

Análisis de resultados a partir del rediseño un sistema de olfato electrónico para el beneficio de calidad del cacao

Analysis of results from the redesign of an electronic smell system for the benefit of cocoa quality

Alexander Flórez-Martínez^{1*}, Richar Jaimes-Albarracín², Jesús Omar Vargas-Flórez³, Lucas Fernando Quintana-Fuentes⁴

¹MSc. en Controles Industriales, alexander.florez@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3670-7692>, Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Grupo GIDESTE, Universidad Nacional Abierta y Distancia UNAD, Cúcuta, Colombia.

²Ing. Electrónico, richardjasal1981@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6941-256X>, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Semillero SSIE, Universidad Nacional Abierta y Distancia UNAD, Cúcuta, Colombia.

³MSc(c). en Controles Industriales, jesus.vargas@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-4509-8764>, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Grupo GIDESTEC, Universidad Nacional Abierta y Distancia UNAD, Cúcuta, Colombia.

⁴MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, lucas.quintana@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-4509-8764>, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Grupo GIAUNAD, Universidad Nacional Abierta y Distancia UNAD, Cúcuta, Colombia.

How to cite: A. Flórez-Martínez, R. Jaimes-Albarracín, J. O. Vargas-Flórez, y L. F. Quintana-Fuentes, "Análisis de resultados a partir del rediseño un sistema de olfato electrónico para el beneficio de calidad del cacao", *Respuestas*, vol. 26, no. 3, pp. 16-32. <https://doi.org/10.22463/0122820X.3126>

Received: April 8, 2021; Approved on August 24, 2021

ABSTRACT

Keywords:

Electronic smell,
Arduino,
LabVIEW,
Data preprocessing,
Gas sensors,
Machine learning,
Cocoa.

The project focuses on the redesign of an electronic olfactory system used in the cocoa post-harvest process to determine the quality of the bean. An opportunity was identified to improve the design of the concentration and measurement chambers for volatile compounds, which involved reducing their size and the number of sensors. Initially, the system consists of a multisensory array of 9 MQ gas sensors, but in the redesign it is reduced to 6 sensors. This was because 3 sensors did not respond to the gas emissions emitted by the cocoa bean samples. The system consists of a PC with LabVIEW software to monitor and store data on volatile compounds in cocoa samples. It also includes an Arduino card connected to the multisensory matrix and actuator system, consisting of an air flow pump and three solenoid valves. Finally, the acquired data is processed using a Machine learning algorithm to obtain the olfactory fingerprint that can discriminate samples of the fermented, overfermented and dry cocoa bean, the software implemented Python, the MinMaxScaler and Manhattan type of preprocessing, with Manhattan being the one that gave the best results in classification of samples with a total variance of 86%.

RESUMEN

Palabras Clave:

Olfato electrónico,
Arduino,
LabVIEW,
Preprocesado de datos, Sensores
de gases,
Aprendizaje automático,
Cacao.

El proyecto se enfoca rediseño de un sistema de olfato electrónico utilizado en el proceso poscosecha del cacao para determinar la calidad del grano. Se identificó oportunidad de mejorar el diseño de las cámaras de concentración y medición de compuestos volátiles, lo que implicó reducir su tamaño y el número de sensores. Inicialmente, el sistema lo integra una matriz multisensorial de 9 sensores de gases MQ, pero en el rediseño se reduce a 6 sensores. Esto se debió a que 3 sensores no respondían a las emisiones de gases emitidas por las muestras de granos de cacao. el sistema consta de un PC con software LabVIEW para supervisar y almacenar datos de compuestos volátiles en muestras de cacao. También incluye una tarjeta Arduino conectada a la matriz multisensorial y sistema de actuadores, conformado por, bomba de flujo de aire y tres válvulas solenoides. Finalmente, la data adquirida se procesa mediante algoritmo Machine learning para obtener la huella olfativa que pueda discriminar muestras del grano de cacao fermentado, sobrefefermentado y seco, el software implementado Python el tipo de preprocesado MinMaxScaler y Manhattan, siendo Manhattan el que mejor resultados arrojó en la clasificación de las muestras con una varianza total de 86%.

*Corresponding author.

E-mail Address: alexander.florez@unad.edu.co

(Alexander Flórez-Martínez)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-NC 4.0

Introducción

La investigación centra el desarrollo en el diseño mejorado para las cámaras de medición de gases y concentración de volátiles de un dispositivo de olfato electrónico, con el propósito de monitorear la calidad de los granos de cacao después de la cosecha.

El equipo de olfato electrónico actual tiene una matriz de 9 sensores de gases con las siguientes referencias MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-9, MQ-135, MQ-4, MQ-5, MQ-8, durante la operación del sistema y análisis de datos se observó que 3 sensores no responden ante una amplitud de señal significativa al someter las muestras de granos de cacao, por lo tanto, se rediseña el sistema para utilizar 6 sensores eliminando las referencias MQ-4, MQ-5, M-Q8. El dispositivo de adquisición de datos es una tarjeta Arduino UNO que se comunica con un equipo de cómputo a través del software LabVIEW. Se implementará un algoritmo para controlar automáticamente el sistema y recopilar datos de cada muestra de cacao. Estos datos se someterán a un algoritmo de Machine learning no supervisado utilizando análisis de componentes principales PCA que permitirá identificar la huella olfativa de cada muestra de cacao.

Poscosecha y cosecha cacao

El árbol de cacao, que pertenece a la familia esterculiáceas, suele dar dos cosechas al año, los granos de cacao tienen un alto sabor amargo y astringente, tienen una gama de color que va desde el púrpura a crema. El grano de cacao está recubierto por una cascara que en su mayoría tiene un porcentaje del 10 % al 14% y el cotiledón está en un 86 %– 90 %, el cotiledón es la parte de la cual se produce el chocolate y del cual se generan los sabores y aromas característicos [1].

