

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**EVALUACIÓN DEL PERFIL AROMÁTICO DEL CAFÉ HONDUREÑO (*Coffea*
arábica L.) MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA**

POR:

MARIA FERNANDA IZAGUIRRE CERRATO

ANTEPROYECTO DE TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

MAYO, 2024

EVALUACIÓN DEL PERFIL AROMÁTICO DEL CAFÉ HONDUREÑO (*Coffea*
arábica L.) MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA

POR

MARIA FERNANDA IZAGUIRRE CERRATO

JHUNIOR ABRAHAN MARCIA FUENTES

Asesor principal

ANTEPROYECTO DE TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL
SUPERVISADO

CATACAMAS

OLANCHO

MAYO, 2024

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
III	HIPÓTESIS	4
3.1	Pregunta problema	4
3.1.1	Hipótesis nula (Ho).....	4
3.1.2	Hipótesis alternativa (Hi)	4
IV	REVISION DE LITERATURA	5
4.1	Café (<i>Coffea Arábica</i> L).....	5
4.2	Industria del café en Honduras.	6
4.2.1	Variedad Lempira	8
4.2.2	Variedad IHCAFE-90	8
4.2.3	Variedad Catuaí	8
4.2.4	Variedad Icatú	9
4.3	Calidad sensorial en la Industria del café.....	10
4.3.1	Atributos sensoriales del café.....	11
4.4	Evaluación sensorial del café	11
4.4.1	Métodos tradicionales de evaluación sensorial del café	12
4.4.2	Limitaciones y desafíos de la evaluación sensorial tradicional.....	12
4.5	Principio de funcionamiento de la nariz electrónica.....	13
4.5.1	Aplicaciones actuales de la nariz electrónica en la industria	14

V	MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1	Lugar de la investigación	15
5.2	Materiales y equipo.....	16
5.3	Método	17
5.3.1	Metodología.....	17
5.5	Diseño experimental	20
5.6	Variables de respuesta.....	21
VI	CRONOGRAMA.....	22
VII	PRESUPUESTO	23
VIII	BIBLIOGRAFIA	24

I INTRODUCCIÓN

El café hondureño variedad *arábica* es reconocido mundialmente por su excepcional calidad, siendo un elemento fundamental de la cultura y la economía del país. Sin embargo, en un contexto global de creciente demanda y competitividad en el mercado internacional la evaluación precisa de sus características sensoriales se vuelve imperativa para mantener y mejorar su posición en la industria cafetalera, posicionando al país como la séptima potencia a nivel global, tercera en Latinoamérica y número uno en la región Centroamericana en términos de producción (Instituto Hondureño del Café, 2024).

En Honduras existen seis variedades de *Coffea arábica* desarrolladas mediante mejoramiento genético, además, la industria cafetalera apuestan por el aumento en calidad en taza mediante el uso de métodos biotecnológicos, que alteran el manejo natural de este cultivo y que es difícil de detectar con catadores (i. e. enzimas pectolíticas que pueden mejorar entre tres puntos o más la calidad sensorial), en este sentido, la aplicación de tecnologías innovadoras como la nariz electrónica ha surgido como una herramienta para el análisis sensorial del café, en la detección de sus características aromáticas y su correlación con su composición química (Cascos *et al.*, 2024).

La nariz electrónica un sistema de olfato artificial que intenta imitar la estructura de la nariz humana basados en receptores no específicos células y sensores, seguidos por un procesamiento de señales, permite detectar y diferenciar una amplia gama de compuestos volátiles presentes en el café, brindando información detallada sobre su aroma, sabor y calidad (Quicazán *et al.*, 2011).

Por lo anterior el presente estudio, tendrá como novedad científica la caracterización fitoquímica y sensorial de las variedades de café desarrolladas en Honduras a partir de sensores olfativos. Además, tendrá por objetivo general la evaluación de las características sensoriales del café hondureño mediante el uso de la nariz electrónica como técnica analítica.

En este sentido, a través de un enfoque multidisciplinario que combina la ciencia e ingeniería de los alimentos, la tecnología y la evaluación sensorial, se desarrollarán modelos predictivos para la detección de los perfiles aromáticos y gustativos de las variedades de café cultivadas en el país.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el perfil aromático del café hondureño de las variedades Lempira, Ihcafe-90, Catuaí, Contreras e Icatú mediante el uso de nariz electrónica.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar y cuantificar los compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en las variedades de café Lempira, Ihcafe-90, Catuaí, Contreras e Icatú a partir de cromatografía de gases.

Evaluar la calidad en taza de las variedades de café en estudio mediante jueces expertos especializados (catadores con nombramiento internacional).

