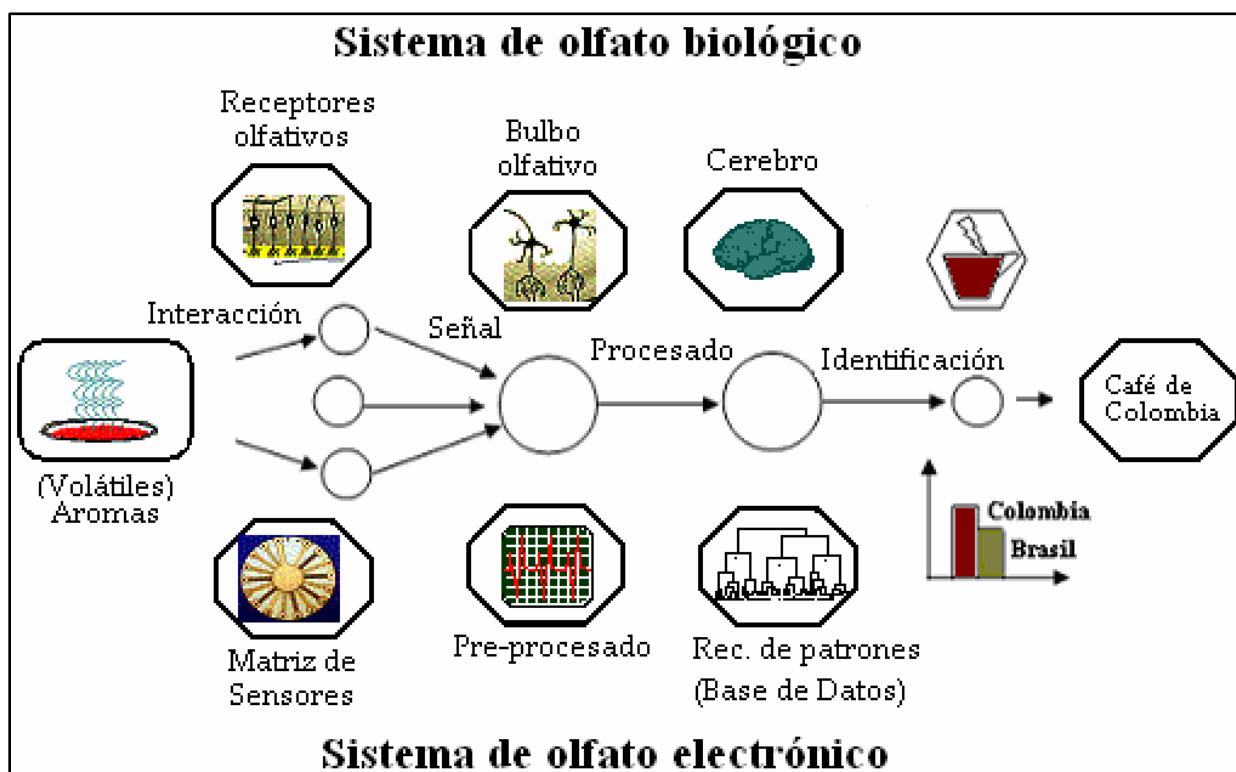
En síntesis, la mejor calidad del producto final depende de que se sigan los lineamientos establecidos, por los diferentes organismos, a nivel nacional e internacional, desde la siembra hasta la disposición final para el goce del consumidor. En Colombia, la producción cacaotera es una empresa que, aún, tecnológicamente hablando, se encuentra en bajo nivel; gracias a las ayudas ofrecidas y el acompañamiento hecho por el Comité Nacional de Cacaoteros se ha podido avanzar y mostrar un producto que satisface las necesidades o, mejor, los requerimientos del mercado internacional, pero para esto también es necesario de una inversión económica por parte de los productores para cumplir con los compromisos adquiridos. El muy buen manejo que se está dando a las fases de post – cosecha, como la fermentación y el secado, del grano de cacao han incentivado la comercialización porque se obtiene un fruto con altos estándares.

## Capítulo II. Sistema de Olfato Electrónico Aplicado en Procesos de Alimentos

El presente capítulo hace referencia al sistema de olfato electrónico que se usa hoy en día para realizar análisis de gases a los alimentos. El lector encontrará las características principales de estos dispositivos y, sobre todo, información de los sensores que pueden ser usados para este fin.

**Figura 12.**

*Comparación entre el olfato biológico y el electrónico*



*Nota:* Adaptado de Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales, (Durán Acevedo, 2005)

Como se puede observar los receptores olfativos están representados por un grupo de sensores químicos (matriz de sensores) que producen una señal eléctrica dependiente del tipo de aroma detectado. El bulbo olfativo recibe estas señales para posteriormente

enviarlas al cerebro a través de los nervios que, de forma muy similar a las técnicas de pre – procesado, preparan las señales reduciendo el volumen de información y minimizando el ruido y las derivas que introducen los quimiorreceptores. Esta tarea facilita la clasificación o identificación de la muestra por medio de un sistema de reconocimiento de patrones. Los métodos de reconocimiento de patrones realizan funciones equivalentes a las que se realizan en la corteza del cerebro, que es la etapa final del proceso olfativo humano, donde se identifican, clasifican, interpretan y memorizan los diferentes aromas aprendidos a lo largo del tiempo. (Durán Acevedo, 2005)

“En forma coloquial, una nariz electrónica consiste en reemplazar las células receptoras de olor con sensores de gas, el procesamiento neuronal por una computadora y un software” (Rivera Guerrero et al., 2020).

El aspecto básico de la implementación de una nariz electrónica es la adecuación de los sensores que realizarán la misma actividad de percepción de todos los puntos de una nariz humana, llevando esta información a un centro de mando que actuará como el cerebro para procesar los datos recolectados y asumir una operación a realizar. (Quicazán S. et al., 2011)

Es necesario conocer las características del producto al cual se le realizará el proceso de control de calidad para realizar una adecuada puesta a punto de los sensores y así minimizar la probabilidad de error que pueda surgir de una irregular configuración del sistema. Un dato erróneo del monitoreo de control de calidad puede conllevar la pérdida de una gran cantidad del producto y, por ende, causar una sensible baja en la economía para la empresa. En algunos de los textos citados se hace un símil entre el comportamiento del olfato humano y el mismo electrónico, algo que nos es útil para demostrar la efectividad y claridad de la implementación realizada.

**Tabla 3.**

*Aplicaciones de la nariz electrónica en el monitoreo de etapas de producción.*

<b>Descripción</b>	<b>Tipo de sensores</b>	<b>Análisis estadístico</b>	<b>Referencia</b>
Identificación de jamones deteriorados durante el proceso de curado.	MOS	PCA PNN	(28)
Seguimiento del perfil aromático en el proceso de deshidratación de tomate.	MOS	PCA	(29)
Discriminación de mango de acuerdo con los diferentes estados de madurez.	MOS	DFA	(30)
Predicción del tiempo óptimo de fermentación.	MOS	TDNN / SOM	(31)
Identificación de daños por levaduras en vino tinto.	Sensores químicos indeterminados	PCA / SLDA	(32)
	MOS	PLS	(33)
Monitoreo de la fermentación alcohólica de vino tinto.	MOS	PCA	(34)
Monitoreo de la fermentación de cerveza.	MOS	PCA/ANN	(35)

Siglas: DFA: análisis de factor de discriminantes, PCA: análisis de componentes principales, PLS: mínimos cuadrados parciales, PNN: redes neuronales probabilísticas, SLDA: análisis de discriminante lineal gradual, SOM: mapa de autoorganización, TDNN: redes neuronales con retraso en el tiempo. MOS: sensores de óxidos metálicos.

*Nota:* Adaptado de La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria, (Quicazán S. et al., 2011)

La nariz electrónica es una herramienta de análisis, útil para la caracterización y control de productos y procesos agroalimentarios si se consideran sus ventajas en aspectos como movilidad, rapidez, fiabilidad, facilidad de uso y precio. El diseño de los sensores de estos instrumentos y los sistemas de reconocimiento de patrones valoran la calidad de una muestra sin

necesidad de especificar datos con respecto a su composición o concentración. La tecnología de arreglo de sensores y el uso de software aplicados al análisis de la huella digital de productos alimenticios ha tenido un rápido avance en la investigación y en su desarrollo de aplicaciones en la industria, pero es importante fortalecer las líneas de investigación, para incrementar la selectividad, sensibilidad y reproducibilidad del análisis.

La nariz electrónica puede detectar los aromas que emiten los granos de cacao en sus diferentes fases después de la cosecha, en especial de aquellos pequeños compuestos químicos de mínima intensidad. Se trata de un sistema de olfato electrónico compuesto por un recipiente cilíndrico que se traslada en un maletín y que permitirá mejorar el control de calidad del cultivo. Sin fermentación no hay buen chocolate cilíndrico que se traslada en un maletín y que permitirá mejorar el control de calidad del cultivo. Sin fermentación no hay buen chocolate<sup>7</sup>.

En el secado y el tostado, del cacao, la nariz electrónica tiene una variante debido a la disminución en la concentración de compuestos orgánicos (volátiles) emitidos por las almendras de cacao.

En cuanto al secado, el sistema determina qué aromas emite si los granos se mojan o se dejan mucho tiempo en almacenamiento, y cuando ya se han tostado analiza si se hizo bien el proceso o si se pasó de cierta temperatura. (Villamizar Leal, 2019)

Para determinar la calidad de cacao es posible implementar técnicas de inteligencia artificial o aprendizaje no supervisado, a continuación, se observa clúster de muestras asociadas al proceso de cacao seco sano ICS95 y muestras de cacao seco con monilia, implementando análisis de componentes principales. (Flórez Martínez et al., 2020)

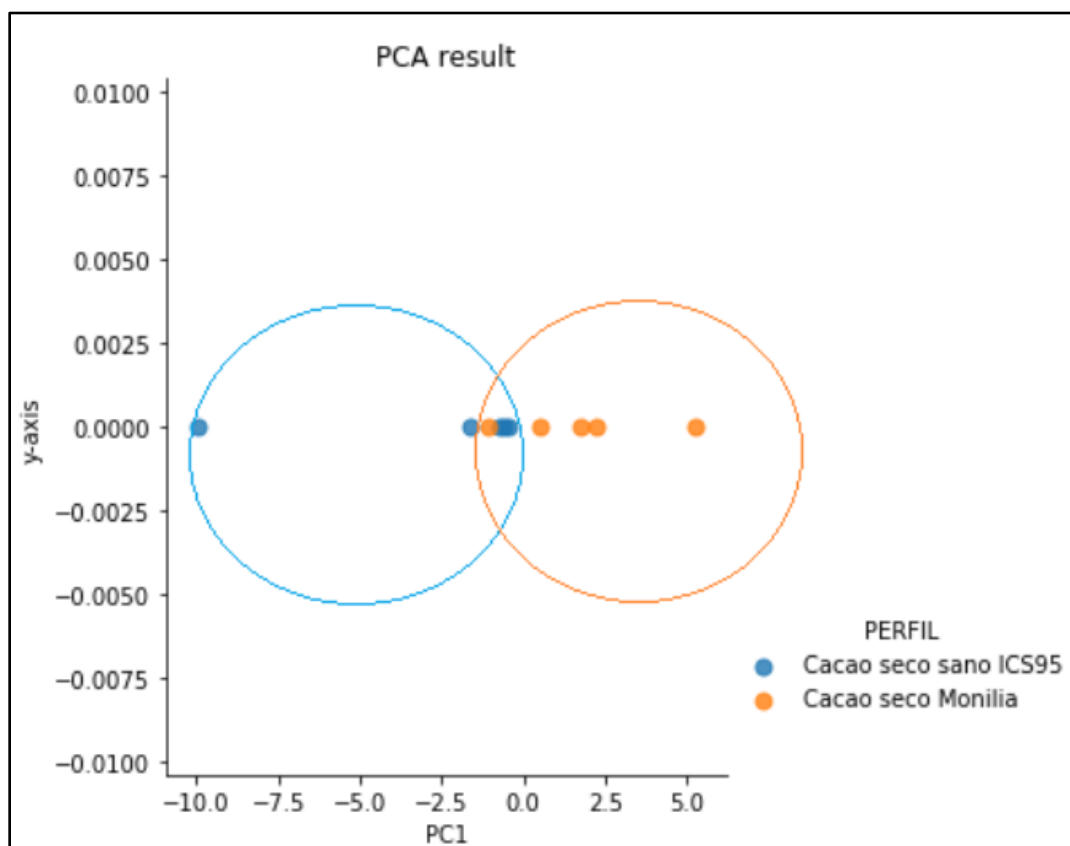
---

<sup>7</sup> (Villamizar Leal, 2019)

El análisis de clúster es un método que permite descubrir asociaciones y estructuras en los datos que no son evidentes a priori pero que pueden ser útiles una vez que se han encontrado. Los resultados de un Análisis de Clúster pueden contribuir a la definición formal de un esquema de clasificación tal como una taxonomía para un conjunto de objetos, a sugerir modelos estadísticos para describir poblaciones, a asignar nuevos individuos a las clases para diagnóstico e identificación. (De La Fuente Fernández, 2011)

**Figura 13.**

*Clústeres asociados al proceso de cacao seco mediante análisis de componentes principales pre – procesado escalador robusto con Python.*

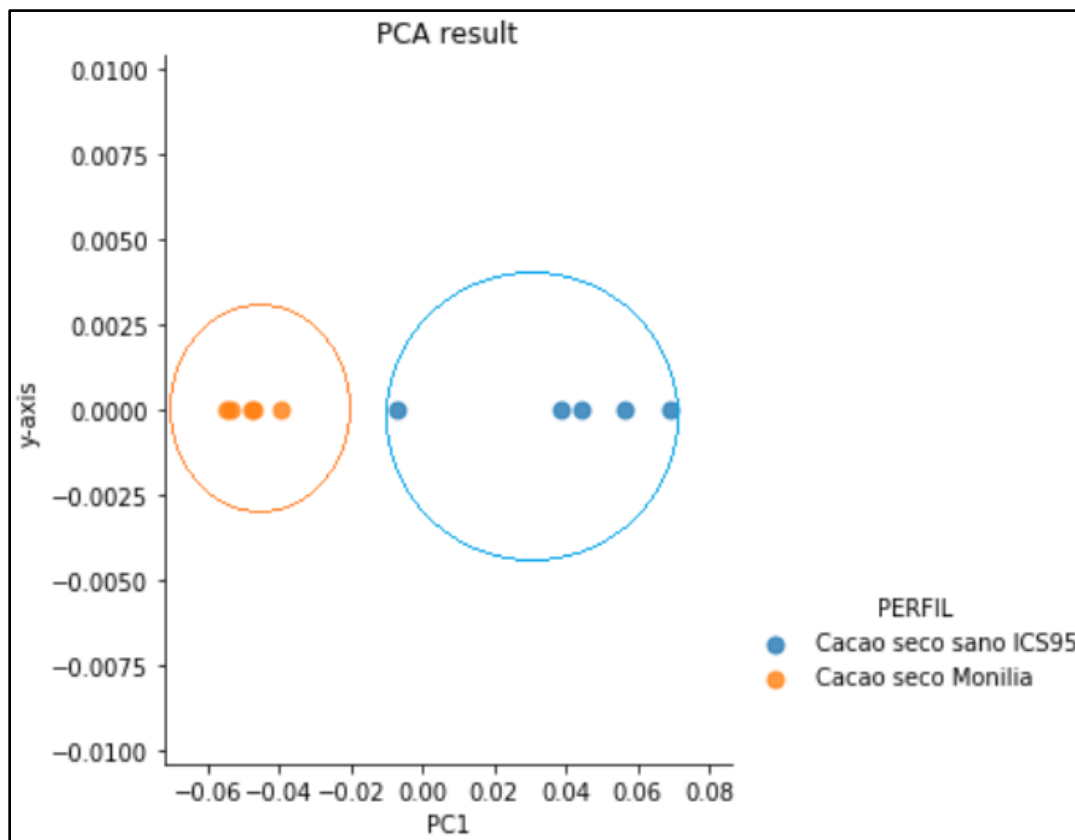


*Nota:* Adaptado de Análisis de componentes principales utilizando PYTHON para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander, (Flórez Martínez et al., 2020)



**Figura 14.**

*Clústeres asociados al proceso de cacao seco sano e infectado con monilia, en una componente mediante PCA pre – procesado euclidiano PC1 = 0.66*



*Nota:* Adaptado de Análisis de componentes principales utilizando PYTHON para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander, (Flórez Martínez et al., 2020)

### **Sensores para Gases<sup>8</sup>**

Hay varios tipos de sensores de gas que funcionan diferentemente entre sí y dependen del tipo de tecnología que empleen. Dependiendo de su modo de operación, existen dos grupos generales de sensores de gas: el primer grupo lo conforman sensores que funcionan por medio de

---

<sup>8</sup> (Naylamp Mechatronics, 2019b)

absorción, reacciones químicas y de contacto con el gas; el segundo grupo lo conforman sensores que funcionan con base en emisiones infrarrojas o ultrasónicas. Por otro lado, los sensores, independientemente de su configuración y funcionamiento, pueden agruparse de acuerdo al tipo de gas que detectan: los sensores que detectan gases combustibles generalmente son sensores catalíticos e infrarrojos, mientras que para la detección de gases tóxicos generalmente se emplean sensores electroquímicos y de semiconductores de óxido metal (MOS – Metal Oxide Semiconductor)

A continuación, se mencionan algunos de los diferentes tipos de sensores para gases de acuerdo a su tipo de operación:

***Sensores semiconductores***<sup>9</sup>. Sensores con semiconductores de óxido metal. Funcionan con una película sensible al gas que está compuesta principalmente por cristales de óxido, metal del tipo n, normalmente es dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), óxido de indio ( $\text{InO}_3$ ), óxido de wolframio ( $\text{WO}_3$ ), entre otros. Estos sensores son muy eficientes ya que pueden operar en un rango amplio de ambientes húmedos. En estos sensores, una reacción química ocurre cuando el gas hace contacto con el sensor provocando que la resistencia eléctrica en el sensor decrezca. En los sensores que usan el dióxido de estaño, la sensibilidad para diferentes gases varía con la temperatura, por lo que hay un filamento que se calienta por medio de una corriente eléctrica.