En Colombia el cultivo del cacao es una alternativa muy importante para mejorar la productividad del campo, este cultivo genera alternativas de progreso en las condiciones comerciales y sociales de los productores, permite la mejora del campo, generalmente los productores de cacao lo conforman granjas familiares y que en un alto porcentaje disponen de cacaos especiales, certificados y que por su naturaleza nuestro cacao es fino y de aroma [2].

Según la organización internacional del cacao, en inglés International Cocoa Organization (ICCO) el 95% del cacao colombiano es de fino sabor y aroma. El subsector cacaotero se destaca por tener un 95% de pequeños productores en su base social productiva. Esto ha llevado a una diversidad en la forma en que se realizan las labores de poscosecha del grano de cacao. Además, la falta de infraestructura adecuada, como cajones fermentadores y secadores, y la escasa capacitación de los productores, han impedido aprovechar el gran potencial que tiene el país en la producción de cacao fino de sabor y aroma. La producción de 59.740 toneladas en el año 2019, exportaciones 9.116 toneladas e importaciones de 420 toneladas [3].

Algunos requisitos exigidos por el mercado internacional son:

Grado de fermentación.

Porcentaje de humedad.

Que no presente sabores y aromas no característicos.

No presente sustancias que adulteren el producto.

No contener insectos o fragmentos de ellos, granos partidos en exceso, y trozos de cáscara.

Tener un tamaño de grano de acuerdo con la clasificación de la norma.

Variedad de cacao

En el departamento de Norte de Santander, está aumentando la siembra de cacao trinitario utilizando

variedades genéticas tanto universales como regionales. En este proyecto, se utilizó el genotipo regional Fedecacao Tame2, FTA2, y los frutos fueron recolectados en la zona rural del municipio de Cúcuta, específicamente en la vereda "Restauración".



Figura 1. Mazorcas de cacao recolectadas [4]



Figura 2. Variedad clon Tame 2 (FTA – 2). Fuente autores [4]

Tabla I. Rasgos de la variedad de clones de cacao [5]

Rasgos	Fedecacao (FTA 2) Tame 2
Compatibilidad	Auto Incompatible
Índice de grano (IG)	1,8
Índice de mazorca (IM)	15
Frutos/Árbol/Año	28
Rendimiento	1,670
Semillas por fruto	45,8

Fuente: Guerrero, [5]



Figura 3. Pesaje de mazorca de cacao y desgrane [4]

El manejo postcosecha del cacao integra una serie de prácticas que permiten la generación de diferentes cambios bioquímicos que se presentan en el grano de cacao una vez cosechadas y que van a permitir la generación de precursores de sabor y aroma, permiten la expresión del potencial de calidad, permitiendo el cumplimiento de las demandas de los transformadores del cacao. Un adecuado proceso de postcosecha asegura la calidad final del cacao en grano permitiendo en un momento dado acceder a un mejor precio y permite la comercialización a nivel internacional. El proceso de poscosecha del cacao implica varios pasos, como la selección de mazorcas, ruptura, desgrane, fermentación, secado, una minuciosa limpieza y clasificación de los granos [6].

La Fermentación

En este proceso se busca la transformación interna del grano de cacao para generar los precursores de aroma y sabor característicos de un cacao fino y de aroma, transformando la estructura interna del grano generando hinchamientos y cambios de color por oxidación de compuestos presentes en el cotiledón [7].

En el proceso de fermentación se llevan a cabo las siguientes etapas:

La Fermentación Alcohólica (0h – 48h) etapa anaerobia: El mucilago de cacao tiene un alto contenido de azúcar el cual es transformado por la acción de las levaduras en alcohol (etanol), en este proceso se genera un lixiviado por la degradación de la estructura que tiene el mucilago, los subproductos de este proceso de fermentación son agua y CO₂, como efecto adicional se presenta un aumento de la temperatura de la masa de cacao que puede llegar hasta los 45°C la cual dependerá del sistema de fermentación y condiciones ambientales.

La Fermentación Acética (48h – 96h) etapa aerobia: En esta etapa el alcohol es transformado por las bacterias acéticas en ácido acético, este ácido ingresa al cotiledón generando cambios importantes entre ellos la disminución del pH disminuyendo casi hasta 4.5. La temperatura que se puede alcanzar esta entre 48 y 51 °C. Estas bacterias requieren una gran cantidad de oxígeno, por lo tanto, es necesario realizar volteos para oxigenar la masa de cacao y eliminar el CO₂ acumulado. Estos volteos también ayudan a eliminar el ácido acético y mejorar el sabor. Además, se producen cambios físicos en el grano, como la formación de grietas en su interior y alteraciones en la textura.

Oxidación final:

En el interior de los granos, se produce un cambio donde el color original del cotiledón prevalece desde el perímetro hasta el centro. Además, los surcos en el interior del grano se vuelven más profundos. Al realizar la prueba de corte en el grano, se puede observar un líquido viscoso de color similar al cotiledón entre la cáscara y el cotiledón [8].

Recomendaciones para los volteos del cacao:

Se debe verificar el cumplimiento de las horas mínimas de 48 horas, así el cacao ha escurrido lo suficiente, los pasos del proceso de fermentación están establecido por Fedecacao en su guía técnica [9].

Los periodos de volteo son las siguientes.

- 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) [9].

Si el sistema de fermentación es en cajón, se recomienda tapar la masa de cacao con materiales adecuados, debidamente limpios para garantizar inocuidad. No se deben incluir en este proceso granos de cacao con días de diferencia o de mazorcas infectadas, contaminadas o enfermas [9].

El Secado

Una vez finaliza el proceso de fermentación los granos de cacao pueden tener un porcentaje de humedad alrededor del 65%, esta humedad debe ser reducida a valores entre el 7,0 % al 7.5%.

Las etapas para el secado según FEDECACAO son:

- Primer día: Tres (3) horas de sol, y se recoge.
- Segundo día: Cuatro (4) horas de sol, y se recoge.
- Tercer día: Todo el día.
- Cuarto día: Todo el día.
- Quinto día: Todo el día

Al final la calidad del cacao en grano depende de la observación rigurosa de los pasos anteriores, desde la siembra proceso de cosecha y postcosecha. Garantizar buenas prácticas en estas fases de fermentación, secado, permitirán una muy buena comercialización con altos estándares de calidad.