Desarrollar modelos predictivos de calidad en taza de las variedades de café en estudio a partir de nariz electrónica.

III HIPÓTESIS

3.1 Pregunta problema

¿Es posible evaluar el perfil aromático del café hondureño de las variedades Lempira, Ihcafe-90, Catuaí, Contreras e Icatú mediante el uso de una nariz electrónica?

3.1.1 Hipótesis nula (Ho)

No existe diferencia significativa en la detección de los perfiles aromáticos de las variedades de café Lempira, Ihcafe-90, Catuaí, Contreras e Icatú evaluadas por técnicas instrumentales como nariz electrónica en comparación con catadores especializados.

3.1.2 Hipótesis alternativa (Hi)

Existe diferencia significativa en la detección de los perfiles aromáticos de las variedades de café Lempira, Ihcafe-90, Catuaí, Contreras e Icatú evaluadas por técnicas instrumentales como nariz electrónica en comparación con catadores especializados.

IV REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Café (*Coffea Arábica* L.)

El café es una de las bebidas de creciente importancia económica durante los últimos 150 años, la palabra “café” proviene de la palabra árabe “*Quaweh*”. Se ha popularizado por sus características estimulantes, principalmente atribuido a la cafeína. En el siglo XIII los árabes lo llevaron de Etiopía a Yemen donde establecieron las primeras plantaciones. La provincia de Kaffa en Etiopía es considerada como el hábitat natural del Género *Coffea Arábica* L y el centro de África es reconocido como el lugar de origen del café robusta (Fuentes *et al.*, 2020; Rosas, 2021).

El género *Coffea* pertenece a la familia Rubiácea, con 500 géneros y más de 6,000 especies. La *Coffea arábica* y *Coffea canephora* son las dos especies cultivadas comercialmente, el *Coffea arábica* L pertenece al género *Coffea* y el café Robusta (*Coffea canephora*) está asociado con el género *Psilanthus* (Pierre *et al.*, 2020).

Es clasificada como una planta arbustiva, originaria de las regiones altas de África central, particularmente del Sureste de Etiopía y Norte de Kenia, Etiopía es considerada el lugar de origen del café. El café actual es una hibridación natural de dos formas ancestrales cercanas a las especies *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora*, obteniendo como resultado el genoma actual de *Coffea arábica* (Pierre *et al.*, 2020).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del café

Reino	Plantae
Subreino	Franqueahionta
Subdivisión	Espermatophyta
Clase	Magnololiatae
Orden	Gentianales
Familia	Rubiaaceae
Genero	<i>Coffea</i>
Especie	<i>Coffea arábica</i> L

Fuente: (Murillo, 2018).

4.2 Industria del café en Honduras

La actividad cafetalera de Honduras proviene de regiones montañosas de 210 de los 298 municipios y 15 de los 18 departamentos del país en manos de unos 120,000 productores y genera más de 1 millón de empleos que representa más del 8% de la generación de empleos del país, esto significa la generación del 22% de empleos en zonas rurales. Generando más de un millón de trabajos que producen cerca del 38% del PIB Agrícola. La población cafetalera está constituida principalmente por pequeños productores, los cuales componen alrededor del 95% de dicha población, solamente 5% son medianos y grandes productores (Instituto Hondureño del café, 2023).

Tabla 2. Producción de café y productividad estratificada por Departamento cosecha 2022-2023

Departamento	Cantidad productores	Área cultivada con café	Área cultivada producción	Área cultivada en planta	Producción QQ Oro	Productividad QQ/MZ	%
Comayagua	12, 146	68,958.57	66,121.98	2,836.59	1,146,571.6	17.34	16.01
Copán	6,915	54,041.43	51,131.25	2,910.18	1,086,955.2	21.26	15.18
Lempira	13,179	60,467.92	57,280.20	3,187.72	1,066,587.3	18.62	14.90
El Paraíso	15,085	71,557.77	63,933.95	7,623.82	879,658.33	13.76	12.29
Ocotepeque	7,102	38,943.57	38,385.81	557.76	737,015.56	19.20	10.29
Santa Bárbara	11,432	43,993.59	41,382.66	2,610.93	599,462.47	14.49	8.37
La Paz	9,511	34,586.83	32,486.56	2,100	506,881.11	15.60	7.08
Intibucá	6,290	26,094.21	23,680.10	2,414.11	435,425.00	18.39	6.08
Yoro	5,247	20,984.79	16,425.12	4,559.67	310,809.04	18.92	4.34
Francisco Morazán	3,421	12,798.41	11,023.73	1,774.68	155,078.47	14.07	2.17
Olancho	4,798	16,160.79	12,161.48	3,999.31	151,141.81	12.43	2.11
Cortés	1,291	4,867.68	4,225.47	642.21	71,113.94	16.83	0.99
Atlántida	165	411.34	368.09	43.25	5,259.28	14.29	0.07
Colón	115	358.88	292.13	66.75	3,932.87	13.46	0.05
Choluteca	101	570.25	442.75	127.50	3,912.60	8.84	0.05
Total Nacional	84,652	454,796.0	419,341.3	35,454.7	7,159,804.7	17.07	100

Fuente: (Instituto Hondureño del Café, 2024).