***Sensores infrarrojos***<sup>10</sup>. Estos sensores funcionan con emisores y receptores de luz infrarroja. Si un gas se encuentra en el ambiente, éste interfiere con la potencia de transmisión entre el emisor y el receptor. Esta alteración determina qué tipo de gas se encuentra presente.

---

<sup>9</sup> (Anónimo, 2016)

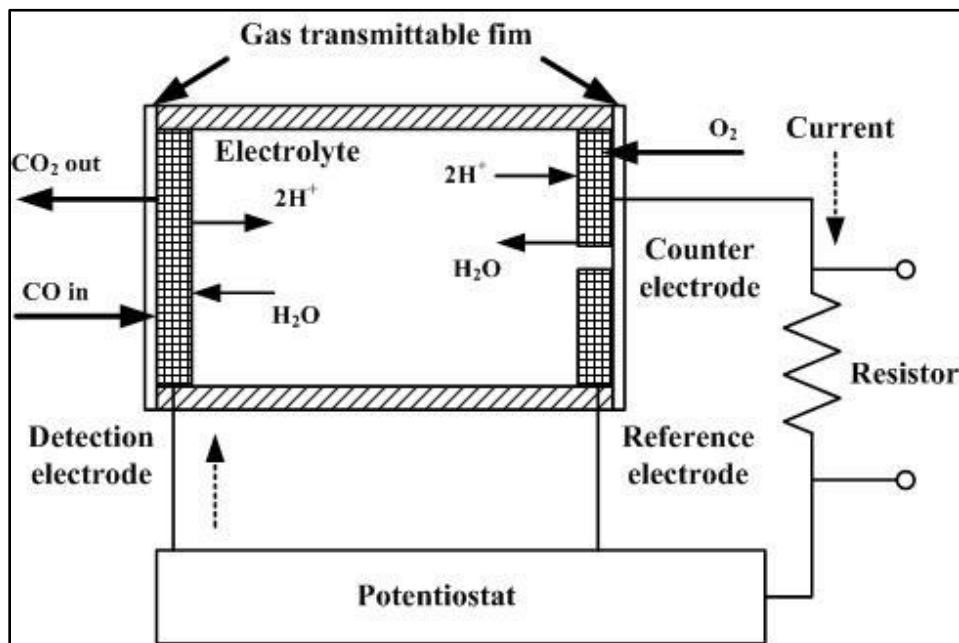
<sup>10</sup> (Anónimo, 2016)

**Sensores electroquímicos<sup>11</sup>.** Estos sensores tienen dos electrodos divididos por una capa de electrolitos, la cual puede ser líquida, sólida o en forma de gel. Cuando el gas entra en el sensor a través de una membrana y la tensión de polarización está aplicada a los electrodos, se presenta una reacción de reducción-oxidación que genera una corriente eléctrica directamente proporcional a la concentración de gas.

**Sensores catalíticos<sup>12</sup>.** A estos sensores también suelen llamarlos pellistores (palabra formada por la combinación de las palabras en inglés *pellet* y *resistor*). Su funcionamiento es por la oxidación del gas vía catalítica. Dado que estos son los sensores de gas más asequibles para el público en general, se ahondará un poco más en su configuración y en su funcionamiento.

**Figura 15.**

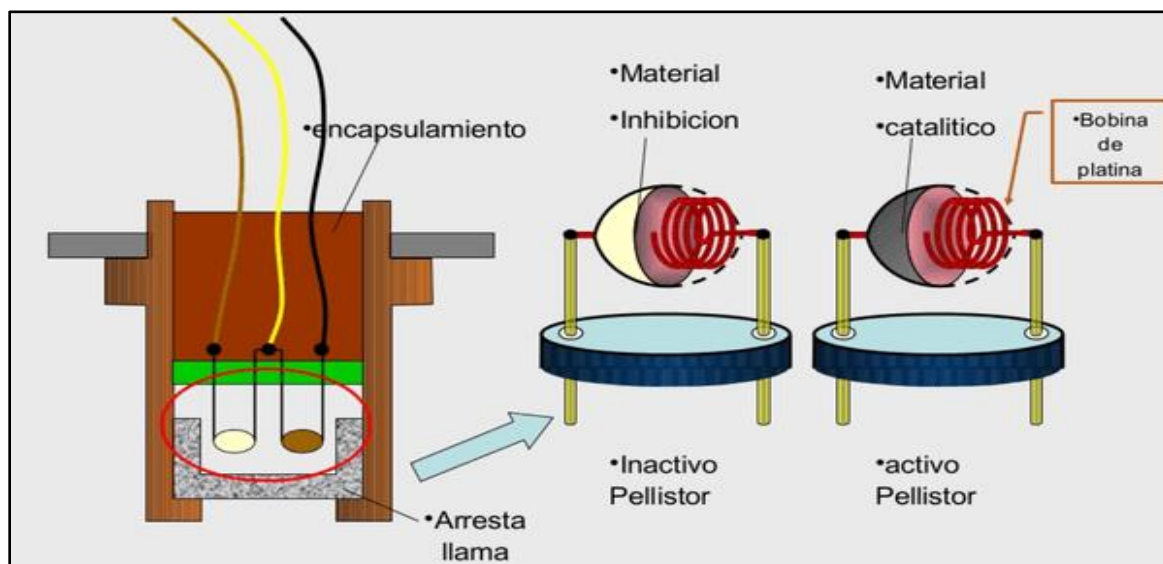
*Sensores electroquímicos*



*Nota:* Adaptado de ¿Cómo funcionan los sensores de gas?, (Anónimo, 2016)

<sup>11</sup> (Anónimo, 2016)

<sup>12</sup> (Anónimo, 2016)

**Figura 16.***Sensores catalíticos*

*Nota:* Adaptado de ¿Cómo funcionan los sensores de gas? (Anónimo,2016)

Estos sensores están compuestos por dos bobinas de platino, ambas encapsuladas en un material cerámico de alúmina. Uno de estos encapsulados está cubierto de un material catalizador (normalmente de paladio) que causa y acelera la oxidación del elemento (esta parte es conocida como elemento detector) mientras que el otro encapsulado no tiene ese material para la oxidación del gas (esta parte se conoce como elemento de referencia), por lo que es inerte.

Los sensores contienen una malla de hilos de acero y debajo de esta malla se encuentra confinado el elemento de sensado. La importancia de esta malla radica en los siguientes aspectos:

- Sirve como filtro al retener las partículas suspendidas que se encuentren en el ambiente, permitiendo solamente el paso de compuestos gaseosos.
- Protege las bobinas encapsuladas.
- Es una malla anti – explosión que mantiene al sensor intacto a altas temperaturas.

**Tabla 4.***Sustancias detectadas por los sensores*

<b>Modelo</b>	<b>Sustancias detectadas</b>	<b>Calentador</b>
MQ-2	Metano, butano, GLP, humo	5V
MQ-3	Alcohol, Etanol, humo	5V
MQ-303A	Alcohol, etanol, humo	0.9V
MQ-4	Metano, gas natural comprimido (GNP)	5V
MQ-5	Gas natural, GLP	5V
MQ-6	Butano, GLP	5V
MQ-306A	Butano, GLP	0.9V
MQ-7	Monóxido de carbono	Alternado 5V y 1.4V
MQ-307A	Monóxido de carbono	Alternado 0.2 y 0.9V
MQ-8	Hidrógeno	5V
MQ-9	Monóxido de carbono, gases inflamables	Alternado 5V y 1.5V
MQ-309A	Monóxido de carbono, gases inflamables	Alternado 0.2 y 0.9V
MQ-131	Ozono	6V
MQ-135	Benceno, alcohol, humo, calidad del aire	5V
MQ-136	Ácido sulfhídrico	5V
MQ-137	Amoniaco	5V
MQ-138	Benceno, tolueno, alcohol, acetona, propano, formaldehido, hidrógeno	5V
MQ-214	Metano, gas natural	5V
MQ-216	Gas natural, gas carbón	6V

*Nota:* Adaptado de Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ, (Llamas, 2016)

En Colombia, ya hace varios años, se ha venido implementando dispositivos electrónicos encaminados a la exploración de las características de los frutos, buscando el continuo mejoramiento del producto final, realizando un estudio consciente de las estadísticas inferidas de los resultados obtenidos. Es así como aparece el olfato electrónico con el cual podemos obtener las señales emitidas por cada una de las características que hacen especiales cada tipo de producto.

### Capítulo III. Rediseño Cámara de Concentración y de Medida de Compuestos Volátiles

En este capítulo analizaremos los aspectos inherentes para el rediseño de una cámara de concentración y de medida de compuestos volátiles emitidos por almendras de cacao procedente de un proyecto de investigación PIE realizado en el año 2019 el cual consistía en la implementación de un sistema electrónico multisensorial para caracterización y detección de sustancias volátiles, aplicado a la etapa del proceso secado y tostado de cacao ejecutado por docentes de la UNAD. El rediseño se tendrá en cuenta la capacidad de la cámara de medida, implementando una nueva cavidad denominada “cámara de concentración de gases”, además, se tiene en cuenta elementos electrónicos y eléctricos más pequeños para minimizar el consumo de energía al realizar los diferentes análisis.

#### Figura 17.

*Nariz electrónica y plataforma de análisis*



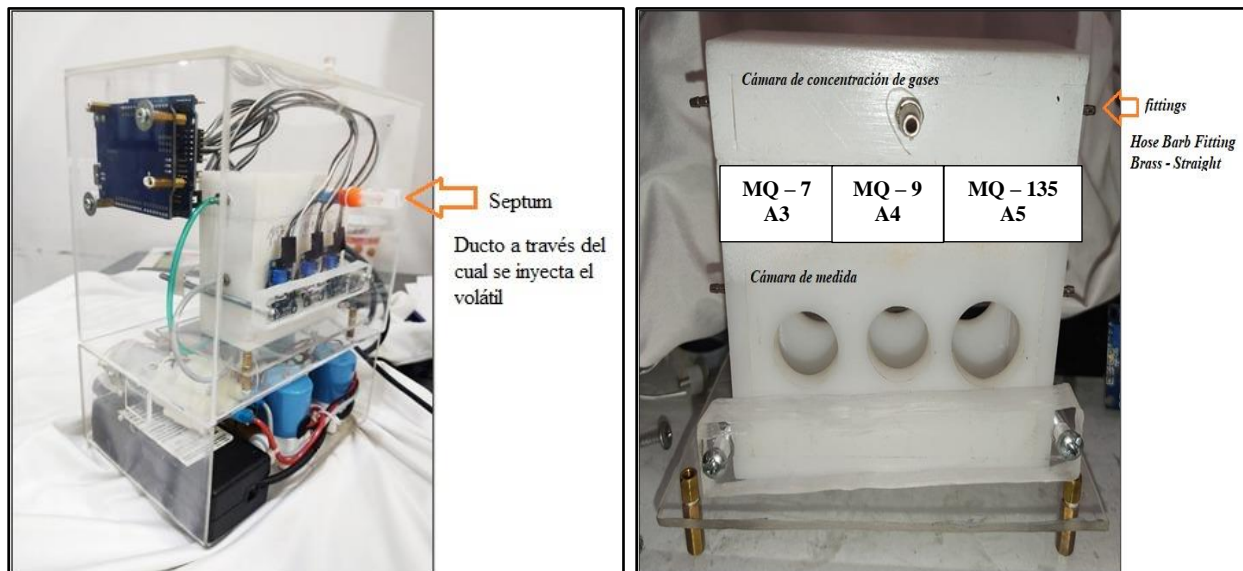
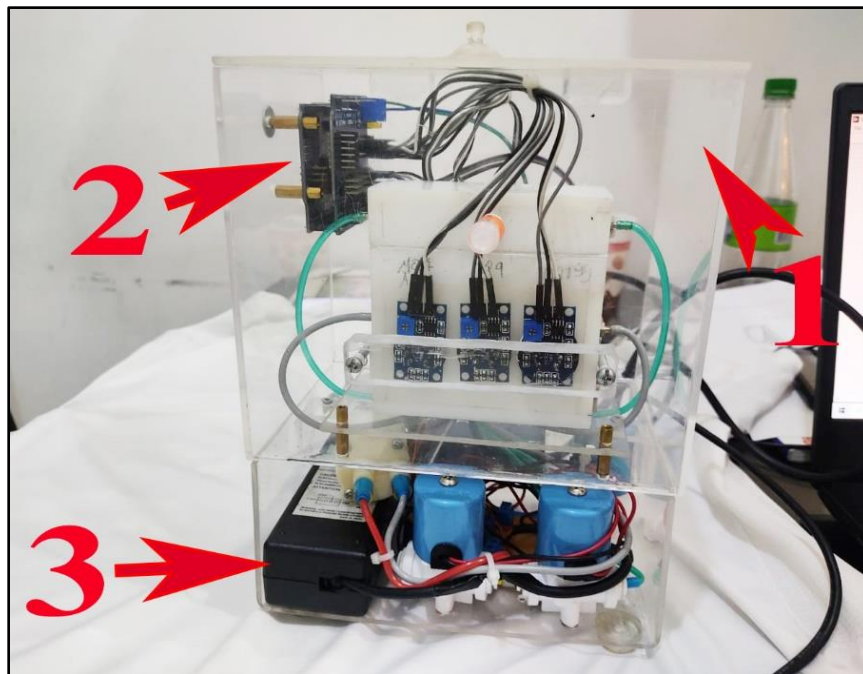
*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

En la Figura 18 se observa el sistema de olfato electrónico, en donde se divide de la siguiente manera:

1. Sistema de protección en acrílico transparente 5mm para proteger el sistema de medición.
2. Tarjeta ARDUINO UNO.
3. Fuente de voltaje

**Figura 18.**

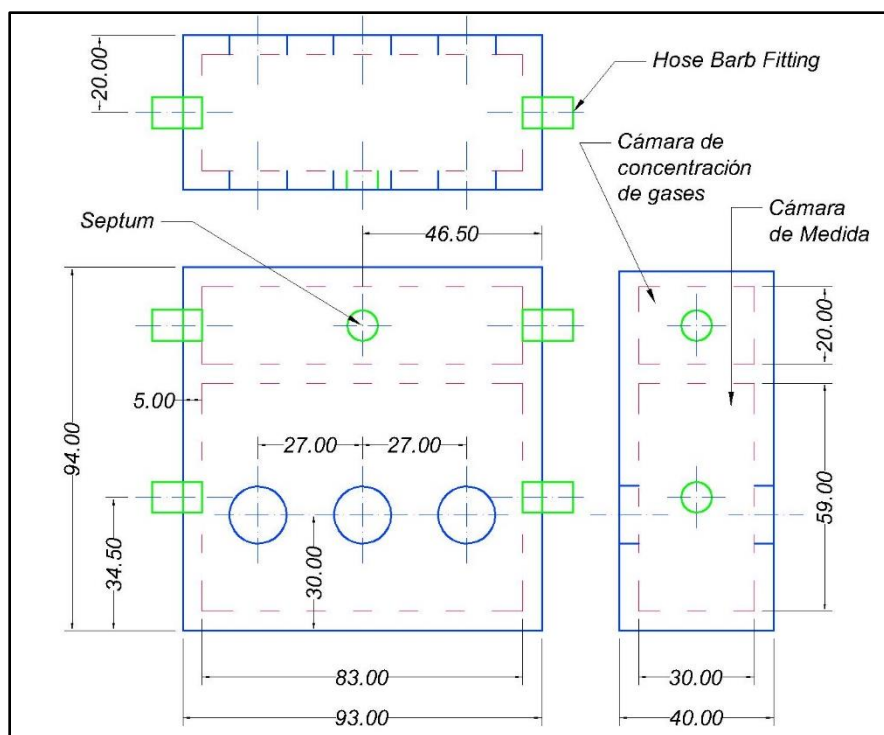
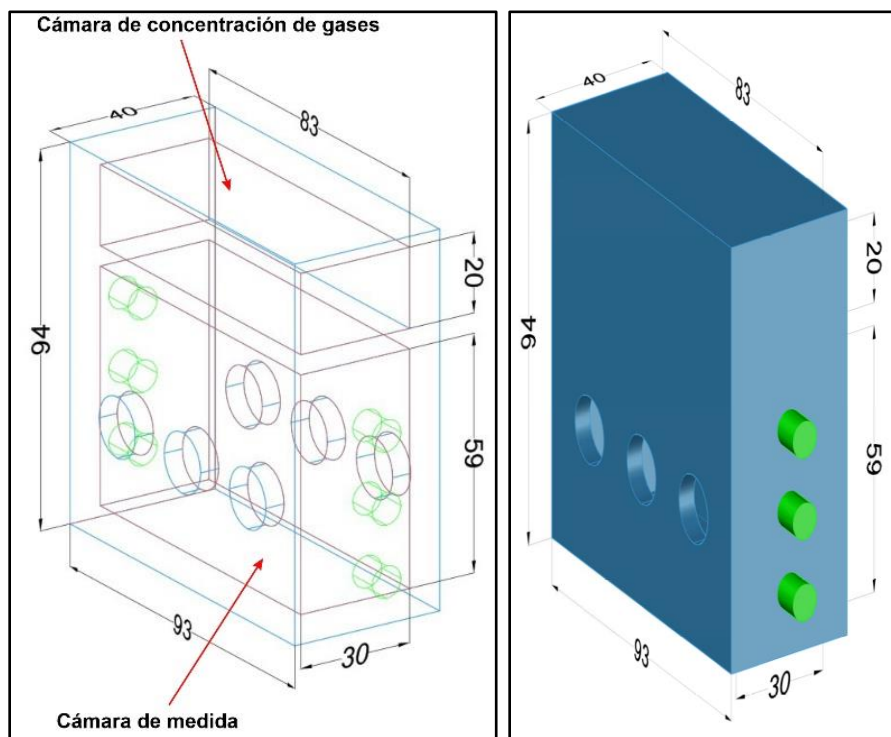
*Dispositivo de olfato electrónico optimizado*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 19.**