Sistema de olfato electrónico y aplicaciones en el proceso postcosecha de cacao

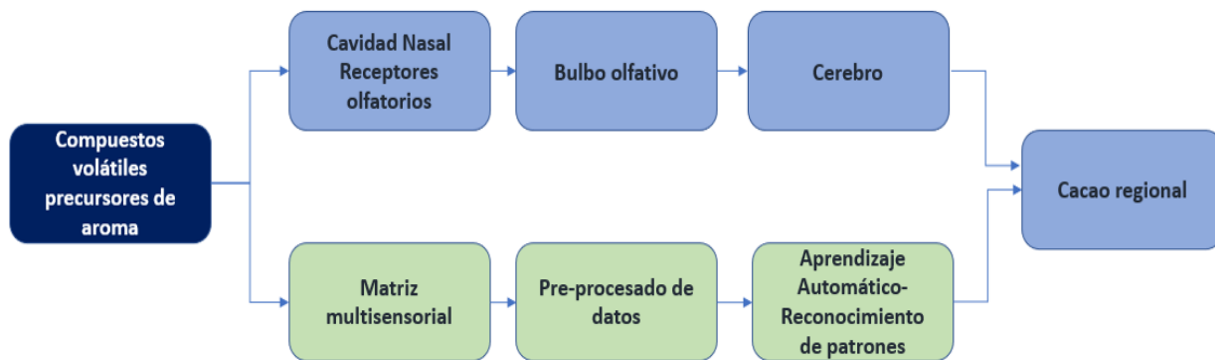


Figura 4. Olfato biológico versus olfato electrónico. Fuente autores.

Comparando el sistema de olfato electrónico y biológico, los sensores electroquímicos que conforma la matriz de

multisensorial representan los receptores olfativos y generan una señal eléctrica según el aroma detectado. Luego, el bulbo olfativo capta las señales y las envía al cerebro mediante los nervios, similar al pre-procesamiento de datos para reducir el volumen y minimizar el ruido. Esta etapa facilita la clasificación de las muestras mediante técnicas de reconocimiento de patrones y aprendizaje automático, similares a las funciones realizadas por la corteza del cerebro. Finalmente es posible identificar, clasificar, interpretar y memorizar aromas percibidas durante un lapso de tiempo [10].

“En forma cotidiana, un sistema de olfato electrónico consiste en sustituir las células receptoras de olor por sensores de gases, el procesamiento neuronal se reemplaza por un equipo de cómputo y software” [11].

La selección de sensores en un sistema de olfato electrónico es crucial, deben cumplir una función similar a la percepción del sistema olfativo humano. La información captada, se transmite a una unidad de procesamiento, como el cerebro, para la recopilación de la data y determinar la acción a realizar [12].

La investigación se enfoca en el desarrollo de una nariz electrónica para detección de aromas o compuestos volátiles aplicados al grano de cacao específicamente en la etapa de poscosecha estos son: fermentación, secado y tostado, en un desarrollo anterior se implementó una matriz de 9 sensores, y en el presente desarrollo se utilizó una matriz de 6, debido a que se identificó que algunos sensores no detectan significativamente concentración de volátiles.

Para el análisis de compuestos volátiles en la etapa de secado, el sistema tiene la capacidad de clasificar aromas provenientes de granos de cacao que se mojan o se someten a un periodo de tiempo prolongado en almacenamiento, en la etapa de tostado es posible identificar si es adecuado o esta quemado [7].

La clasificación de los granos de cacao se realiza utilizando un algoritmo de inteligencia artificial que utiliza aprendizaje no supervisado. En la Figura 5 se pueden observar los grupos de muestras de cacao seco sano clon ICS95 e infectado con monilia [13].

Se realiza análisis por componentes principales como técnica que revela agrupamientos de datos que no son perceptibles a simple vista, pero que pueden ser útiles una vez identificados. Los resultados del análisis de componentes principales ayudan en la clasificación taxonómica de un conjunto de muestras, integra modelos estadísticos para identificar poblaciones y permiten asignar nuevos individuos a una clase correspondiente [14].

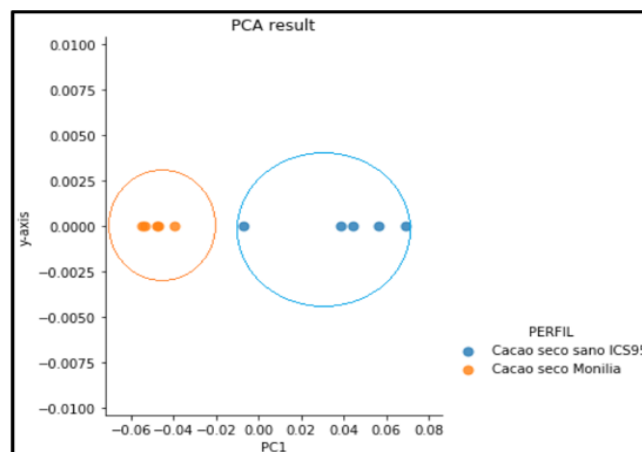


Figura 5. Caracterización de clústeres asociados a muestras de cacao seco sano ICS95 e infectado con monilia, en una dimensión mediante PCA preprocesado euclidiano $PC1=0.66$ [15]

Sensores para detección de Gases

Existen diferentes tipos de sensores de gases cuyo principio de funcionamiento depende del tipo de tecnología y modo de operación, se clasifican en dos grupos: El primero lo conforman sensores que funcionan por medio de absorción, reacciones químicas y de contacto los gases; el segundo lo integran sensores que operan con base en emisiones infrarrojas o ultrasónicas. En cuanto a los sensores, sin importar su configuración o funcionamiento, se clasifican según el tipo de gas que detectan. Los sensores catalíticos e infrarrojos se utilizan para detectar gases combustibles, mientras que los electroquímicos y semiconductores de óxido metálico, se emplean para medir gases tóxicos [15].