*Cámara de medida y cámara de concentración de gases*



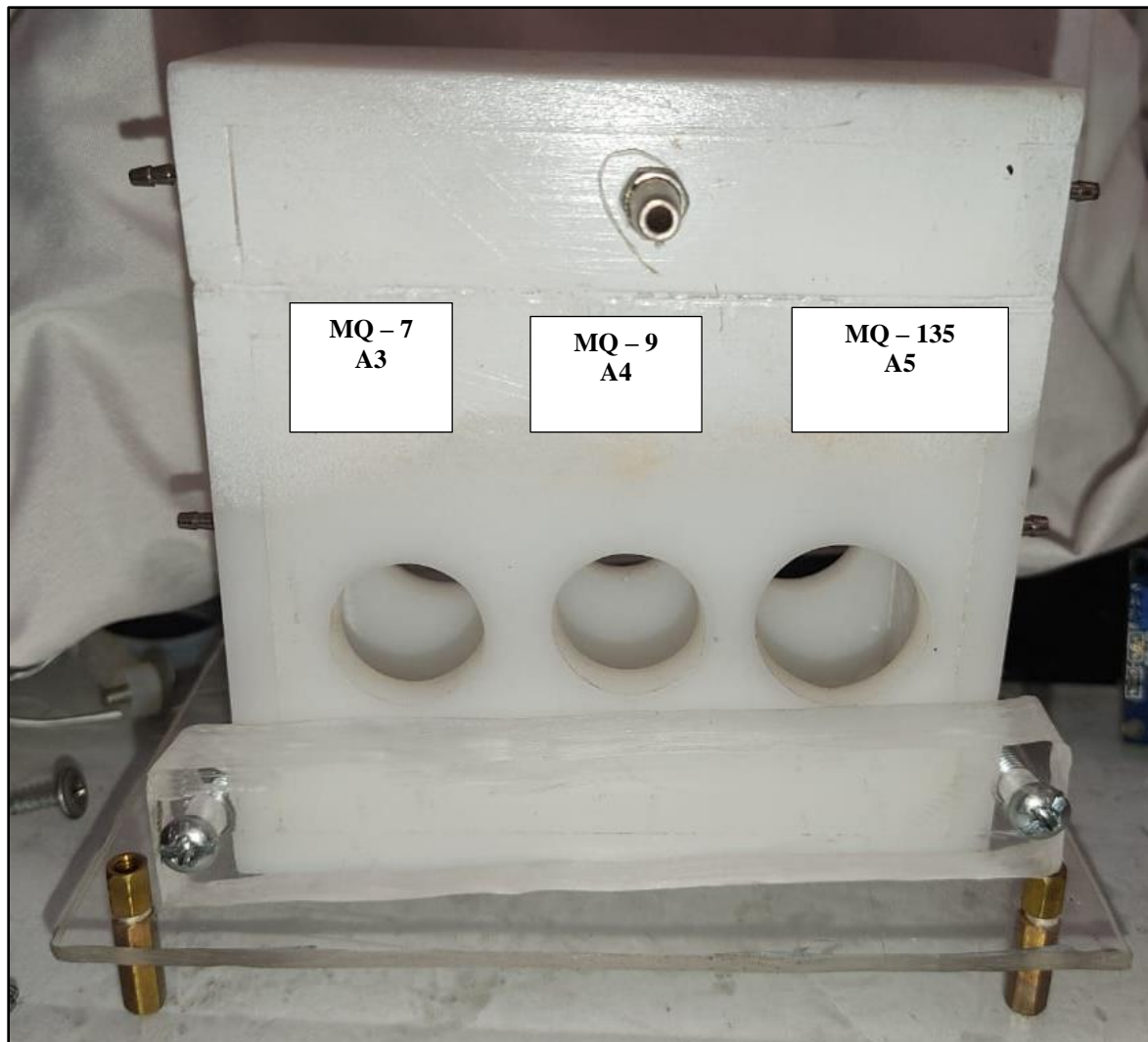
*Nota:* Adaptado en AutoCAD, (Autor, 2021)



La cámara mostrada en la Figura 19 se encuentra dividida en dos compartimentos, el superior corresponde a la cámara de concentración de gases y la inferior corresponde a la cámara de medida.

**Figura 20.**

*Cámara de concentración de gases y de medida*



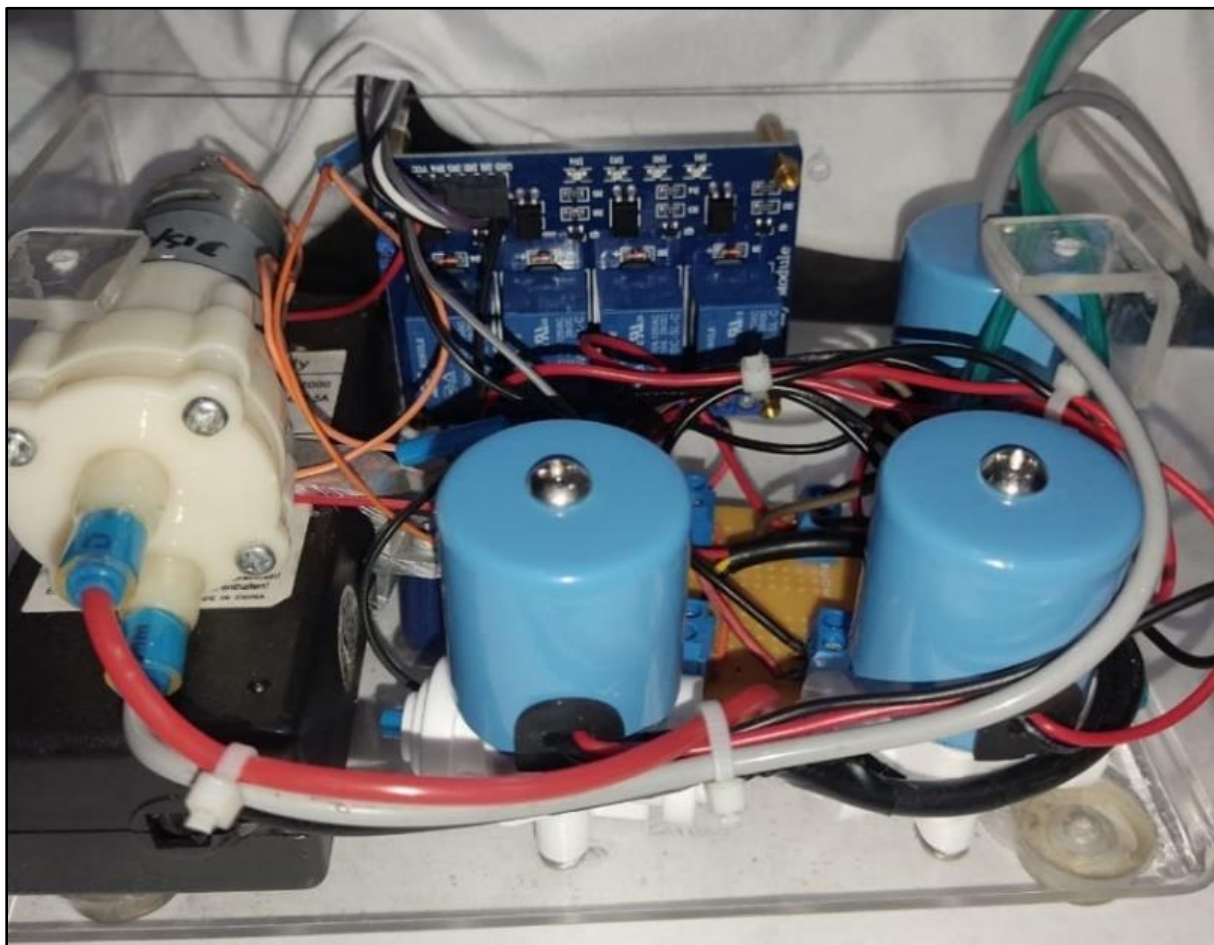
*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

En la Figura 20 se muestra la cámara de medida y de concentración de gases implementada en la optimización de la nariz electrónica previamente diseñada, y ya referenciada,

en la imagen se observa las cavidades en donde irán aplicados los sensores, además se hayan cuatro (4) racores de pestillo para manguera de  $\text{Ø}1/8''$  para el flujo de gas entre las cámaras de concentración y de medida pasando previamente por la bomba de aire y un (1) racor de pestillo para manguera de  $\text{Ø}1/4''$  por donde se inyecta el gas a la cámara de concentración.

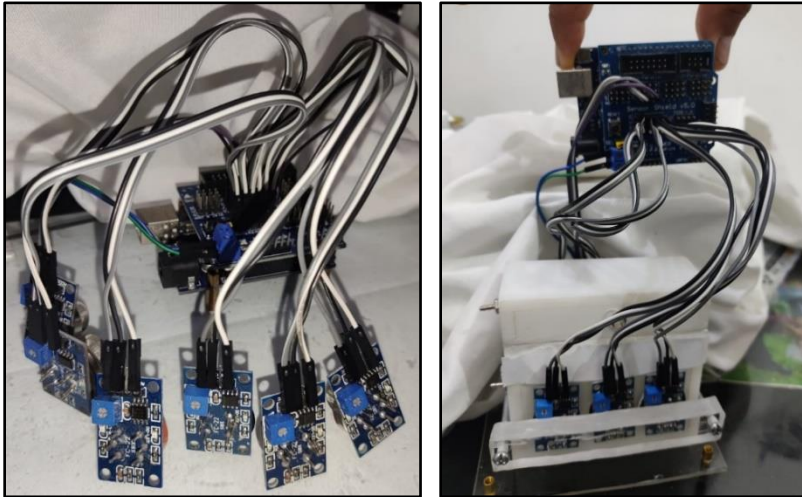
**Figura 21.**

*Sistema de flujo*

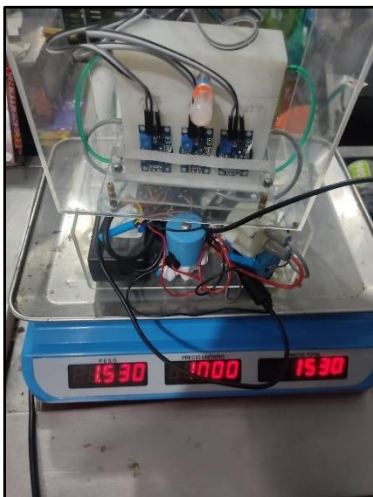


*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

En la Figura 21 se muestra el sistema de flujo compuesto por tres (3) válvulas solenoide, una bomba de aire de 12V, mangueras de alta presión siliconada de  $\text{Ø}1/8''$  para conexiones de agua y aire, resistente a alta temperatura sin perder flexibilidad.

**Figura 22.***Sistema de adquisición de datos**Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

En la Figura 22 se muestra el montaje con las conexiones entre los sensores, la tarjeta ARDUINO UNO con tarjeta shield de expansión y la cámara de medida de gases para la toma de datos y posterior análisis en el software diseñado para tal fin.

**Figura 23.***Peso total de dispositivo de olfato electrónico rediseñado**Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

En la Figura 23 se observa que el olfato electrónico implementado tiene un peso total de 1.530 gr. Además, se le midió un consumo de 1.290 mA, en corriente continua.

En este capítulo se socializa el rediseño de las cámaras de medida y de concentración de compuestos volátiles junto con la estructura física que aloja el hardware requerido para el funcionamiento del sistema en general, conformados por una tarjeta de adquisición de datos Arduino Uno, fuente de alimentación, sensores de gases, actuadores, sistema de flujo de aire, necesarios para hacer una toma de datos idónea, que, después, servirán como base para los análisis de las muestras de cacao en estado fermentado, sobre fermentado y seco.

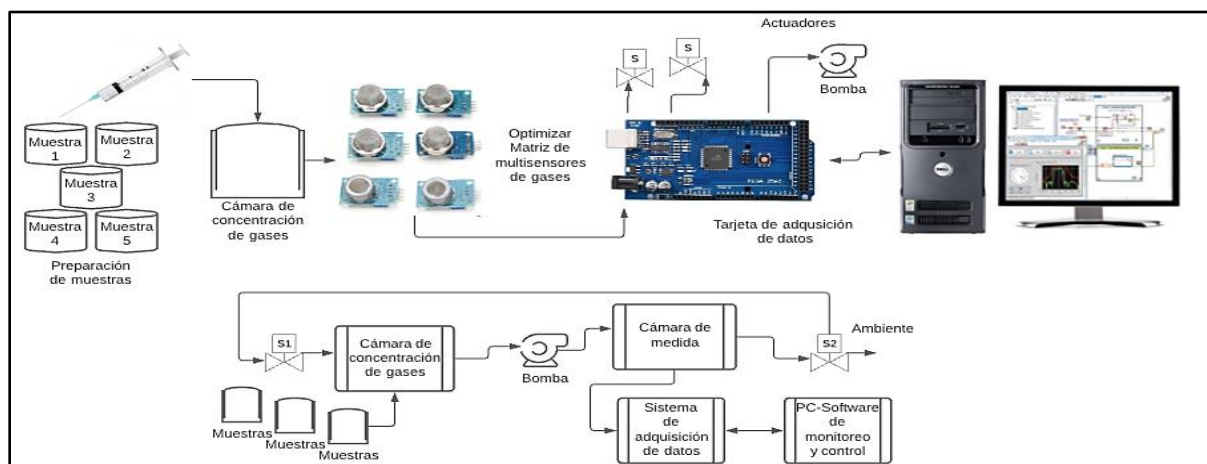
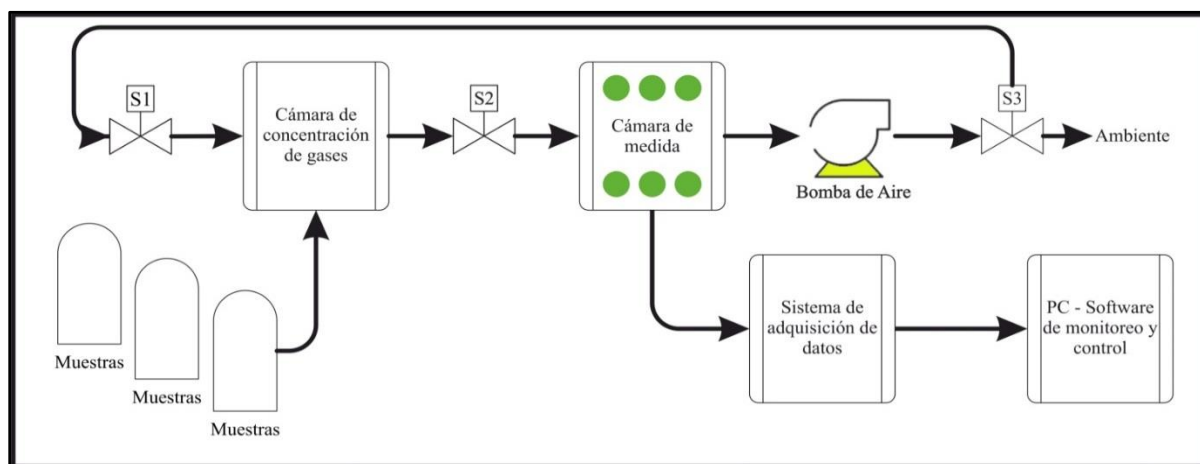
## Capítulo IV. Hardware y Software que Integran el Sistema de Olfato Electrónico

En este capítulo se presenta el diagrama de bloques que integra el sistema de olfato electrónico, y describe características técnicas de los dispositivos implementados.

### Esquema General – Diagrama de Bloques del Sistema

Figura 24.

Diagrama de Bloques del Sistema



Nota: Adaptado, (Autor, 2021)

1. El primer proceso de la bomba activa las tres válvulas solenoides para realizar la limpieza de residuos gaseosos de las cámaras, enviándolos al ambiente y, así, evitar contaminación en la nueva muestra.

2. Luego de la limpieza se suspende el voltaje de todo el dispositivo para proceder a inyectar el compuesto objeto de análisis.
3. El software de adquisición de datos realiza un conteo, o espera, de 5 minutos para iniciar la medida requerida. Se establece este lapso de tiempo para que el gas inyectado estabilice sus condiciones dentro de la cámara de concentración para realizar un análisis óptimo.
4. La información obtenida en el análisis es enviada de forma automática a una hoja de cálculo para realizar las respectivas gráficas.
5. El dispositivo se activa nuevamente para realizar la limpieza post – análisis.

### **Sensores Aplicados al Proyecto.**

En el desarrollo e implementación del rediseño propuesto en el presente proyecto hubo necesidad de utilizar los siguientes sensores de gas del tipo MQ:

#### ***Sensor MQ – 2<sup>13</sup>***

Este sensor puede detectar una variedad de gas inflamable, es un sensor de bajo costo para una variedad de aplicaciones.

### **Características**

1. Usando diseño de doble panel de alta calidad, con el indicador de energía y TTL instrucciones de salida de la señal.
2. La señal de conmutación que tiene una DO (TTL) de salida y la salida analógica AO.
3. Tensión de salida analógica con la mayor concentración de mayor voltaje.
4. Dimensiones del producto: 32(L) \* 20(W) \* 15(H).
5. Tiene una larga vida y estabilidad fiable.
6. Características de respuesta y recuperación rápidas

---

<sup>13</sup> (Naylamp Mechatronics, 2019b)

- Chip: LM393, ZY MQ – 2 sensor de gas.
- Voltaje de funcionamiento: DC 5V.
- Detección de gases: gases combustibles, gases.
- Concentración detectable :300- 10000 ppm (gas inflamable).

### Propiedades Eléctricas

1. Voltaje de entrada: DC5V Consumo de energía (corriente): 150mA.
2. Salida DO: TTL digitales 0 y 1 (0,1V y 5V).
3. Salida AO: 0,1V – 0,3V (en relación a la contaminación), la concentración máxima de un voltaje de alrededor de 4V.

Nota especial: Después de que se alimenta el sensor, necesita calentarse alrededor.

### Conexión

1. VCC: alimentación positiva (5V).
2. GND: fuente de alimentación es negativo.
3. DO: salida de la señal TTL de conmutación.
4. AO: salida de la señal analógica.

### Figura 25.

*Sensor MQ – 2*



Nota: Adaptado (Autor, 2021)

### **Sensor MQ – 3**

Es muy sensible al alcohol y de menor sensibilidad a la bencina, también es sensible a gases como GLP, Hexano, CO y CH<sub>4</sub>, pero con sensibilidad muy baja, la cual se puede despreciar si hay poca concentración de estos<sup>14</sup>.

Tiene una alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta. Este proporciona una salida resistiva analógica basada en la concentración de alcohol. El circuito de control es muy simple, todo lo que necesita es una resistencia. Una interfaz simple podría ser un ADC 0-3.3V<sup>15</sup>.

#### **Características típicas de sensibilidad del MQ – 3:**

- Temperatura: 20 °C
- Humedad: 65%
- Concentración de O<sub>2</sub>: 21%
- RL = 200 kΩ
- Ro: Resistencia del sensor a 0,4 mg/L de Alcohol en el aire limpio.
- Rs: Resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

#### **Figura 26.**

*Sensor de Alcohol MQ – 3*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

---

<sup>14</sup> (Naylamp Mechatronics, 2019b)

<sup>15</sup> (Geek Factory, 2020)



El MQ – 3 sensor de alcohol, es apto para detectar la concentración de alcohol en el ambiente o para detectar alcohol en el aliento de una persona, justo como lo haría un alcoholímetro. El MQ – 3 posee una gran sensibilidad y tiempo de respuesta. La salida del sensor es de tipo analógica (resistivo) que varía en función de la concentración de alcohol detectada, te recomendamos utilizar un controlador como Arduino para poder manipular dicha señal de acuerdo a tus requerimientos y que tu proyecto funcione de forma adecuada.

### ***Sensor MQ – 6<sup>16</sup>***

El sensor MQ – 6 sensor de gas 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 200ppm y 1000ppm y es de utilidad para detección de fugas de gas en el hogar y en la industria. Su velocidad de respuesta es bastante buena, por lo que puede activar cualquier dispositivo de manera oportuna.

La presentación es en un módulo que puede conectarse a un microcontrolador y se incluye la electrónica básica para realizar la interfaz con el sensor.

Este sensor es ideal para utilizarse en equipos de detección de fugas de gas, ya que evita los errores introducidos por alcohol, el humo de cocina y de cigarrillos.

### **Características del MQ – 6 Sensor de Gas**

1. El sensor se alimenta con 5V.
2. Alta sensibilidad a LPG (LPG) y Gas Natural (LNG).
3. Poca sensibilidad a alcohol y humo.
4. Rápida velocidad de respuesta.
5. Estable y de larga vida.

---

<sup>16</sup> (BricoGeek, 2018)

## 6. Circuito de manejo simple.

### Figura 27.

#### *Sensor MQ – 6*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

Se utilizan en equipos de detección de fugas de gas residencial y en la industria, son adecuados para la detección de GLP, isobutano, propano, GNL, evita el ruido del alcohol y los vapores de la cocina y el humo del cigarrillo.

#### *Sensor MQ – 7<sup>17</sup>*

El sensor MQ – 7 es un sensor para la detección de monóxido de carbono (CO) para medir la concentración de este gas en el aire. La presentación del sensor es en un módulo que contiene toda la electrónica necesaria para el funcionamiento del sensor. El MQ – 7 puede medir concentraciones de gas monóxido entre 20 a 2000 partes por millón (ppm).

El sensor MQ – 7 posee una alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta, es muy fácil además realizar la interfaz del sensor con un microcontrolador, ya que podemos usar un pin de

---

<sup>17</sup> (Geek Factory, 2019a)

entrada analógico para medir la concentración del gas. Las conexiones que requiere el sensor son muy básicas solo requiere alimentación de 5V para el elemento calefactor.

En esta presentación el sensor MQ – 7 se entrega en un módulo que contiene toda la electrónica básica necesaria para el funcionamiento del sensor, entregando una señal analógica y digital. La sensibilidad de la señal digital puede ajustarse mediante un potenciómetro colocado en el módulo.

### **Características del MQ – 7 Sensor de Monóxido de Carbono**

1. Módulo que incluye el sistema mínimo necesario para el funcionamiento del sensor MQ – 7.
2. Basado en el sensor LM393.
3. Salida analógica y digital, esta última funciona mediante un comparador analógico.
4. Voltaje de alimentación 5V.
5. Detección de concentración de gas monóxido, ideal para alarmas de gas y aplicaciones industriales.
6. Ajuste de umbral para salida digital mediante potenciómetro.

### **Figura 28.**

*Sensor MQ – 7*

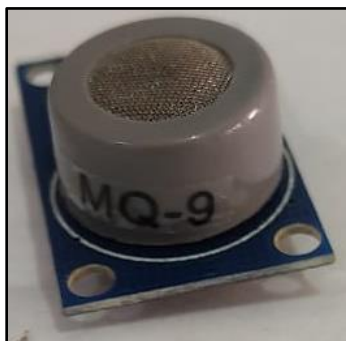


*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

## *Sensor MQ – 9<sup>18</sup>*

### **Figura 29.**

#### *Sensor MQ – 9*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

Este sensor de gas de semiconductor detecta la presencia de monóxido de carbono en concentraciones de 10 a 1000 ppm y de gas combustibles de 100 a 10.000 ppm. Sencilla interfaz de tensión analógica del sensor requiere sólo un pin de entrada analógica del microcontrolador. Rango temperatura de: -10°C a 50°C, consumo de corriente: 150 mA a 5 V.

#### **Aplicaciones:**

1. Detector de fugas de gas doméstico.
2. Detector de gas industrial.
3. Detector de gas portátil.

#### **Especificaciones:**

1. Voltaje de operación: 5V.
2. Tipo de interfaz: Analógica.
3. Definición de pines: 1 – Output 2 – GND 3 – VCC.

---

<sup>18</sup> (Geek Factory, 2019b)

4. Tipo de Sensor: Semiconductor.
5. Concentración: 10 – 1000 ppm de CO y 100 – 10000 ppm gas combustible.
6. Buena sensibilidad a CO/gas combustible.
7. Alta sensibilidad al metano, propano y CO.
8. Larga vida útil y bajo costo.
9. Tamaño: 40mm x 20mm.

*Sensor MQ – 135<sup>19</sup>*

**Figura 30.**

*Sensor MQ – 135*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud, especialmente en equipos controladores de calidad de aire en edificios de oficinas.

---

<sup>19</sup> (Naylamp Mechatronics, 2019a)

Este sensor se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes, tal y como los son sus análogos MQ – 3/4/5. La señal de salida que proporciona el MQ – 135 es dual, de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje. La señal digital, esta presenta niveles TTL por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador.

### **Especificaciones Técnicas**

- *Voltaje de operación:* 5V DC
- *Corriente de operación:* 150mA
- *Potencia de consumo:* 800mW
- *Tiempo de precalentamiento:* 20 segundos
- *Resistencia de carga:* Potenciómetro (Ajustable)
- *Detección de partes por millón:* 10ppm – 1000ppm
- *Concentración detectable:* Amoniac, sulfuro, benceno, humo
- *Concentración de oxígeno:* 2% – 21%
- *Humedad de operación:* <95%RH
- *Temperatura de operación:* -20°C – 70°C

### **Características**

- Amplio alcance de detección.
- Respuesta rápida y alta sensibilidad.
- Estable y de larga duración.
- Circuito de impulsión simple

Se utilizan en equipos de control de calidad del aire para edificios / oficinas, son adecuados para la detección de NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, alcohol, Benceno, humo, CO<sub>2</sub>, etc.

## Actuadores<sup>20</sup>

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina neumático, hidráulico o eléctrico.

### Válvula Solenoide<sup>21</sup>

#### Figura 31.

*Válvula solenoide utilizada*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

Una válvula solenoide es un dispositivo cuyo fin es controlar el flujo de líquidos o gases, que es accionado eléctricamente, y que puede, además, ser instalado en lugares remotos o de difícil acceso o sometidos a condiciones de trabajo hostiles. Este tipo de válvulas puede ser controlado por interruptores eléctricos simples, termostáticos, de flotador, de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico.

<sup>20</sup> (AIE, 2019)

<sup>21</sup> (ELECTROINDUSTRIA, 2019)

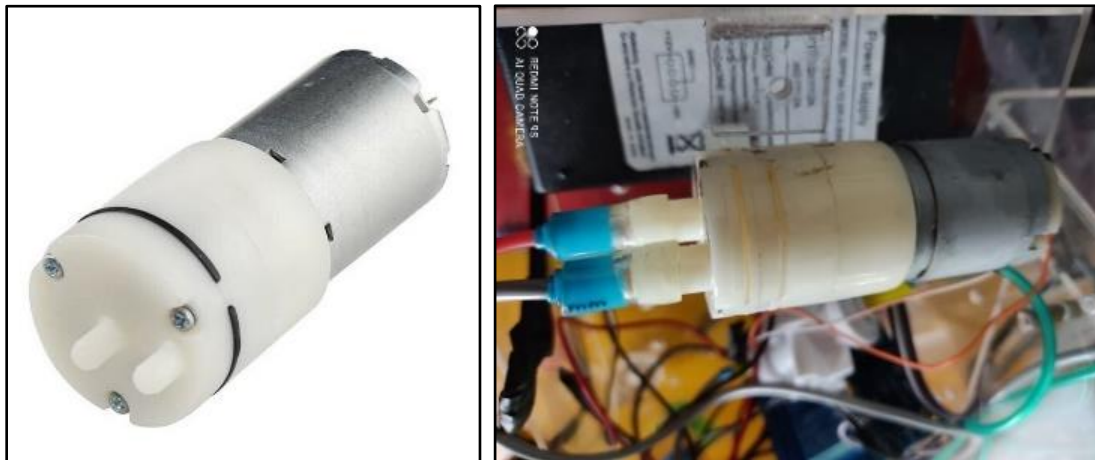
Las válvulas solenoides están formadas por dos partes accionantes distintas, pero complementarias: el cuerpo de la válvula y un solenoide ubicado dentro de la bobina eléctrica, es decir, el término “solenoides” no se refiere a la válvula misma, sino más bien a la bobina montada sobre ella.

### ***Bomba de Aire<sup>22</sup>***

La bomba de vacío tiene las ventajas de un tamaño pequeño, bajo nivel de ruido, operación libre de mantenimiento y operación continua durante 24 horas, que puede usarse para muestreo de gas, filtración de aceleración de circulación de gas, refuerzo de vacío de automóvil, bioingeniería, control automático, tratamiento de agua, protección ambiental, etc.

### **Figura 32.**

*Bomba de aire de 3V – 12V usada en el proyecto*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

### **Características:**

- Voltaje de trabajo: DC 3 – 12V
- Corriente de trabajo: <450mA

---

<sup>22</sup> (C & D Technologia, 2020)



- Temperatura de trabajo: 0 – 50°C
- Tiempo de inflado: <5 segundos (tanque 500CC de 0 a 300 mmHg)
- Velocidad de flujo: >2.4L / min
- Presión máxima: >600 mmHg
- Vacío: >400 mmHg
- Ruido: <60dB (30 cm de distancia)
- Vida: 100.000 ciclos 400 – 500 horas
- Temperatura de trabajo: 0 – 50°C
- Peso: 62g
- El siguiente es el tamaño de la corriente bajo diferentes voltajes:
- Voltaje de 3V – Corriente de bombeo: 0,2A – 0,4A.
- Voltaje de 6V – Corriente de bombeo: 0,23A – 0,7A.
- Voltaje de 12V – Corriente de bombeo: 0,3A – 0,72A.

El siguiente es el flujo de bombeo/bombeo por minuto:

- Voltaje de 3V – Flujo de bombeo: 1,1L/minuto – 300 ml/minuto.
- Voltaje de 6V – Flujo de bombeo: 1,8L/minuto – 600 ml/minuto.
- Voltaje de 12V – Flujo de bombeo: 2,4 L/minuto – 750 ml/minuto.

### **Tarjetas de Acondicionamiento de Señal<sup>23</sup>**

Los sistemas de adquisición de datos deben conectarse a una amplia variedad de sensores y señales para hacer su trabajo.

---

<sup>23</sup> (DEWESoft, 2020)

**Figura 33.***Tarjeta relé**Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)**Fuente de voltaje<sup>24</sup>****Figura 34.***Fuente de voltaje YH 3018**Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)**Características****Número de Modelo:** YH – 3018**Tipo de salida:** DC**Conexión:** Enchufar

---

<sup>24</sup> (Alibaba, 2019)

**Entrada:** 100V – 240V/AC 1A Max 50/60Hz

**Salida:** 5V/12V – 2A/2.5A

**Uso:** Portátil

**Enchufe de CA:** Modelo UE, UA, EE.UU., Reino Unido

**Conectores de CC:** 4 Pines

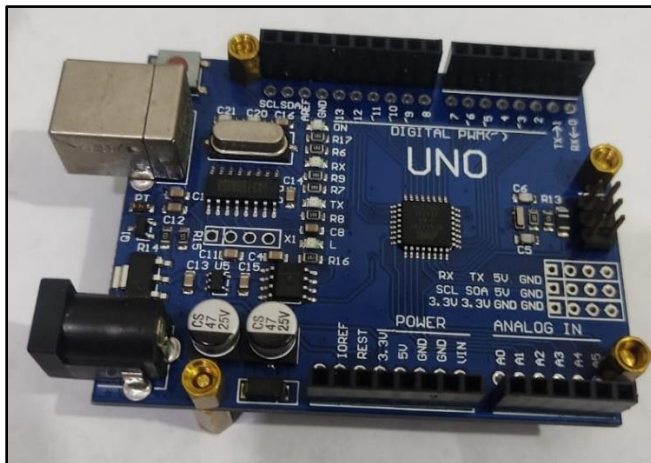
**Drivers en Windows 2000/Me/XP:** No se necesita

**Fuente de alimentación HDD:** Adaptador único/conjunto completo

**Tarjeta Arduino**

**Figura 35.**

*Tarjeta ARDUINO UNO*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. (Penalva, 2016)

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son **circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones**, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

### ***Tarjeta Shield para Arduino***<sup>25</sup>

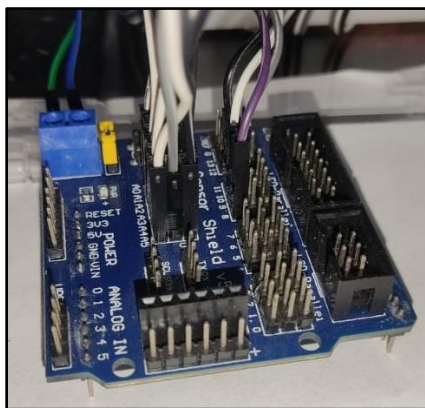
Las shields son las placas que se montan encima de otras y sirven para brindar alguna funcionalidad extra o ampliar las capacidades de hardware de nuestro ARDUINO, como por ejemplo manejo de motores, conectividad ethernet o wifi, etc.

Las Shields por lo general son apilables, pudiendo montar varios “pisos” de placas uno arriba de otro.

La palabra inglesa Shield se traduce como escudo o pantalla. En nuestro contexto, debe entenderse como algo que cubre la placa controladora, que crea una capa adicional de dispositivo, una pantalla detrás de la cual se esconden varios elementos.

### **Figura 36.**

*Shield de expansión ARDUINO UNO*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

---

<sup>25</sup> (Proyectos con Arduino, 2019)

## Cables

### *Cable de Datos*<sup>26</sup>

Este cable en su extremo tiene un conector tipo B estándar en el otro extremo y es muy útil para conexión de impresoras. También se usa ampliamente en la conexión del popular Arduino UNO.