Materiales y Métodos

A continuación, se muestra el nuevo diseño del sistema de olfato electrónico, que incluye cámaras de medida y concentración. Una característica destacada es la reducción del volumen de la cámara de concentración de 200ml a 50ml, mientras que la cámara de medida tiene un volumen de 146.91ml. En la Figura 6 se puede observar un esquema con dos compartimentos, donde la vista superior representa la cámara de concentración de gases y la vista inferior representa la cámara de medida.

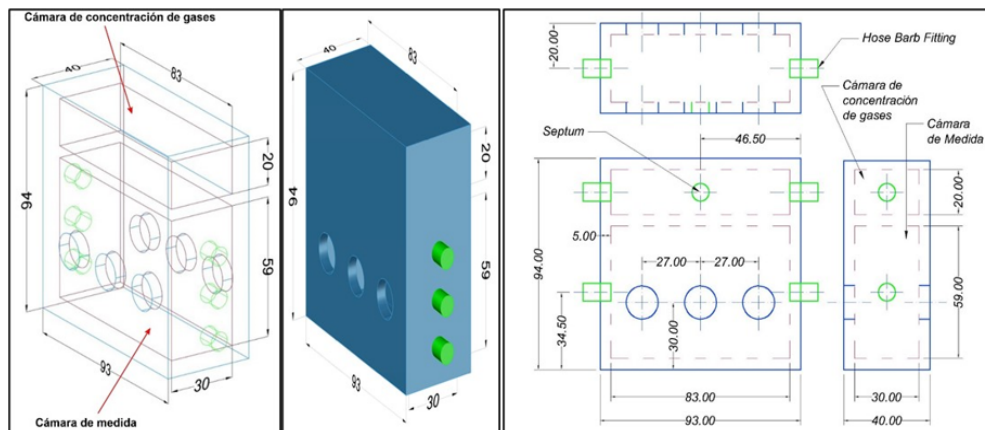


Figura 6. Cámara de medida y de concentración de gases [4]

La cámara de medición tiene 6 orificios donde se alojan los sensores de gases del fabricante MQ. Además, consta de cuatro racores tipo pestillo para conectar una manguera de $\text{Ø}1/8''$ permitiendo el flujo de gas hacia las cámaras de concentración y medición. También lo integra un racor de pestillo para una manguera de $\text{Ø}1/4''$ para inyectar el gas volátil en la cámara de concentración (Septum).

Rediseño Cámara de Concentración y de medida que conforma el sistema de olfato electrónico

La Figura 7, ilustra el rediseño del sistema de olfato electrónico.

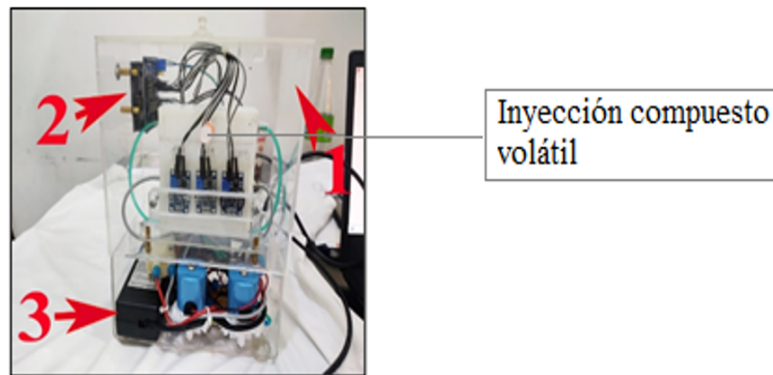


Figura 7. Dispositivo de olfato electrónico optimizado [4]

El sistema consta de:

1. Una estructura de acrílico de 5mm transparente donde se aloja el sistema de medición.
2. Una tarjeta de adquisición de datos Arduino UNO conectada a la matriz de sensores de gases y al equipo de cómputo a través de USB.
3. Una etapa de potencia que incluye una fuente de voltaje continuo, actuadores y tarjetas de acondicionamiento de señal con salida a relé.

En la Figura 8, se esquematiza el proceso de medición de compuestos volátiles.

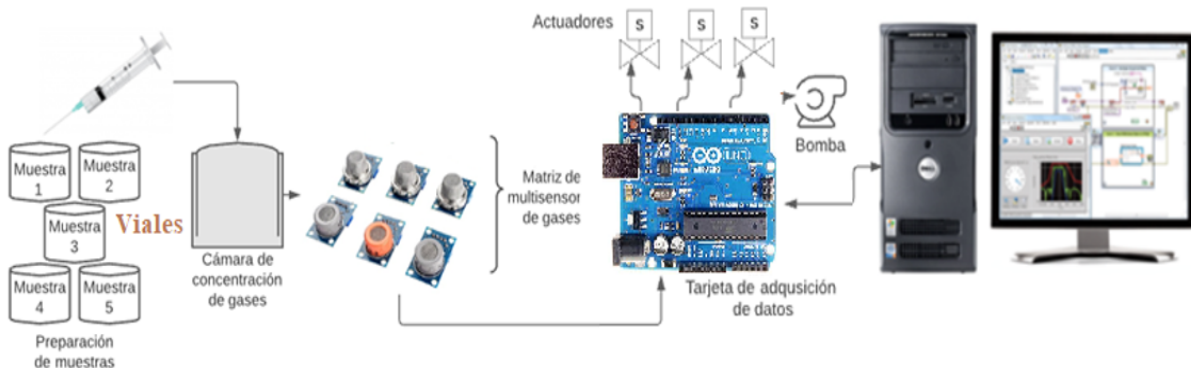


Figura 8. Partes que integran el proceso de medición de compuestos volátiles. Fuente autores.