### **Figura 37.**

#### *Cable de datos tipo A*



*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

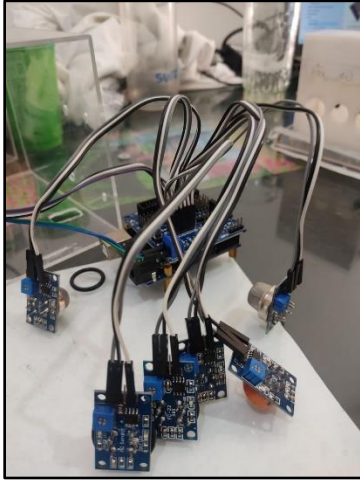
### *Cables Puente*<sup>27</sup>

Un cable puente para prototipos (o simplemente puente para prototipos), es un cable con un conector en cada punta (o a veces sin ellos), que se usa normalmente para interconectar entre sí los componentes en una placa de pruebas. Se utilizan de forma general para transferir señales eléctricas de cualquier parte de la placa de prototipos a los pines de entrada/salida de un microcontrolador.

---

<sup>26</sup> (ElectroniLab, 2020)

<sup>27</sup> (LinkFang, 2020)

**Figura 38.***Cable puente*

*Nota:* Adaptado, (Autor, 2021)

En este capítulo se realizó la descripción del diagrama de bloques que conforma el sistema para captura de compuestos volátiles y se asocian las características técnicas del hardware electrónico, estos son, sensores de gases MQ vinculados a la cámara de medida, válvulas tipo solenoide y bomba para flujo de aire, tarjeta de adquisición de datos, tarjeta de acondicionamiento de señal, alimentación del sistema, requeridos para la puesta en marcha de la nariz electrónica. Cabe resaltar que para la ejecución del sistema es importante realizar conexión mediante cable USB al equipo de cómputo para la posterior ejecución de la interfaz gráfica de usuario, que permitirá la interacción hombre máquina, encargada del monitoreo y control para la toma de datos de forma automática, implementando el uso del software LabVIEW.

## Capítulo V. Análisis de Resultados

En este apartado se documenta el desarrollo del análisis de resultados obtenidos, para lo cual se hace uso del diseño de una interfaz gráfica de usuario en LabVIEW, para los análisis de los gases volátiles emanados de las almendras del cacao, durante el proceso de fermentación, secado y sobre fermentado, el procesamiento de datos y la muestra de resultados en pantalla. También ha sido de gran utilidad el manejo de las librerías de Arduino UNO integradas en el paquete operacional con el software labview para almacenamiento de la adquisición de datos. Posterior se presentan los datos exportados a una hoja de cálculo en donde, fácilmente, se puede crear las gráficas que dan los parámetros para realizar el análisis de los resultados obtenidos del proceso en la nariz electrónica.

### Protocolo de Adquisición<sup>28</sup>

Los tiempos de ejecución para la adquisición y almacenamiento de datos se definen de manera que se garantice la línea base de la señal, en este caso para el tiempo e limpieza se requieren 300 segundos, seguido inicia el tiempo de concentración de volátiles, con una duración de 300 segundos, posterior se activa el sistema para inyección de flujo de aire en lazo cerrado e inicia la fase de captura de data, por un periodo de 600 segundos, finalmente el sistema ingresa en la fase de tiempo de extracción para retornar a condiciones iniciales, por un periodo de 300 segundos. El tiempo de ejecución por muestra es de 1500 segundos o 25 minutos.

### Protocolo de Muestreo<sup>29</sup>

Seleccionar 20 gramos por cada muestra de masa de cacao a analizar.

---

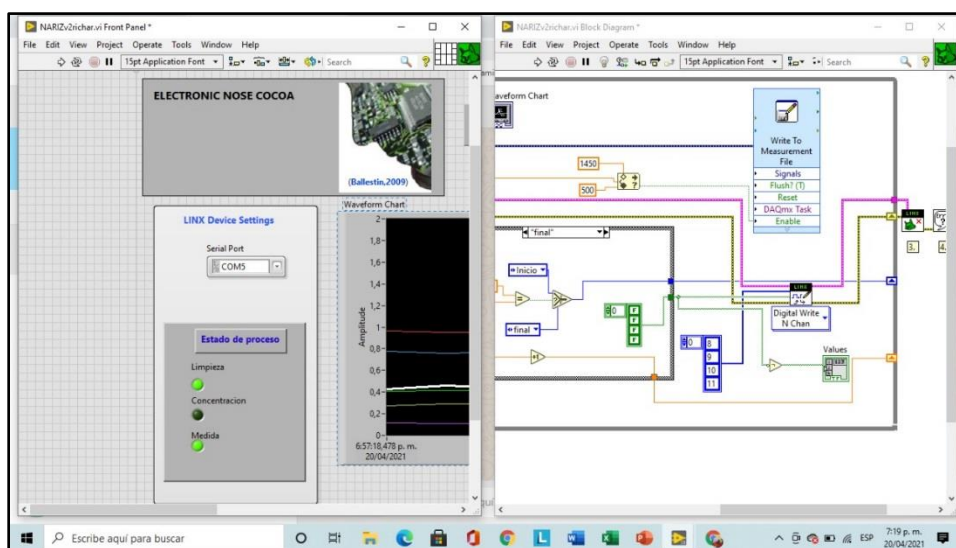
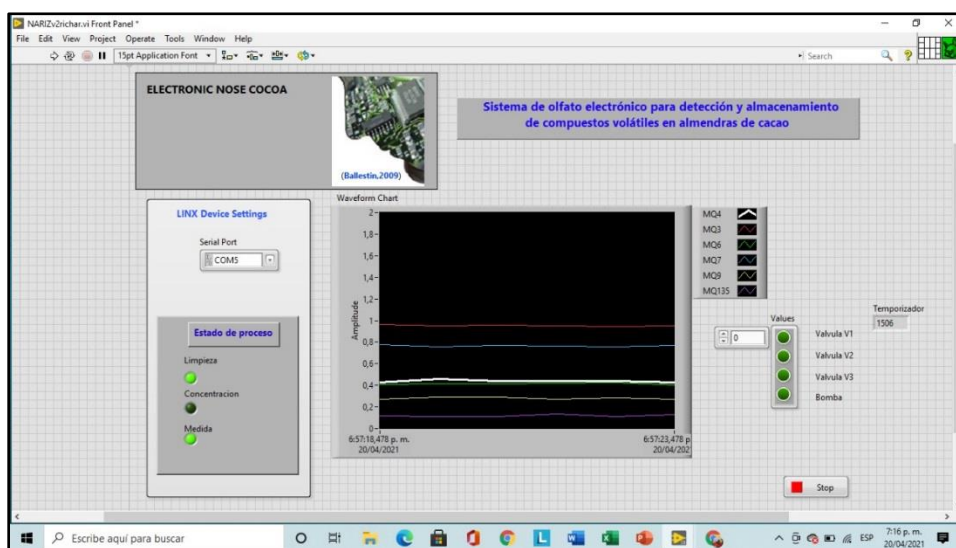
<sup>28</sup> (Flórez Martínez, 2019)

<sup>29</sup> (Flórez Martínez, 2019)

- ✓ Se utiliza un recipiente donde serán alojadas las muestras para proceder a pesar el material de estudio.
- ✓ El recipiente tiene un peso de 98.1 gramos, por tanto, las medidas oscilan entre 118 gramos y 120 gramos.
- ✓ Instrumento de medida, balanza digital.

**Figura 39.**

*Entorno software análisis de volátiles*

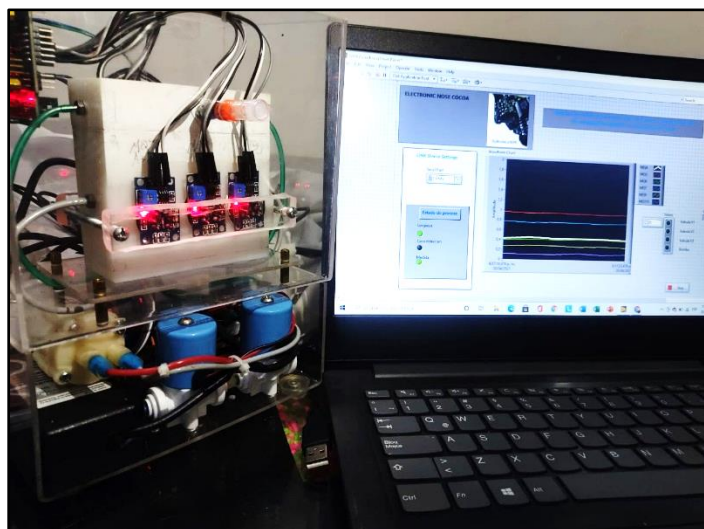


*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)



**Figura 40.**

*Software realizando análisis*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

### **Procedimiento de Obtención de Volátiles de la Almendra de Cacao**

Para la obtención de los compuestos volátiles que se desea analizar, a través del recurso de nariz electrónica rediseñado, se toman muestras, de 20 gr de almendra de cacao variedad clon TAME – 2, en 5 frascos de vidrio que luego se cierran, de forma hermética, con su respectiva tapa de goma, para evitar la fuga de los gases antes de las pruebas.

**Figura 41.**

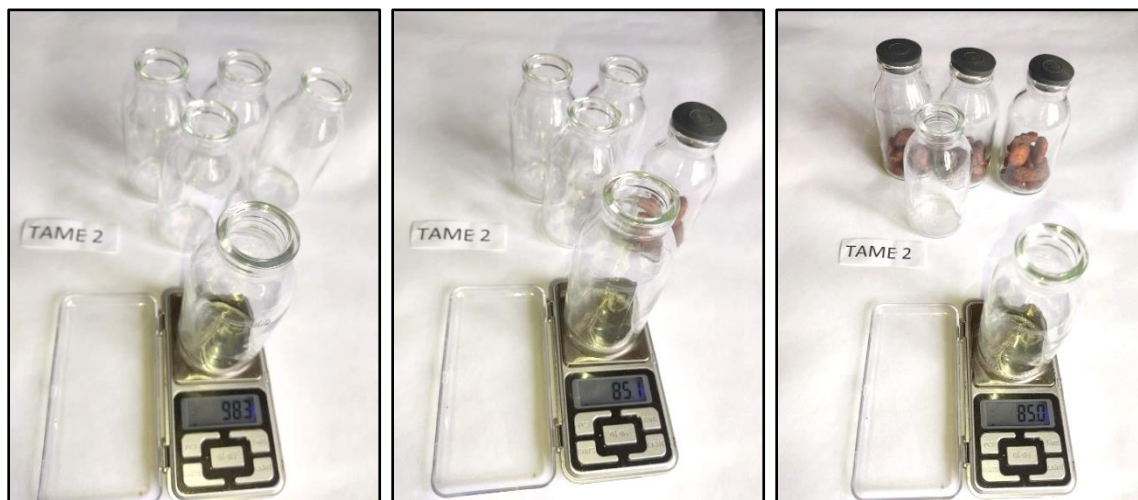
*Recipientes de vidrio con tapa de goma para cierre hermético*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 42.**

*Pesaje de recipientes de vidrio*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 43.**

*Pesaje de recipientes de vidrio*



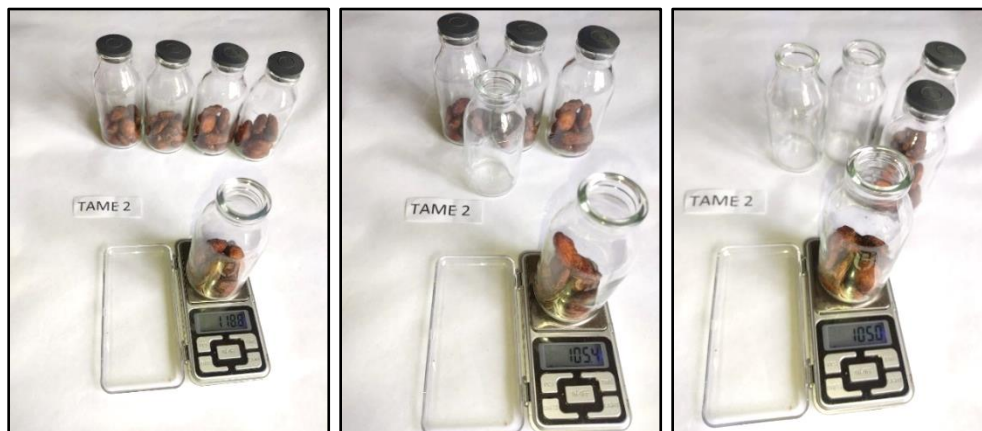
*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

En la Figura 42 y la Figura 43 se muestra el pesaje de cada uno de los recipientes utilizados para la toma de muestras dentro del procedimiento que realizaremos de análisis de compuestos volátiles de las almendras de cacao, de la variedad clon TAME – 2, después de su

proceso de fermentación. Como se puede observar se hizo el pesaje para cada uno de los 5 recipientes.

**Figura 44.**

*Pesaje de las almendras de cacao en el recipiente*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 45.**

*Pesaje de las almendras de cacao fermentado en el recipiente*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

En la Figura 44 y la Figura 45 se observa los diferentes pesajes (5 en total) de los recipientes, en donde ya se introdujo las almendras de cacao de la variedad clon TAME – 2. Aproximadamente en cada recipiente se vaciaron 20 gr de almendra de cacao y después de esto

se sellan, los recipientes, herméticamente con su tapa de goma correspondiente para aprisionar los gases y facilitar su recolección para el análisis.

**Figura 46.**

*Pesaje de las almendras de cacao seco en el recipiente*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 47.**

*Pesaje de las almendras de cacao sobrefermentado en el recipiente*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 48.**

*Recipientes de vidrio con almendras de cacao*

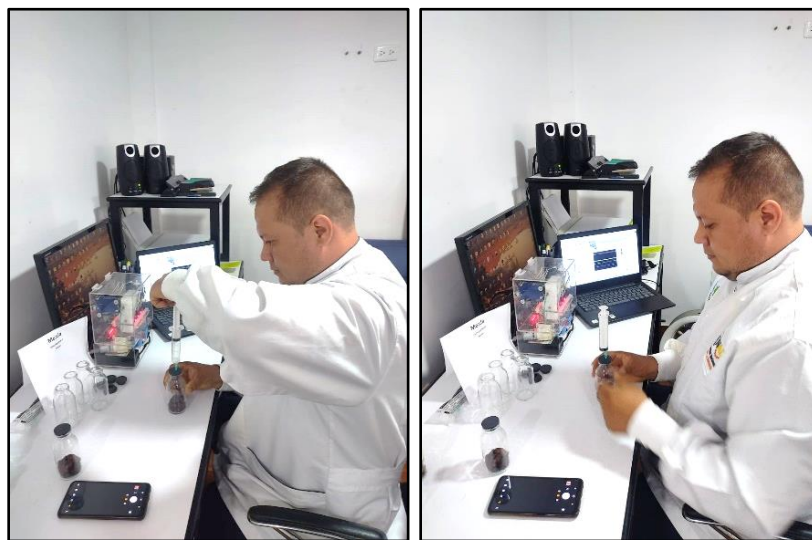


*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

Después de contener los gases dentro de los recipientes se procede a realizar la extracción, del mismo, en una cantidad de 20 ml que luego será inyectada a la cámara de concentración para su análisis.

**Figura 49.**

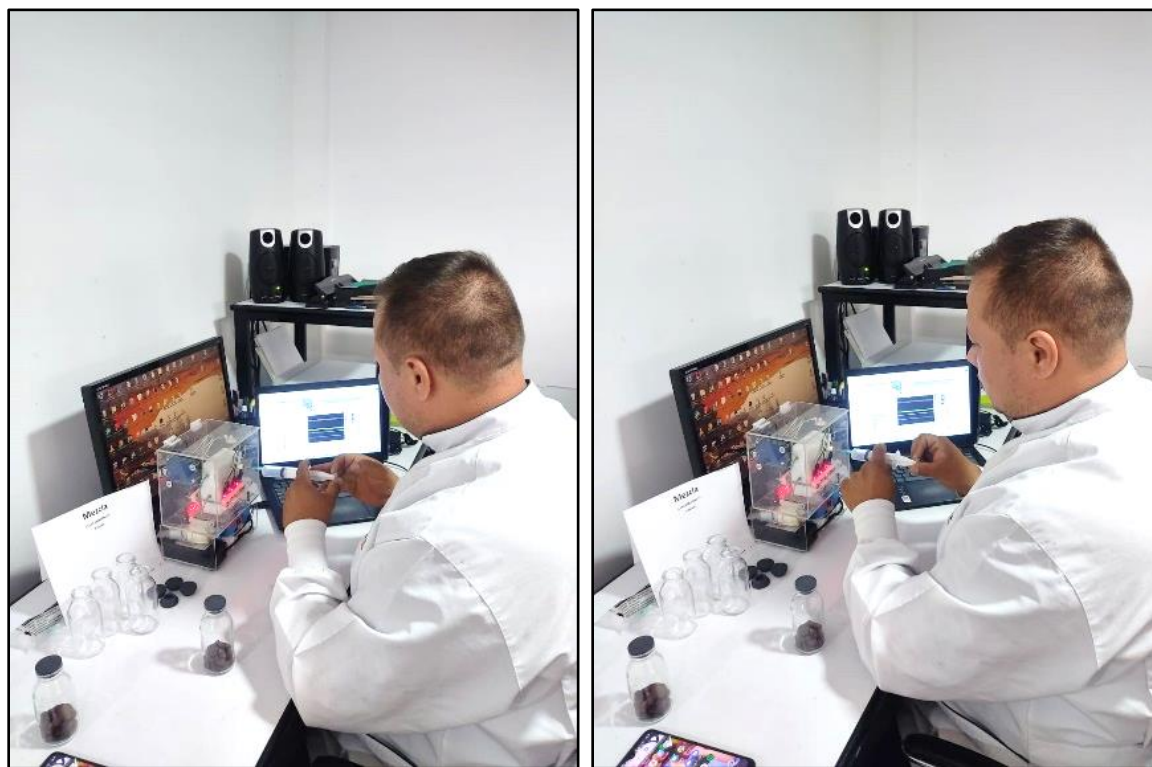
*Extracción de gas desde recipiente sellado*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

**Figura 50.**

*Inyección de gas en cámara de concentración*



*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

### ***Cámara de Concentración de Gases***

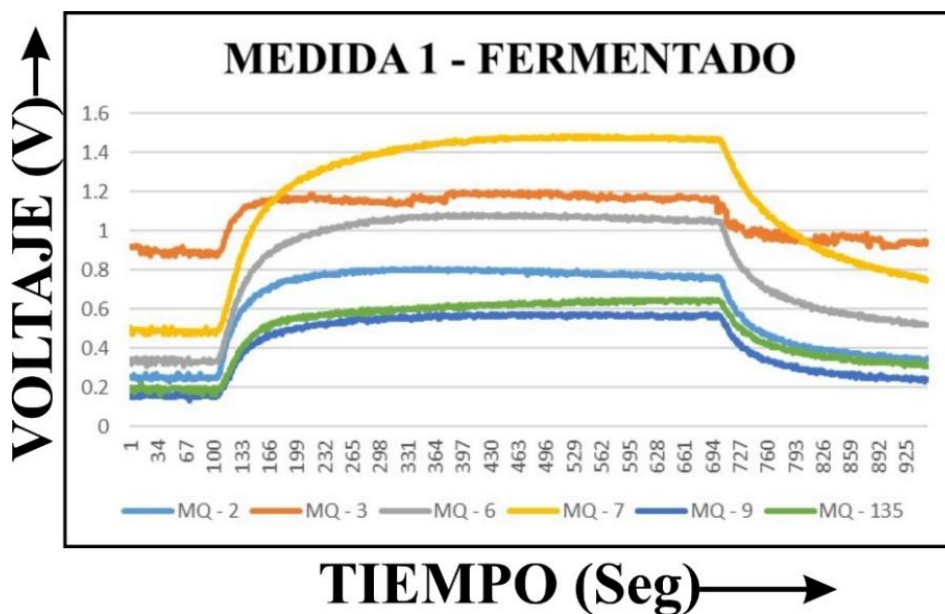
La función principal de la cámara de concentración es almacenar los compuestos volátiles conservando la hermeticidad.