El proceso de medición comienza con la preparación de las muestras, alojando 20 gramos de granos de cacao en cada uno de los viales herméticos, se procede a realizar la extracción del volátil por espacio de cabeza mediante una jeringa con un volumen de 20ml y luego se inyecta en la cámara de concentración, de forma automática los volátiles son desplazados a la cámara de medida la cual está conformada por una matriz de multisensores de gases, se procede a realizar la adquisición mediante uso de tarjeta Arduino UNO y PC, se repite el proceso hasta completar el análisis de 5 muestras tomadas en las etapas de fermentación, sobre fermentación y cacao seco.

Sensores Aplicados al Proyecto.

Sensor MQ – 2: Está diseñado para detectar una variedad de gases de tipo inflamable, alcohol, hidrógeno, humo. Se caracteriza porque es un sensor de bajo precio [15].

Sensor MQ – 3: Presenta alta sensibilidad a la detección de alcohol y menor sensibilidad a la bencina, GLP, Hexano, CO y CH₄, la cual se puede despreciar si hay poca concentración de estos. La salida es de tipo analógico y se utiliza para medir la concentración de alcohol [16].

Sensor MQ – 6: Diseñado para detectar la presencia de Gas LP, compuesto principalmente por Propano y Butano y Gas Natural (Metano) y alcohol. Se caracteriza por la velocidad de respuesta, ideal para activar cualquier dispositivo de manera oportuna [17].

Sensor MQ – 7: Sensor para medir el monóxido de carbono (CO) en un rango de 20 a 2000 partes por millón (ppm). Además, también puede medir concentraciones de alcohol con alta sensibilidad y tiempo de respuesta rápido. Es posible integrar este sensor con un microcontrolador, ya que cuenta con un pin de entrada analógico para medir la concentración del gas. El sensor requiere una alimentación de 5V para activar el componente calefactor [18].

Sensor MQ – 9: Este dispositivo está diseñado para detectar monóxido de carbono, rango de 10 – 1000 ppm, así como para medir gases combustibles en rangos de 100 a 10.000 ppm. Puede trabajar en un rango de temperatura de -10°C a 50°C y tiene un consumo de 150 mA y voltaje de 5V [19].

Sensor MQ – 135: Este sensor es adecuado para el control de calidad del aire y se utiliza para medir la contaminación en el medio ambiente. Una de sus aplicaciones es el control de alarmas en hogares y lugares donde se desee monitorear niveles altos de contaminación aeróbica, como en industrias que manipulan químicos perjudiciales para la salud. Para esto, se requieren equipos de control de calidad del aire en edificios y oficinas. El sensor MQ-135 tiene una señal de salida tanto analógica como digital. La señal analógica es proporcional al incremento de voltaje, mientras que la señal digital envía niveles TTL para ser procesados por un microcontrolador [20].



Figura 9. *Sensores MQ 2, MQ 3, MQ 6, MQ 7, MQ 9 y MQ 135.* Fuente Autores.

Actuadores

Son dispositivos que realizan el accionamiento electrónico en un lazo cerrado o abierto de control, en el desarrollo del proyecto aplicado el sistema lo integran 3 válvulas de tipo solenoides y una bomba de diafragma cuya función es activar o desactivar el flujo de aire que circula por las cámaras de medida, de concentración del sistema de olfato electrónico.

La Figura 10, visualiza los actuadores del sistema de olfato electrónico.

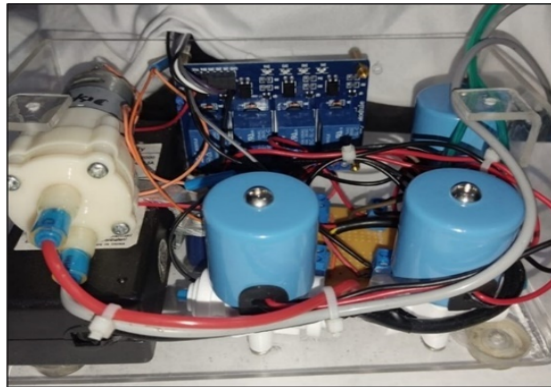


Figura 10. Actuadores del sistema [4]

Válvula Solenoide: Este dispositivo tiene la función de controlar el flujo de aire y es accionado por electricidad. Se utiliza un actuador de este tipo que es controlado mediante una tarjeta de relé para acondicionar la señal y operado a través de software en una PC. Este actuador puede ser instalado en diferentes aplicaciones locales o remotas de difícil acceso, incluso en condiciones adversas [21].

Electrobomba para flujo de aire: Este dispositivo se destaca por ser compacto, no requiere mantenimiento y funciona con voltaje directo. Su función principal es inyectar el flujo de aire en las cámaras de medición y concentración. También se utiliza en otras aplicaciones como bombas para la filtración, aceleración en la circulación del flujo, bioingeniería, control automatizado, tratamiento de agua y protección del medio ambiente [22].

Tarjetas de Acondicionamiento de Señal: tienen la posibilidad de interconectar una gran variedad de sensores [23]. Para el desarrollo del proyecto se implementó un Arduino UNO, configurado como tarjeta de adquisición para la conexión entre sensores, actuadores y PC.

Tarjeta Arduino: Este dispositivo ha sido diseñado para ser programado con código abierto y utiliza hardware y software libre. Es flexible y fácil de usar para creadores y desarrolladores. En el desarrollo del proyecto, se utilizó una tarjeta Arduino UNO configurada como sistema de adquisición de datos y controlada por una PC. La plataforma de software permite configurar diferentes tipos de microordenadores, lo cual brinda a la comunidad de creadores la posibilidad de implementar diferentes tipos de aplicaciones [24]. La tarjeta Arduino tiene una función específica en el sistema de olfato electrónico, se encarga de recibir las señales provenientes de los sensores de gases y envía señales a sistemas de acondicionamiento de señal para conmutar actuadores del sistema.

Tarjeta Shield para Arduino: Las Shields o placas de expansión de puertos tienen la función de simplificar la conexión de sensores y actuadores, ampliando las capacidades de hardware de la tarjeta Arduino. Por lo general, estas tarjetas son empotrables, lo que significa que se pueden montar varios niveles de placas uno encima del otro [25].