### ***Curva Obtenida por la Plataforma en LabVIEW***

En adelante se observarán las gráficas obtenidas de los análisis realizados a los gases emanados de la almendra de cacao en las diferentes etapas como volteo, secado y fermentación. Para cada una de las etapas se mostrará varias gráficas de los procedimientos realizados, cada uno con una duración aproximada de 30 minutos contados desde la preparación hasta la limpieza de la cámara de concentración de gases.

**Figura 51.**

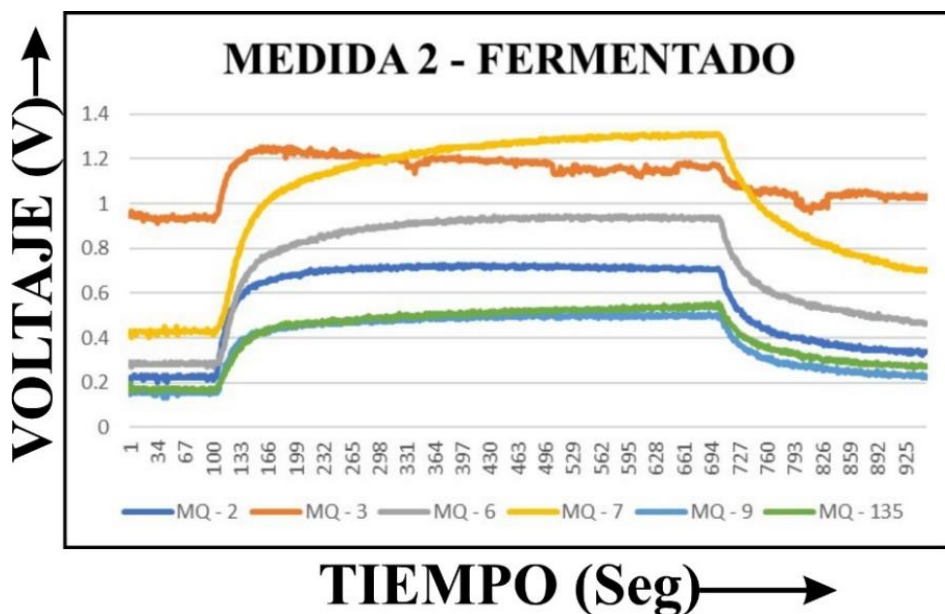
*Muestra 1 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor,2021)*

**Figura 52.**

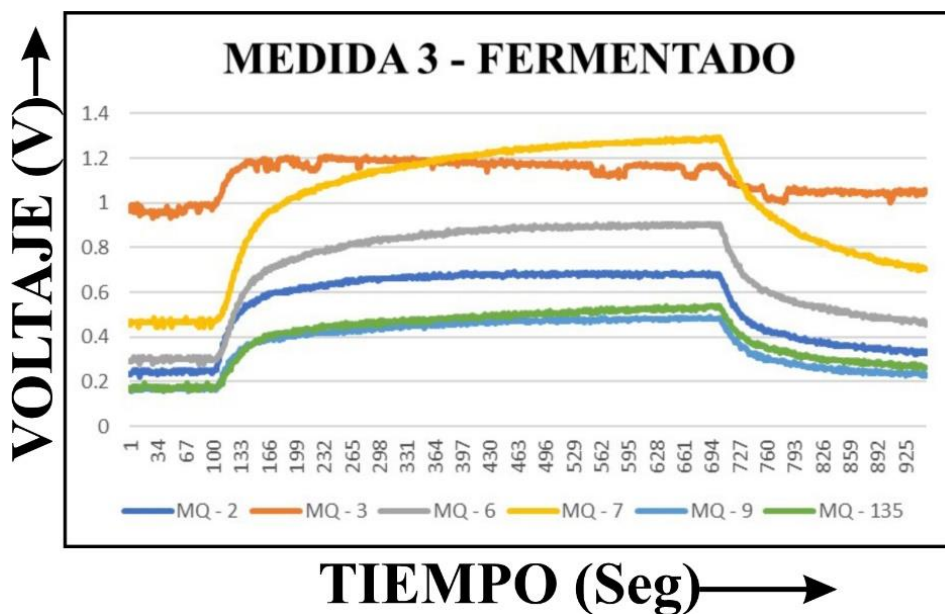
*Muestra 2 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor,2021)*

**Figura 53.**

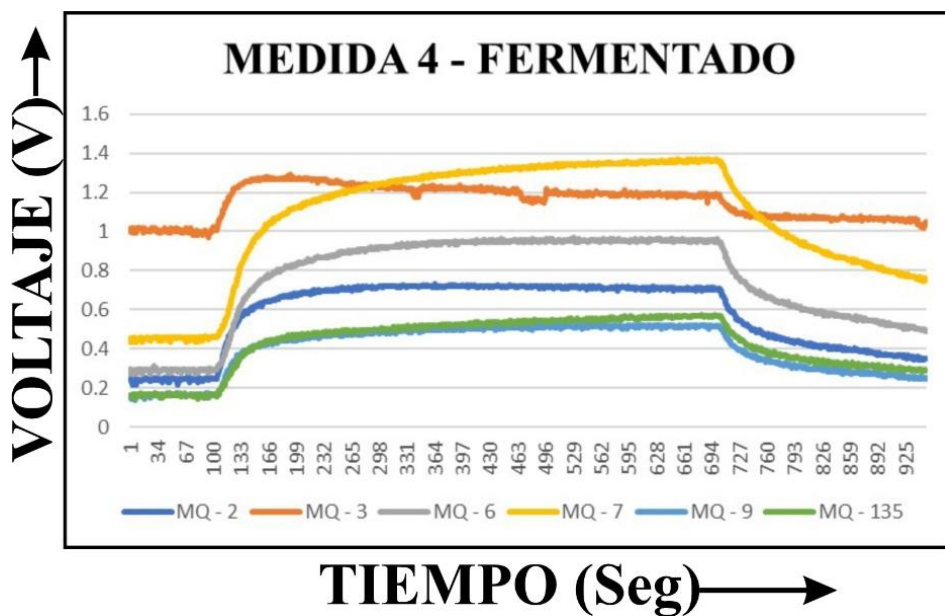
*Muestra 3 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor,2021)*

**Figura 54.**

*Muestra 4 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)*

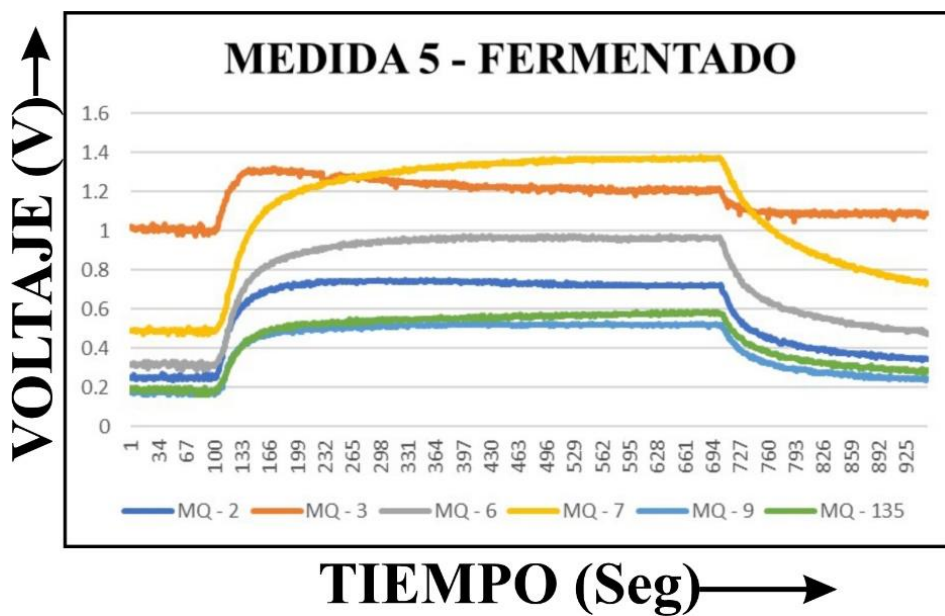


*Nota: Adaptado (Autor,2021)*



**Figura 55.**

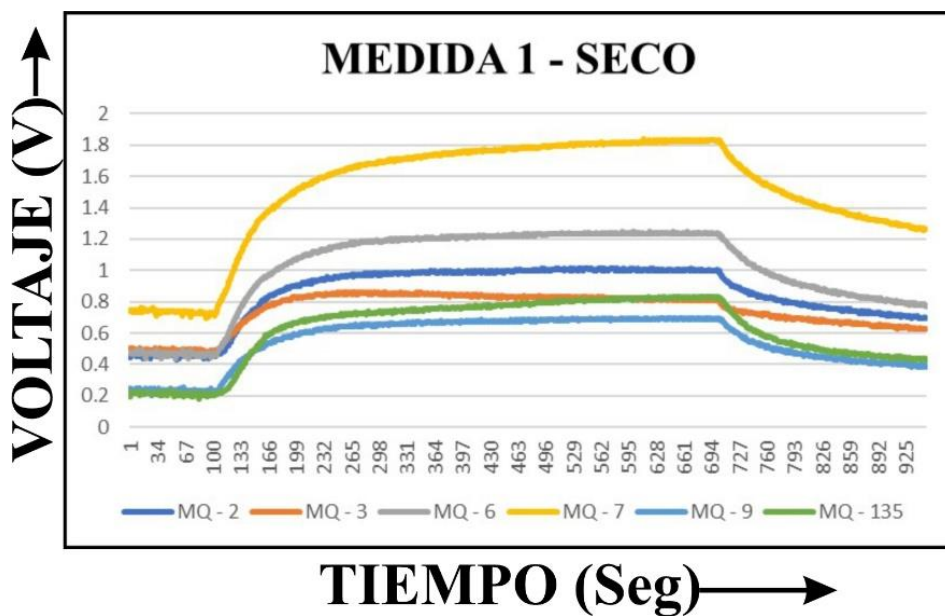
*Muestra 5 para almendras durante el proceso de fermentación sexto día (144 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 56.**

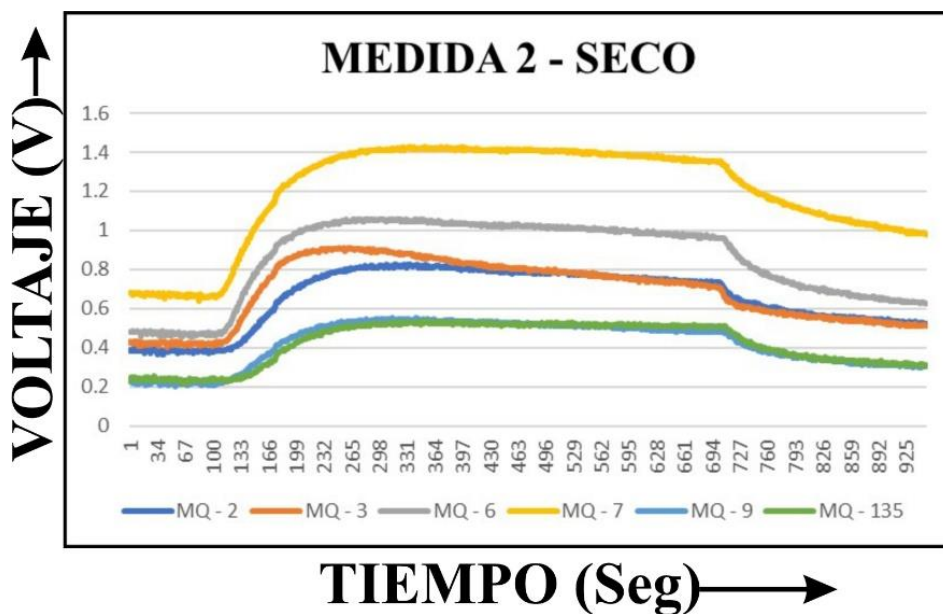
*Muestra 1 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 57.**

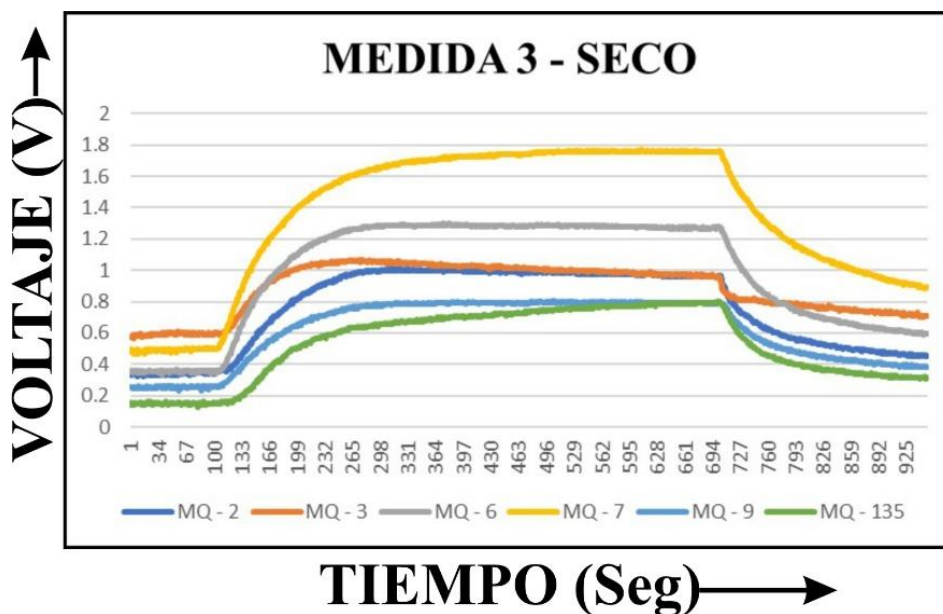
*Muestra 2 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 58.**

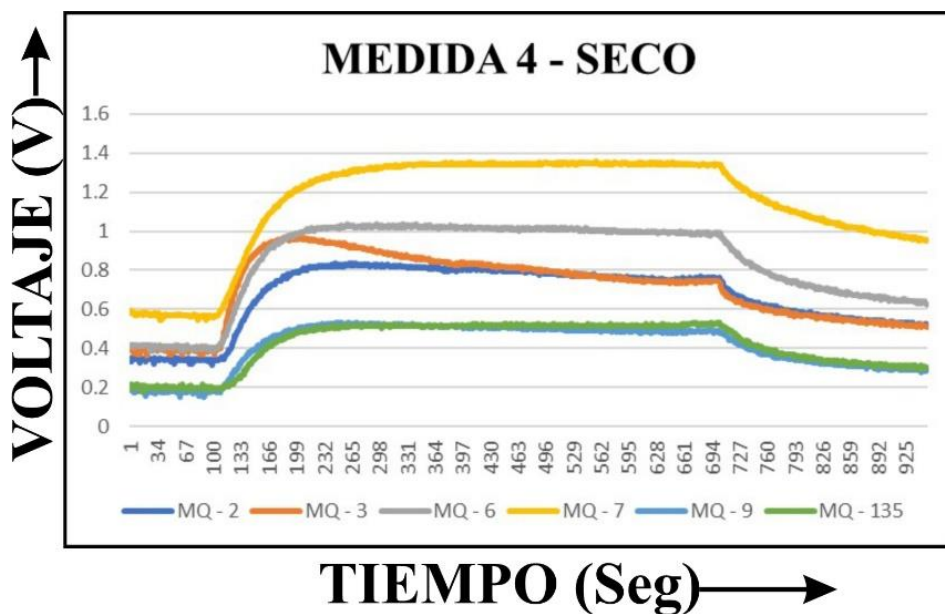
*Muestra 3 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 59.**