Resultados y Discusión

Para la puesta en marcha del sistema de olfato electrónico, es necesario preparar las muestras de grano de cacao en viales o botellas de vidrio herméticas, esto con el propósito de obtener la concentración de los volátiles emitidos, se procede a extraer mediante una jeringa el aroma, para ser inyectado en la cámara de concentración de gases.

Cada muestra de cacao está conformada por almendras con un peso aproximado de 20 gramos, las etapas del proceso de análisis corresponden a fermentado, sobrefermentado y seco, clon TAME 2. Las muestras deben permanecer durante 3 horas alojadas en viales herméticos y posteriormente se procede a realizar la extracción de 20ml del volátil mediante el uso de jeringa para inyectar en el Septum integrado en la cámara de concentración del sistema de olfato electrónico.

Se implementa una interfaz gráfica de usuario en LabVIEW, donde el operador tiene la posibilidad de realizar el proceso de forma automática y supervisada mediante una pantalla vinculada a equipo de cómputo, posterior desde el software es posible adquirir y descargar la data de cada muestra.

La Figura 11, representa el esquema de bloques que conforman el sistema de olfato electrónico

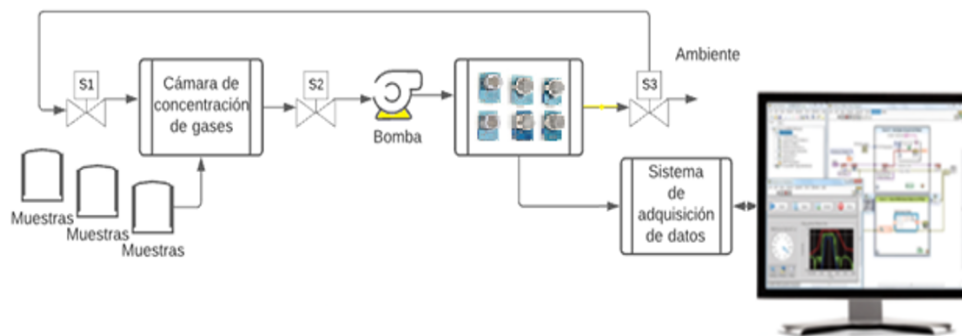


Figura 11. diagrama de bloques que conforman el sistema de olfato electrónico. Fuente autores.

El control automático se realiza utilizando el software LabVIEW en una computadora. El algoritmo tiene tiempos preestablecidos para la adquisición y almacenamiento de datos. Es importante garantizar la línea base de la señal. El tiempo de limpieza es de 300 segundos para expulsar compuestos volátiles de las cámaras. Luego, inicia la etapa de concentración de volátiles, que dura 300 segundos. A continuación, se inicia la inyección de flujo de aire en bucle cerrado y se capturan los datos durante 600 segundos en la cámara de medida. Finalmente, se realiza una etapa de extracción durante 300 segundos para restaurar el sistema a las condiciones iniciales. El tiempo total de ejecución por muestra es de 25 minutos.

La data almacenada es procesada mediante algoritmo Machine Learning, como resultado se obtiene la

clasificación de las muestras asociadas a cada clúster de acuerdo a la calidad del grano de cacao, el algoritmo de aprendizaje automático se implementa con el software Python,

La Figura 12, ilustra el proceso de inyección del compuesto volátil a la cámara de concentración que hace parte del sistema de olfato electrónico.

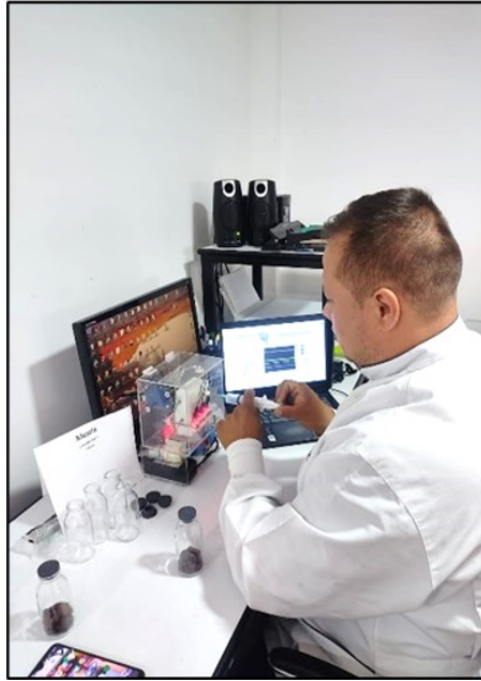


Figura 12. Contención de compuestos volátiles, extracción del recipiente, inyección por jeringa a la cámara de concentración [4]

Captura de datos mediante plataforma de software LabVIEW

Las Figuras 13, 14 y 15 socializan algunos resultados obtenidos granos de cacao en el proceso de fermentado, sobre fermentado y seco.

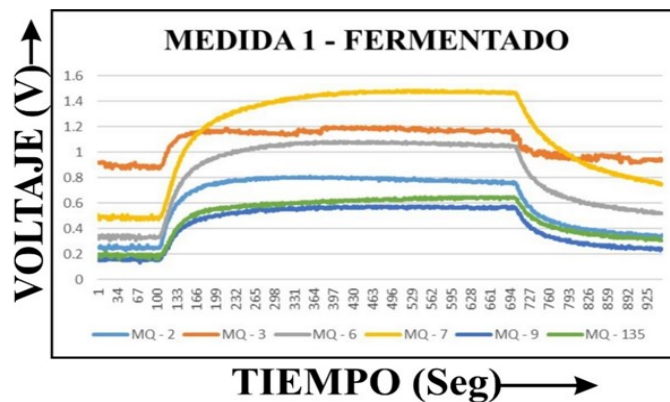


Figura 13. Data muestra de cacao fermentado [4]

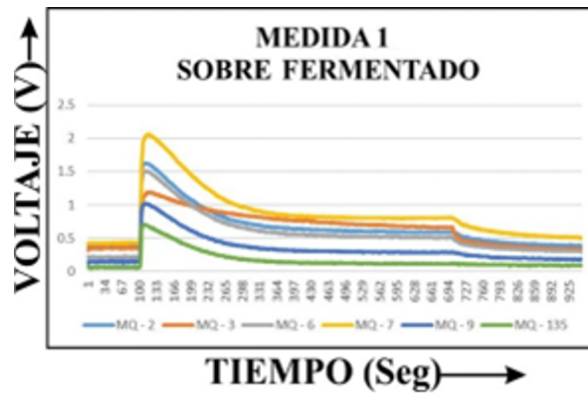


Figura 14. Data muestra de cacao sobre fermentado [4]

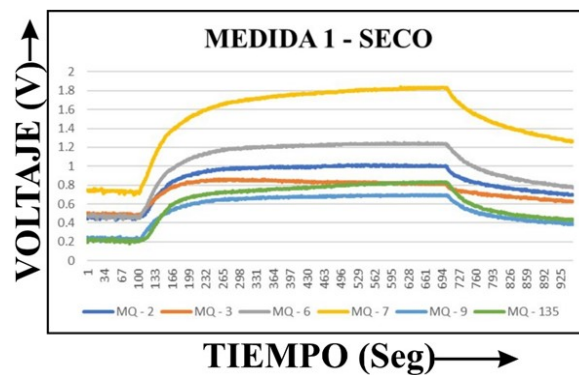


Figura 15. Data muestra de cacao seco [4]

Se utilizó una metodología cualitativa para analizar los datos y determinar los compuestos volátiles asociados a las muestras de cacao fermentado, seco y sobre fermentado. En la Figura 16 se pueden observar clústeres que representan estas muestras, utilizando el preprocesamiento de datos con el método Manhattan utilizando el software Python. Como resultado, se obtiene un sistema funcional con capacidad de clasificar los tres tipos de muestras de cacao, logrando una varianza del 86%.

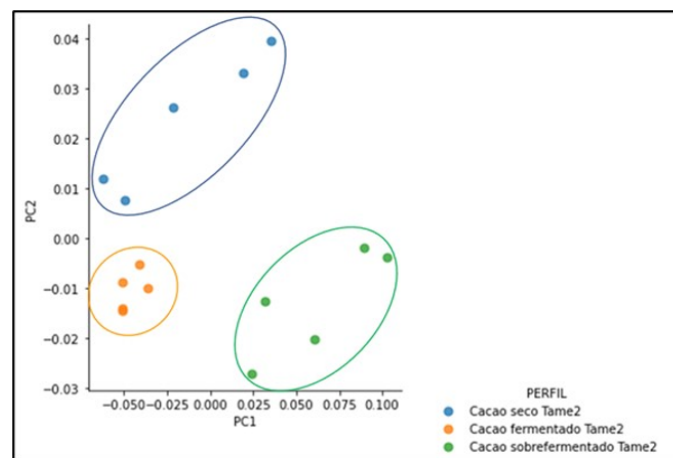


Figura 16. Muestras de cacao fermentado, seco, y sobre fermentados asociados a clústeres mediante el análisis de componentes principales. PC1=0.85 y PC2=0.1 [4]

Se implementa otra técnica de preprocesado denominada MinMaxScaler con el propósito de comparar resultados con respecto a la técnica Manhattan.

En la Figura 17, se visualiza los clústeres asociados a la técnica de preprocesamiento MinMaxScaler implementando el software Python.

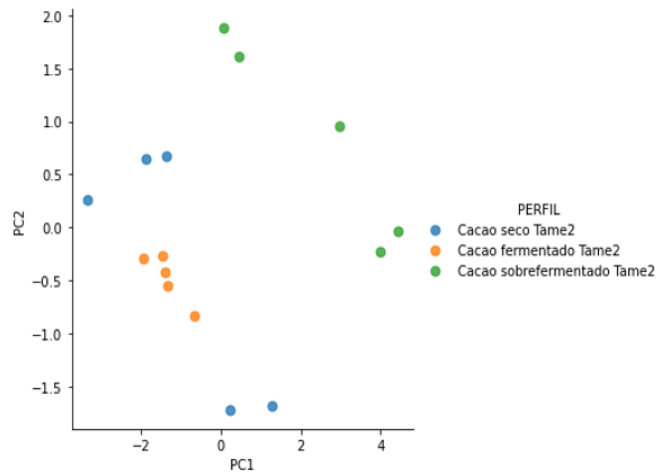


Figura 17. Muestras asociadas a Clústeres de cacao fermentado, seco, y sobrefermentado implementando análisis de componentes principales, técnica MinMaxScaler $PC1=0.81$ y $PC2=0.16$. Fuente autores.

Analizando los resultados de la Figura 17, podemos observar que las muestras asociadas a los granos de cacao se encuentran dispersas, esto dificulta la agrupación de clúster que permitan identificar la calidad del grano.

Realizando una comparación entre las técnicas de preprocesado de datos, se observa que implementando Manhattan se obtiene una mejor clasificación de muestras asociadas a cada clúster que define la calidad del grano de cacao.

En el desarrollo de la investigación agradecemos a Fedecacao Cúcuta, Agroindustria-VillaDiosa por la disposición, aporte y acompañamiento en la investigación.

Conclusiones

Al realizar comparativo entre los resultados obtenidos mediante las técnicas de preprocesado de datos, se puede observar que Manhattan permite una mejor clasificación de las muestras de cacao, permitiendo la agrupación de clúster asociados a la calidad del grano en el estado fermentado, sobrefermentado y seco del clon Tame 2.

El desarrollo del rediseño del sistema de olfato electrónico permitió reducir el tamaño del dispositivo, específicamente en las dimensiones de la cámara de medida y de concentración de volátiles, también se minimiza la implementación de sensores de gases pasando de 9 a 6, esto debido a que en la adquisición de datos se idéntica que las siguientes referencias MQ-4, MQ-5, M-Q8, no responden en amplitudes considerables de voltaje al ser sometidas a muestras de cacao, lo que permite reducir la data adquirida y mejora la clasificación de los datos.