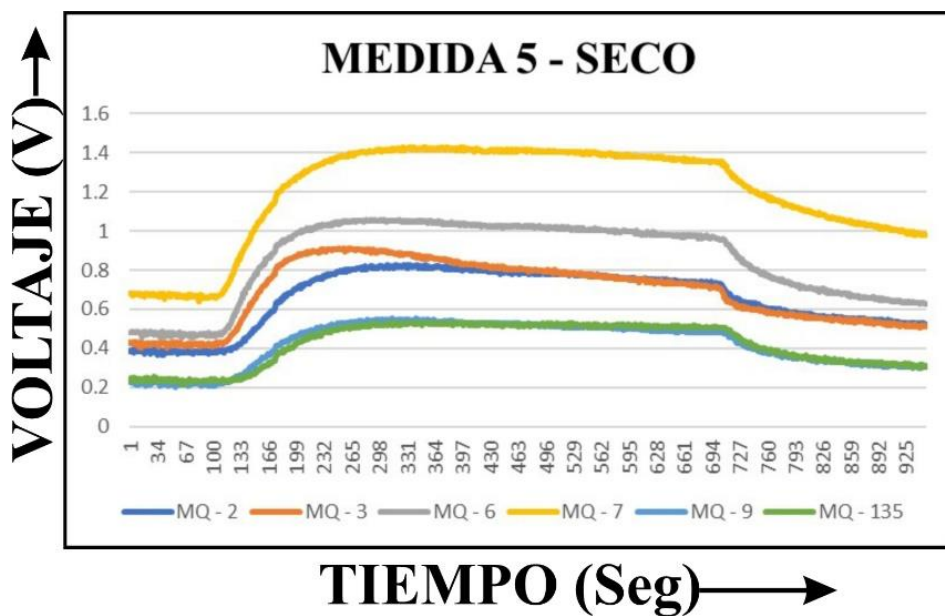
*Muestra 4 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 60.**

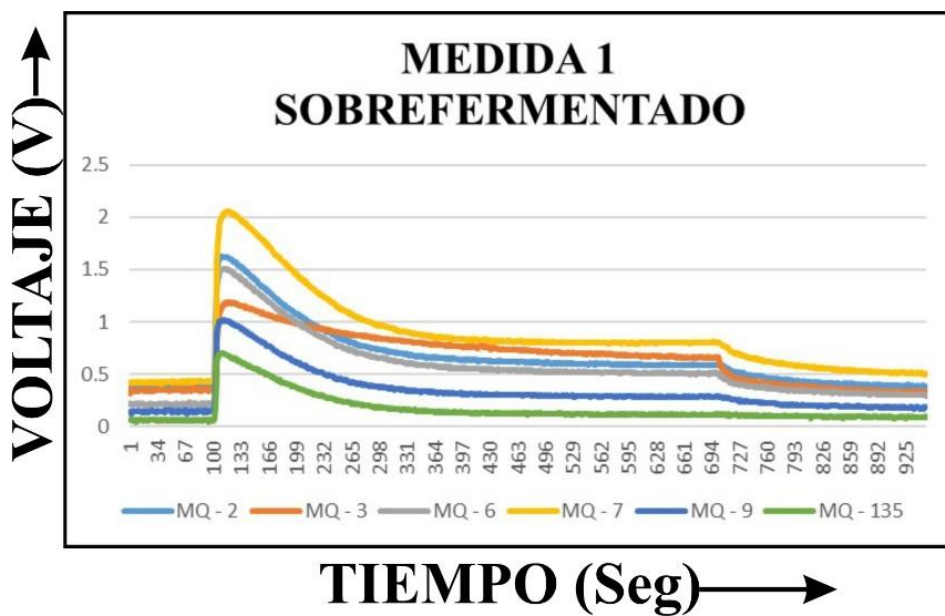
*Muestra 5 para almendras durante el proceso de secado quinto día (120 horas)*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 61.**

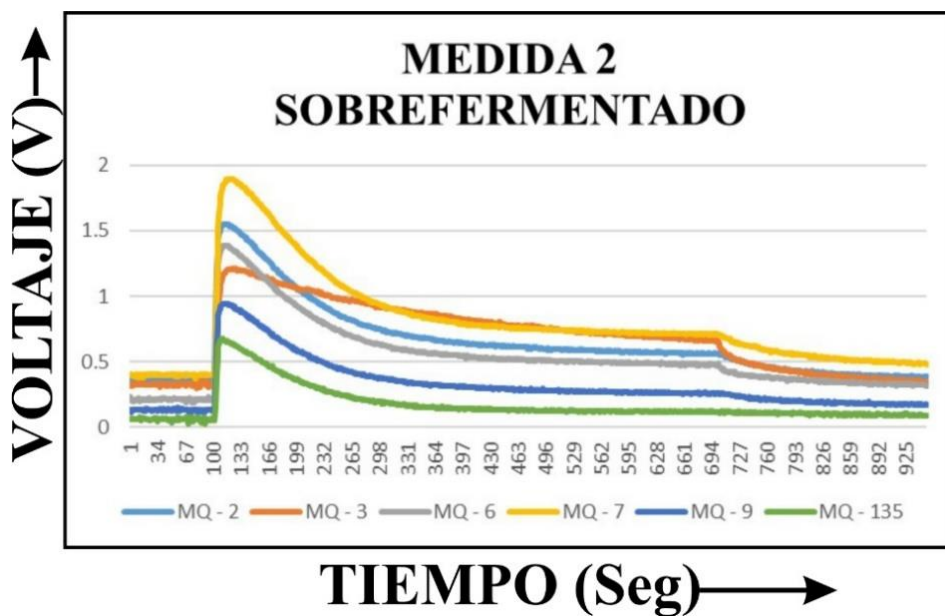
*Muestra 1 para almendras durante el proceso de sobre fermentación*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 62.**

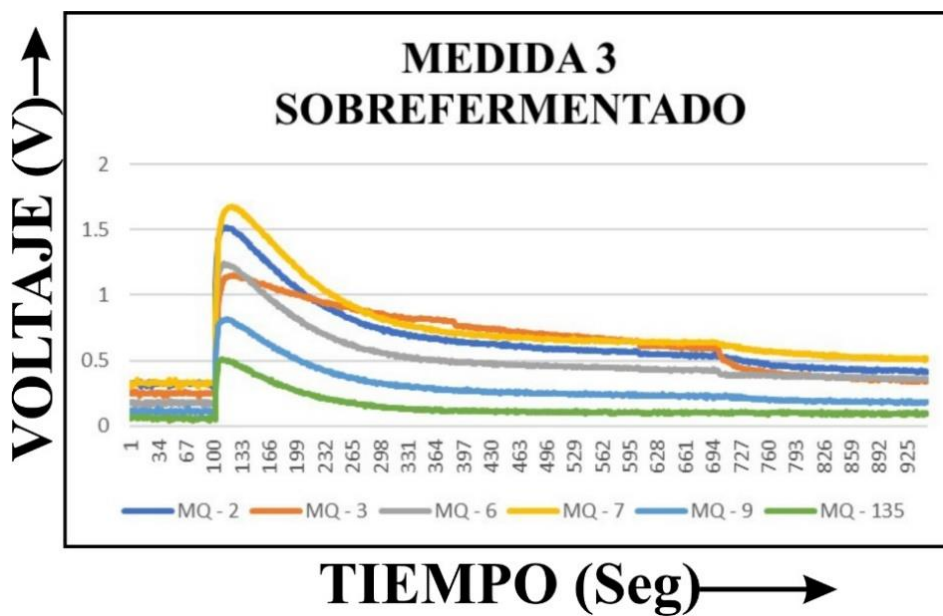
*Muestra 2 para almendras durante el proceso de sobre fermentación*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 63.**

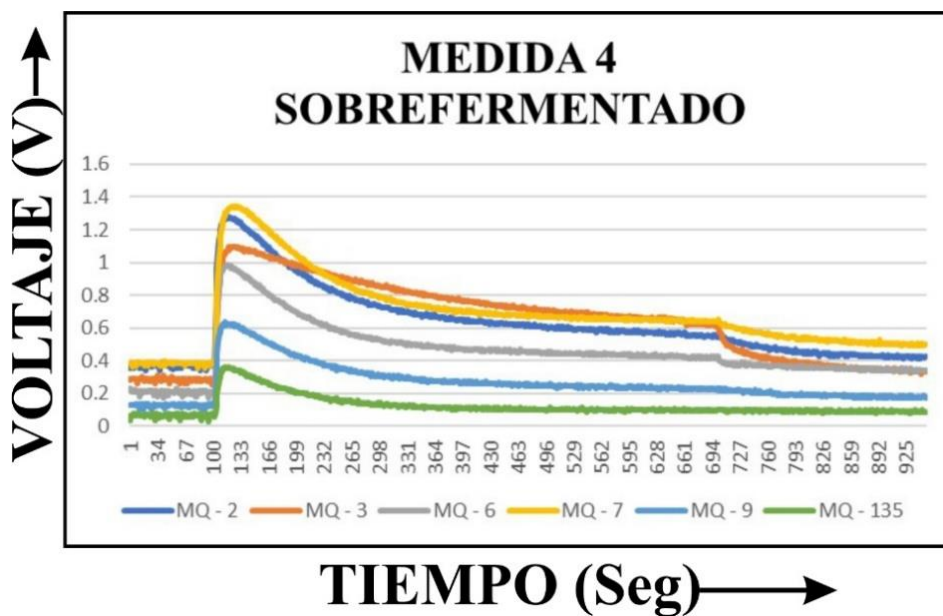
*Muestra 3 para almendras durante el proceso de sobre fermentación*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 64.**

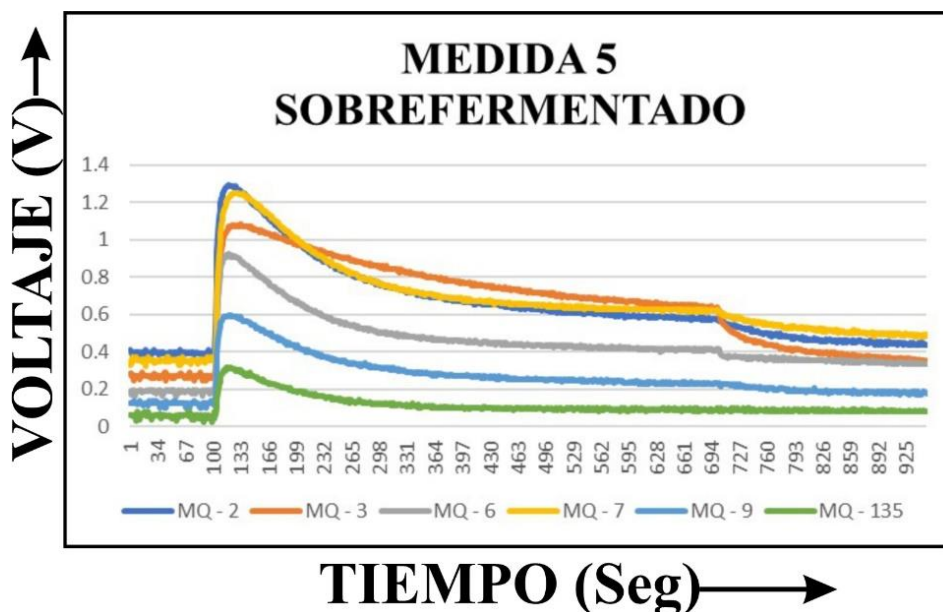
*Muestra 4 para almendras durante el proceso de sobre fermentación*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

**Figura 65.**

*Muestra 5 para almendras durante el proceso de sobre fermentación*



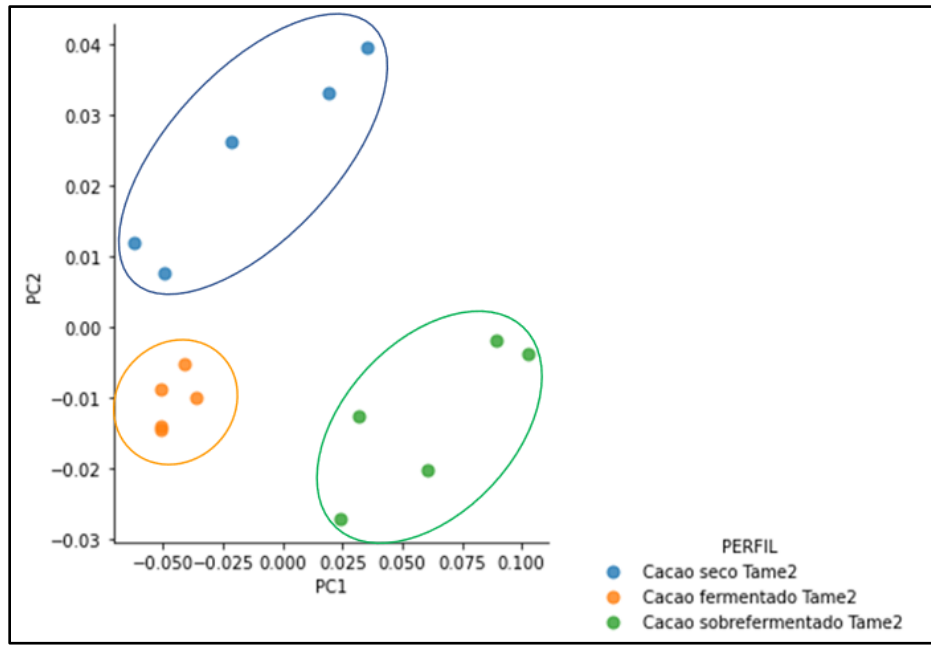
*Nota:* Adaptado (Autor, 2021)

Los sistemas de olfato electrónico se caracterizan por obtener información cualitativa de un conjunto de volátiles asociados al grupo de muestras que corresponden a cacao fermentado, seco y sobrefermentado, ver Figura 51 a la Figura 65, teniendo en cuenta que el presente trabajo esta articulado con el proyecto PIE ECBTIPIE302020, los investigadores someten la data al algoritmo MACHINE LEARNING, que permite validar el desarrollo obtenido, como resultado podemos concluir que el sistema es funcional con la capacidad de discriminar datos asociados a las tres muestras de cacao, ver Figura 66.

Para contrastar los resultados referentes al primer prototipo desarrollado del cual parte la investigación y del que se obtuvo una varianza total de un 86% en el análisis de datos, podemos concluir que se obtuvo resultados similares al minimizar volumen de la cámara de concentración, de medida, y reducción de sensores que hacen parte de la matriz multisensorial.

**Figura 66.**

*Clústeres asociados al proceso de cacao fermentado, seco, y sobrefermentado mediante análisis de componentes principales. PC1 = 0.85 y PC2 = 0.1*



*Nota: Adaptado (Autor, 2021)*

## Conclusiones

En este rediseño, se implementa una cámara de concentración y medición de compuestos de gases volátiles emanados por las almendras de cacao en cada una de las fases (fermentación, sobre – fermentación y seco). La cámara de medida tiene seis (6) sensores cuya función es detectar volátiles representados mediante valores de voltaje que serán almacenados en un equipo de cómputo, se puede concluir que el sistema es capaz de discriminar aromas asociados reduciendo el número de sensores de 9 a 6.

Se diseñó la cámara de medida y la cámara de concentración de compuestos volátiles con el tamaño, o capacidad, acorde a la cantidad de muestra (Compuesto volátil) extraída de los viales, donde se almacenaron las almendras de cacao, el volumen del volátil para inyectar a la cámara de concentración es de 20ml y se extrae mediante de jeringa milimétrica para garantizar el volumen por muestra.

Para garantizar una correcta medición por muestra del análisis de los volátiles, es importante verificar que los sensores de gases estén correctamente instalados en la cámara de medida y debidamente ajustados mediante la base de acrílico, igualmente se debe verificar que las conexiones de las mangueras estén ajustadas a los respectivos racores de 1/8 " para evitar fugas en la medida.

La implementación de la cámara de concentración de gases garantiza la estabilidad de los compuestos antes de la medición, esto permite preparar la toma de muestra que será captada por el sistema de adquisición de datos para su posterior almacenamiento y análisis mediante uso de software.

Como opción de mejora se implementó para el sistema de flujo de aire, manguera siliconada de alta presión, una de sus características es que permite mayor flexibilidad, presión y



temperatura, evitando interrupción por obstrucción en caso de dobles o estrangulación de la manguera.

## Referencias

- Aguilar, H. (2017). Guía de Buenas Prácticas de Poscosecha de Cacao. *Fundación Hondureña de Prácticas Agrícolas*, 38.
- AIE. (2019). *Actuadores.pdf*. Asociación de la industria eléctrica y electrónica de Chile.  
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Alibaba. (2019). *Adaptador Para Ordenador Portátil De 12v,2a,Sata/ Ide,A Precio De Fábrica—Buy Ac/dc Laptop Adapter 12v 2a Sata/ Ide Ac Power Adapter,12v 2a Sata/ Ide Ac Power Adapter,Sata/ Ide Ac Power Adapter*. Alibaba.  
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-price-ac-dc-laptop-adapter-12v-2a-sata-ide-ac-power-adapter-60026915708.html>
- Anónimo. (2016, julio 11). ¿Cómo funcionan los sensores de gas? *330ohms*.  
<https://blog.330ohms.com/2016/07/11/como-funcionan-los-sensores-de-gas/>
- BricoGeek. (2018). *Sensor de gas propano—MQ-6 Sparkfun SEN-09405*. Bricogeek.  
<https://tienda.bricogeek.com/descatalogado/917-sensor-de-gas-propano-mq-6.html>
- C & D Tecnologia. (2020). *Mini bomba de aire 3 a 12V*. Circuitos y Desarrollo en Tecnología - C&D Tecnologia. <https://cdtecnologia.net/motores-y-bombas/642-mini-bomba-de-aire-3-a-12v.html>
- Cabezas, J. D., & Quintero Naucil, M. (2018). *Análisis de cacao en grano* (p. 36). Universidad Tecnológica de Pereira.
- Carrillo Gómez, J. K., Duran Acevedo, C. M., & Garcia Rico, R. O. (2019). BACTERIAL DISCRIMINATION OF DRINKING WATER THROUGH OF AN ELECTRONIC NOSE AND A VOLATILES EXTRACTION EQUIPMENT. *REVISTA COLOMBIANA*

*DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(33).