Garantizar la hermeticidad de las cámaras de medida y concentración es fundamental al momento de la adquisición de datos, si persiste alguna fuga, afecta la calidad en la toma de datos, también se resalta la implementación de mangueras siliconadas flexibles con el propósito de evitar que el flujo de aire sea obstruido en el momento de la manipulación, en comparación con el uso de mangueras rígidas.

Recomendaciones

Debido al largo tiempo de adquisición de datos de prueba, la bomba, la válvula y la fuente de voltaje generarán un ligero calor. Por lo tanto, se agrega un extractor de calor a la carcasa del sistema de energía compuesto por el actuador como una alternativa para disipar el calor de la bomba, válvula y fuente de voltaje temperatura.

Referencias

- [1] J. de J. Morales, A. García, y E. Méndez, “¿Qué sabe usted acerca de...Cacao?”, vol. 43, n.o 4, pp. 79-81, 2012, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/579/57928311010.pdf>
- [2] M. G. Pabón y L. I. Herrera-Roa, "CARACTERIZACION SOCIO-ECONÓMICA Y PRODUCTIVA DEL CULTIVO DE CACAO EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER (COLOMBIA)", *Revista mexicana de agronegocios*, vol. 38, pp. 283-294, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14146082001>
- [3] Minagricultura, “Cifras Sectoriales cadena de cacao”, p. 27, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [4] R. J. Albarracín y A. Flórez, “Rediseño de una Cámara de Medida y de Concentración de Compuestos Volátiles de un”, p. 102, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41986/88250814.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] N. Martínez Guerrero, “Aportes de la investigación de FEDECACAO – Fondo Nacional del Cacao al incremento de la productividad y reconocimiento de la calidad del cacao de Colombia”, p. 28, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/396159089/Nubia-Martinez-Aportes-de-La-Investigacion-de-Fedecacao-Fondo-Nal-Del-Cacao-Al-Incremento-de-La-Productividad-y-Reconocimiento-de-La-Calidad-Del-Cac>
- [6] M. E. Guerrero, “Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento poscosecha de cacao”, p. 147, 2007, [En línea]. Disponible en: https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/Estudio_III_de_Post_Cosecha_de_Cacao.pdf
- [7] A. Flórez-Martínez, J. O. Vargas-Flórez, L. F. Quintana-Fuentes, y H. Perez-Waltero, “Una nariz electrónica para el control de calidad del cacao”, *La opinión*, Cúcuta, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.laopinion.com.co/tecnologia/una-nariz-electronica-para-el-control-de-calidad-del-cacao>
- [8] M. Á. Pérez y J. D. Contreras, “Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacaos especiales”. Coexca, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.swisscontact>.

org/_Resources/Persistent/d/3/b/f/d3bfb5a8d042f05cbf5533494e288f2c52800b8/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf

- [9] A. Florez-Martínez, “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”, Tesis, Universidad de Pamplona, Pamplona, 2019. [En línea]. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3322/1/Florez_2019_TG.pdf
- [10] C. M. Duran Acevedo, “Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales”, Tesis, Universitat Rovira i Virgili, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://repositori.urv.cat/fourrepublic/search/item/TDX:1903?lang=es>
- [11] M. A. Rivera-Guerrero, O. E. Gualdrón-Guerrero, y I. Torres-Chávez, “Detección de pesticidas en el durazno (prunus pérsica) mediante una nariz electrónica”, *Rev. Investig. Desarro. E Innov.*, vol. 10, n.o 2, pp. 359-365, feb. 2020, doi: 10.19053/20278306.v10.n2.2020.10724.
- [12] M. C. Quicazán S., A. C. Díaz M., y C. M. Zuluaga D., “ELECTRONIC NOSE A NOVEL TOOL FOR QUALITY AND PROCESS CONTROL IN THE FOOD INDUSTRY”, *Vitae*, vol. 18, n.o 2, pp. 209-211, sep. 2011, doi: 10.17533/udea.vitae.10063.
- [13] A. Florez-Martínez, J. O. Vargas-Flórez, H. E. Pérez -Waltero, y L. F. Quintana-Fuentes, “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 Rev. Investig. Adm. E Ing.*, pp. 16-22, jun. 2020, doi: 10.15649/2346030X.712.
- [14] S. de la F. Fernández, “ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS”, 2011, [En línea]. Disponible en: <https://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/CONGLOMERADOS/conglomerados.pdf>
- [15] “TUTORIAL SENSORES DE GAS MQ2, MQ3, MQ7 Y MQ135”. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html
- [16] “MQ-3 Sensor de alcohol”. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-3-sensor-de-alcohol/>
- [17] “Sensor de gas propano - MQ-6”, BricoGeek. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.bricogeek.com/descatalogado/917-sensor-de-gas-propano-mq-6.html>
- [18] “MQ-7 Sensor de gas monóxido de carbono”. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-7-sensor-de-monoxido-de-carbono/>
- [19] “MQ-9 Sensor de Gas”, Geek Factory. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-9-sensor-de-gas/>

- [20] “Módulo Sensor MQ-135 Calidad del Aire”. 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://geekbotelectronics.com/tienda/producto/modulo-sensor-mq-135-calidad-del-aire>
- [21] “¿Cómo funciona una válvula solenoide?”, Revista electroIndustria. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3514&ni=como-funciona-una-valvula-solenoide>
- [22] “Mini bomba de aire de 3 A 12V”. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cdtecnologia.net/motores-y-bombas/642-mini-bomba-de-aire-3-a-12v.html>
- [23] “¿Qué es el acondicionamiento de señal o acondicionador de señal?” 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-acondicionamiento-de-seal#introduction>
- [24] J. Penalva, “Empezar con Arduino (Genuino): cómo elegir la placa, modelos compatibles y kits de iniciación”. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/makers/empezar-con-arduino-genuino-como-elegir-la-placa-modelos-compatibles-y-kits-de-iniciacion>
- [25] “Módulos y Shields Arduino”. Accedido: 3 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://proyectosconarduino.com/modulos/>