<https://doi.org/10.24054/16927257.v33.n33.2019.3335>

Castañeda Sedano, J., Rodríguez Campos, J., & Lugo Cervantes, E. del C. (2016, mayo 3).

*ANÁLISIS DEL PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES DE CACAO CRIOLLO*

*(Theobroma cacao L.) DURANTE EL PROCESO DE FERMENTACIÓN Y SECADO*

*POR COMPONENTES PRINCIPALES*. Memorias del XXXVII Encuentro Nacional de la

AMIDIQ, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/414/1/An%C3%A1lisis%20del%20perfil%20de%20compuestos%20vol%C3%A1tiles.pdf>

De La Fuente Fernández, S. (2011). *Análisis de conglomerados* (p. 83) [Informe escrito].

Universidad Autónoma de Madrid.

DEWESoft. (2020, febrero 19). *¿Qué es el acondicionamiento de señal o acondicionador de*

*señal?* DEWESoft. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-acondicionamiento-de-seal>

Durán Acevedo, C. M. (2005). Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato

electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales [Ph.D. Thesis, Universitat

Rovira i Virgili]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*.

<http://www.tdx.cat/handle/10803/8451>

Durán Acevedo, C. M., Gualdron Guerrero, O. E., & Hernández Ordoñez, M. (2014). Nariz

electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra*

*Betacea* Sendt). *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3), 351–362.

[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70346-4](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70346-4)

- ELECTROINDUSTRIA. (2019, octubre). *¿Cómo funciona una válvula solenoide?* Revista ElectroIndustria. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3514&ni=como-funciona-una-valvula-solenoide>
- Electrónica Plug and Play. (2018). *Sensor de Gas MQ6 Colombia*. Electrónica Plug and Play. <https://www.electronicaplugandplay.com/sensores-y-transductores/product/165-sensor-de-gas-mq6>
- Electronicos Caldas. (2019). *Sensor de monóxido de carbono MQ-7*. Electronicos Caldas. <https://www.electronicoscaldas.com/es/gases-humo-polvo-vapor/921-sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7.html>
- ElectroniLab. (2018). Sensor de Gas Metano (Gas Natural)—MQ-4. *Electronilab*. <https://electronilab.co/tienda/mq-4-sensor-de-gas-metano-gas-natural/>
- ElectroniLab. (2020). Cable USB tipo A/B de impresora—1.8 metros [Blog]. *Electronilab*. <https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/>
- FEDECACAO. (2018). *Cosecha, fermentación y secado del grano de cacao*. FEDECACAO. [https://www.fedecacao.com.co/portal/images/Cartilla/Fichas\\_Calidad\\_y%20Beneficio.pdf](https://www.fedecacao.com.co/portal/images/Cartilla/Fichas_Calidad_y%20Beneficio.pdf)
- Figueiredo Makimori, G. Y. (2018a). *DESENVOLVIMENTO DE NARIZ ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO: COMPARATIVO ENTRE A DISCRIMINAÇÃO INSTRUMENTAL E PERFIL DESCRITIVO QUANTITATIVO NA ANÁLISE DE CAFÉS TORRADOS COMERCIAIS*. 148.
- Figueiredo Makimori, G. Y. (2018b). *DESENVOLVIMENTO DE NARIZ ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO: COMPARATIVO ENTRE A DISCRIMINAÇÃO INSTRUMENTAL E*

- PERFIL DESCRITIVO CUANTITATIVO NA ANÁLISE DE CAFÉS TORRADOS COMERCIAIS* (p. 148) [Disertación]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Flórez Martínez, A. (2019). *Equipo de medición para la detección y clasificación de volátiles en el proceso de fermentación de la almendra de cacao en Cúcuta—Norte de Santander* (p. 112) [Tesis de grado]. Universidad de Pamplona.
- Flórez Martínez, A., Vargas Flórez, J. O., Perez Waltero, H. E., & Quintana Fuentes, L. F. (2020a). Análisis de componentes principales utilizando python para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander. *AIBI revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(2), 7.
- Flórez Martínez, A., Vargas Flórez, J. O., Perez Waltero, H. E., & Quintana Fuentes, L. F. (2020b). Análisis de componentes principales utilizando python para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander. *Principal component analysis using python to identify clusters associated with samples of healthy monilia-infected dry cocoa in Norte de Santander*. 7.
- Galvagni, E., Graboski, A. M., Ballen, S. C., Jacques, R. A., Alves, W. F., Steffens, J., & Steffens, C. (2016). *APLICAÇÃO DE NARIZ ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE VOLÁTEIS EM ÓLEO DE COCO EXTRAÍDO COM E SEM SOLVENTE*. 43, 10.
- Galvagni, E., Graboski, A. M., Ballen, S. C., Jacques, R. A., Alves, W. F., Steffens, J., & Steffens, C. (2019). *APLICAÇÃO DE NARIZ ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE VOLÁTEIS EM ÓLEO DE COCO EXTRAÍDO COM E SEM SOLVENTE*. *Perspectiva*, 43(169), 10.
- Geek Factory. (2019a). MQ-7 Sensor de gas monóxido de carbono. *Geek Factory*.  
<https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-7-sensor-de-monoxido-de-carbono/>

Geek Factory. (2019b). MQ-9 Sensor de Gas. *Geek Factory*.

<https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-9-sensor-de-gas/>

Geek Factory. (2020). MQ-3 Sensor de alcohol [Web Store]. *Geek Factory*.

<https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-3-sensor-de-alcohol/>

Geekbot Electronics. (2018). Módulo Sensor MQ-135 Calidad del Aire. *Geekbot Electronics*.

<http://www.geekbotelectronics.com/producto/mq-135-modulo-sensor-de-calidad-del-aire/>

Guerrero Cabrera, M. E. (2007). *Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización*

*y homogenización del tratamiento poscosecha de cacao*. Unidad de Coordinación de

Préstamos Sectoriales – UCPS Ministerio de economía y finanzas - MEF Corporación

Andina de Fomento Proyecto Competitividad – Programa de Apoyo a la Competitividad,

Gobernabilidad e Inversión Social. [http://infocafes.com/portal/biblioteca/diagnostico-y-](http://infocafes.com/portal/biblioteca/diagnostico-y-propuesta-de-parametros-para-la-estandarizacion-y-homogenizacion-del-tratamiento-poscosecha-de-cacao/)

[propuesta-de-parametros-para-la-estandarizacion-y-homogenizacion-del-tratamiento-](http://infocafes.com/portal/biblioteca/diagnostico-y-propuesta-de-parametros-para-la-estandarizacion-y-homogenizacion-del-tratamiento-poscosecha-de-cacao/)

[poscosecha-de-cacao/](http://infocafes.com/portal/biblioteca/diagnostico-y-propuesta-de-parametros-para-la-estandarizacion-y-homogenizacion-del-tratamiento-poscosecha-de-cacao/)

Guerrero, N. M. (2016). *Aportes de la investigación de FEDECACAO – Fondo Nacional del*

*Cacao al incremento de la productividad y reconocimiento de la calidad del cacao de*

*Colombia*. 28.

Guevara, J. (2018, marzo 6). Explicación Paso a Paso: La Cosecha y El Procesamiento del

Cacao. *Perfect Daily Grind Español*.

[https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-](https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/)

[procesamiento-del-cacao/](https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/)

Herrera Gaviria, C. P., & Ospina Medina, N. E. (2016). *NIBS de cacao orgánico para mercados*


*verdes* (p. 88) [Monografía]. Universidad Tecnológica de Pereira.

<https://core.ac.uk/download/pdf/84108685.pdf>

- LinkFang. (2020). *Cable puente*. LinkFang. [https://es.linkfang.org/wiki/Cable\\_puente](https://es.linkfang.org/wiki/Cable_puente)
- Lisboa, H., Pagé, T., & Guy, C. (2009). Aplicações do nariz eletrônico nas indústrias e na gestão de odores. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 5(2), 195–211.  
<https://doi.org/10.4013/ete.2009.52.07>
- Llamas, L. (2016, octubre 21). *Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ*.  
<https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- Morales, J. de J., García J., A., & Méndez B., E. (2012). ¿Qué sabe usted acerca de...Cacao?  
*Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43(4), 79–81.  
<https://www.redalyc.org/pdf/579/57928311010.pdf>
- MQ-3.pdf*. (s/f). Recuperado el 19 de febrero de 2021, de  
<https://www.vistronica.com/images/Documentos/MQ-3.pdf>
- Naylamp Mechatronics. (2019a). *Sensor Calidad Aire MQ135*. Naylamp Mechatronics.  
<https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-calidad-aire-mq135.html>
- Naylamp Mechatronics. (2019b). *Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135* [Blog].  
Tutorial de sensores MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135.  
[https://www.naylampmechatronics.com/blog/42\\_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html)
- Nogales, J. (2017, agosto 30). MÉTODOS DE SECADO DE CACAO. *MÉTODOS DE SECADO DE CACAO ~ Poscosecha Cacao*.  
<https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>
- Oficina Nacional de Semillas Costa Rica. (2017). ¿Qué es un clon de cacao? *Oficina Nacional de Semillas Costa Rica*. <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semilla-de-cacao/clones/>

- Oliveira, M., Cardoso, C., Silva, M. A., & Pagani, A. (2014). Análisis del aroma de las gotas de papaya mediante los métodos de nariz electrónica y aceptabilidad sensorial. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 13(2), 163–170.
- Pabón, M. G., Herrera Roa, L. I., & Sepulveda, W. S. (2016). CARACTERIZACION SOCIO - ECONOMICA Y PRODUCTIVA DEL CULTIVO DE CACAO EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER (COLOMBIA). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 13.
- Pagani, A. A., Oliveira, M. D., Cardoso, C. A., & Silva, M. A. A. (2014). Análisis del aroma de las gotas de papaya mediante los métodos de nariz electrónica y aceptabilidad sensorial. *13(2)*, 163–170.
- Paredes Doig, A. L., Sun Kou, R., Picasso, G., Doig Camino, E., & La Rosa-Toro Gómez, A. (2018). Preparación, Caracterización y Aplicación de sensores de Pd-SnO como nariz electrónica en la clasificación de vinos peruanos y su comparación con técnicas cromatográficas. *Revista Colombiana de Química*, 47(1), 41–49.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n1.63070>
- Penalva, J. (2016, junio 23). *Empezar con Arduino (Genuino): Cómo elegir la placa, modelos compatibles y kits de iniciación*. Xataka. <https://www.xataka.com/makers/empezar-con-arduino-genuino-como-elegir-la-placa-modelos-compatibles-y-kits-de-iniciacion>
- Peralta, A. F. (2012). *REVISIÓN DEL ESTUDIO DE VOLÁTILES EN CAFÉ (Coffea arabica) POR MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA* (p. 8). Universidad Nacional de Colombia.
- Peralta, A. F. (2013). *IV. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE VOLÁTILES EN CAFÉ (Coffea arabica) POR MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA*. 8.



- Perea Villamil, J. A., Cadena Cala, T., & Herrera Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Salud UIS*, 8.
- Pérez B., M. Á., & Contreras M., J. D. (2017). *Instructivo de buenas prácticas de cosecha y poscosecha* [Instructivo]. Swisscontact Colombia.  
[https://www.colombiamascompetitiva.com/wp-content/uploads/2018/10/Guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_de\\_poscosecha.pdf](https://www.colombiamascompetitiva.com/wp-content/uploads/2018/10/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf)
- Proyectos con Arduino. (2019).  Módulos y Shields para Arduino [Blog]. *Proyectos con Arduino*. <https://proyectosconarduino.com/modulos/>
- Quicazán S., M. C., Díaz M, A. C., & Zuluaga D., C. M. (2011). La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria. *VITAE - Universidad de Antioquia*, 18(2), 209–217.
- Rivera Guerrero, M. A., Gualdrón Guerrero, O. E., & Torres Chávez, I. (2020). Detección de pesticidas en el durazno (prunus pérsica) mediante una nariz electrónica Detection of pesticides in the peach (prunus pérsica) by an electronic nose. . . *ISSN*, 10(2), 8.
- Rodríguez Gamboa, J. C., & Durán Acevedo, C. M. (2008). Sistema de olfato electrónico para la detección de compuestos volátiles. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(12), 20–26.
- Sigma Electrónica. (2019). *MQ-2*. Sigma Electrónica.  
<https://www.sigmaelectronica.net/producto/mq-2/>
- Tostatronic. (2019). *SENSOR DE GAS METANO MQ6*. Tostatronic.  
<https://tostatronic.com/store/es/sensores/149-sensor-de-gas-metano-mq6.html>

- Umaña Arboleda, J. A. (2012). *HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DOMINANTES EN EL MUNICIPIO DE FALÁN, TOLIMA* (p. 66). Pontificia Universidad Javeriana.
- Vásquez Ovando, A., Ovando Medina, I., Adriano Anaya, L., Betancur Ancona, D., & Salvador Figueroa, M. (2016). *Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma*. 66.  
<http://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-10/>
- Villamizar Leal, K. (2019, octubre 12). *Una nariz electrónica para el control de calidad del cacao* / *La Opinión*. La Opinión. <https://www.laopinion.com.co/tecnologia/una-nariz-electronica-para-el-control-de-calidad-del-cacao>

## Anexos



# VI ENCUENTRO REGIONAL Semilleros de Investigación

## CERTIFICADA QUE

**RICHAR JAIMES ALBARRACIN**

**RINCON**

Participó como

## PONENTE

en el VI Encuentro Regional de Semilleros de  
Investigación realizado bajo la modalidad  
Virtual los días 7 al 10 de Octubre.

**JAIRO MALDONADO**

Coordinador del Nodo Norte de Santander  
Red Colombiana de Semilleros de Investigación

San José de Cúcuta, Octubre 10 de 2020





**IV Encuentro Zonal**  
de Semilleros: investigación formativa  
con impacto regional

**ZCORI**

Lugar: CEAD Bucaramanga

**Programa de Semilleros de Investigación**



La Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD - Zona  
Centro Oriente

Hace constar que:

**Richard Jaimés Albarracín**

Participó en calidad de Ponente en el IV Encuentro Zonal de Semilleros de Investigación UNAD. Bucaramanga, Santander, realizado el 26 y 27 de



Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Bucaramanga, marzo de 2020.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia



**Dra. Laura Cristina Gómez**  
Ocampo  
Directora  
Zona Centro Oriente

**Msc. Laura Melissa Torrado García**  
Líder de Investigación  
Zona Centro Oriente

## Proyecto Rediseño dispositivo de olfato electrónico para el control de calidad del cacao en encuentro de RedColsi

Richard Jaimes Albarracín  
Estudiante Ingeniería Electrónica -ECBTI  
Semillero Seed Solution in Engineering  
alexander.florez@unad.edu.co  
<https://orcid.org/0000-0003-3670-7692>

El estudiante Richard Jaimes Albarracín, vinculado al CCAV Cúcuta del programa ingeniería electrónica, se encuentra cursando último periodo y hace parte del semillero Seed Solution in Engineering, perteneciente al grupo GIDESTEC. De esta experiencia nace su motivación por la investigación, por lo cual procede a plantear un proyecto como opción de grado aplicado, el cual está orientado al rediseño de cámara de medida y de concentración de compuestos volátiles para un dispositivo de olfato electrónico implementado en el control de calidad del cacao, articulado a uno de los objetivos de un proyecto de investigación especial a cargo de los docentes Alexander Flórez M, Jesús Vargas y los líderes de grupo de investigación GIDESTEC Y GINAUNAD.

El objetivo por parte de los investigadores es apoyar, incentivar y transferir el conocimiento a semilleros para estimular el uso de la tecnología y así aportar con soluciones innovadoras a generar una transformación social a través de la automatización en procesos industriales con bajos costos.

Inicialmente el estudiante semillero, participó con una ponencia en el IV Encuentro Interzonal de Investigación realizado en la zona centro oriente los días 26 y 27 de marzo de 2020. Dicha ponencia clasificó con buena ponderación que le permitió presentar otra ponencia en el VI Encuentro Regional de semilleros de investigación, nodo Norte Santander REDCOLSI, en el que nuevamente obtiene buenos resultados y logra ser aceptado como ponente en del XXIII Encuentro Nacional de Semilleros 2020, organizado por la Red Colombiana de Semilleros de Investigación (RedColsi).

El estudiante manifiesta que ser semillero ha sido un proceso de aprendizaje que le ha traído muchos beneficios y lo motiva a seguir su preparación, formación y aplicación de sus conocimientos; también resalta que el acompañamiento por parte de los docentes investigadores ha sido fundamental dentro del desarrollo del proyecto, pues se aprende desde la experiencia y abre un panorama potencial sobre otros desarrollos que se pueden dar como solución a las necesidades de la industria y de nuestra región.



Fuente: Archivo fotográfico Alexander Flórez