4.2.1 Variedad Lempira

La variedad Lempira proviene de un cruce original entre una planta de la variedad Caturra y el híbrido de Timor, para trasmitirle a la variedad Caturra de porte pequeño y buena productividad, los genes de resistencia a la roya, el IHCAFE introdujo en Honduras varias progenies para ser estudiadas bajo las propias condiciones de cultivo del país Asimismo, estudios desarrollados sobre la composición química y organoléptica de la variedad confirman una excelente calidad de taza (Instituto Hondureño del café, 2023).

4.2.2 Variedad IHCAFE-90

La variedad IHCAFE 90 se obtuvo de la evaluación y selección de progenies de café provenientes del cruzamiento entre plantas de la variedad Caturra susceptible a la roya (*Hemileia vastatrix*) y el híbrido de timor con resistencia en el Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto (CIFC Portugal, 1959). Esta variedad se encuentra dentro de las categorías denominadas “enanas/compacta”, por ser de porte bajo, se caracteriza por color verde del brote de las hojas y presentar un grano grande; es capaz de presentar altos rendimientos y un alto potencial de taza (Instituto Hondureño del café, 2023).

4.2.3 Variedad Catuaí

Cruce entre Mundo Novo de alta productividad y la compacta Caturra, realizada por el Instituto Agronómico de Sao Paulo en Campinas, Brasil (IAC); La planta es altamente productiva, en parte debido a su pequeño tamaño, que permite que las plantas estén muy separadas; se puede plantar a casi el doble de densidad. (Iparraguirre, 2020). Esta variedad produce frutos de color rojo y amarillo La maduración de los frutos es tardía y no se desprenden fácilmente de las bandolas Produce una excelente calidad de bebida (Velásquez, 2019).

4.2.4 Variedad Icatú

La palabra Icatú significa bonanza en idioma Tupi-Guarani. Esta variedad se originó del cruzamiento realizado en Brasil en 1950 entre Robusta y Bourbón de fruto rojo, dando como resultado la variedad Arabusta. Esta variedad se retrocruzó varias veces con la variedad Mundo Novo para continuar con la evaluación y selección de características deseables y estables. En el año 1992 se realizó el lanzamiento oficial con el nombre de variedad Icatú por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC), Brasil, La calidad del grano es excelente para preparación de café espresso (Velásquez, 2019).

Es una variedad de porte alto, vigorosa y de alta producción (semejante en Brasil a la de la variedad Mundo Novo), Los brotes pueden ser verde o bronce. Es de buena calidad en taza. Esta variedad no ha sido sembrada comercialmente en Colombia (Guerrero, Zornosa, Botero, Pinilla, & Vinasco, 2013).

4.3 Calidad sensorial en la Industria del café

El café de buena calidad es sano, inocuo, tiene aromas y sabores agradables y una composición química natural. Mediante la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas en la finca y de Manufactura en el almacenamiento, la tostación y la preparación se preservan las cualidades de la bebida de café (Quintero, 2013).

Tabla 3. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café

Compuesto químico	Efecto en las características sensoriales de la bebida del café
	Retienen los aromas, contribuyen al cuerpo de la bebida y a la espuma del expreso
Polisacáridos	
Sacarosa	Amargo, sabor, color, acidez, aroma
Azúcares reductores	Color, sabor, aroma
Lípidos	Contribuyen al transporte de los aromas y sabores y en el expreso dan sabor y cuerpo
Proteínas	Contribuyen al amargo y sabor y en el expreso, a la formación de la espuma, según el grado de tostación
Cafeína	Amargor
Trigonelina	Contribuye al amargo, los productos de su degradación al aroma
Ácidos clorogénicos	Dan cuerpo, sabor amargo y astringencia a la bebida
Ácidos alifáticos	Acidez, cuerpo, aroma

Fuente: (Quintero, 2013).

4.3.1 Atributos sensoriales del café

La calidad de taza de café (*Coffea arábica* L.) es el resultado de los atributos sensoriales que dependen de factores como genotipo, variedad, tipo de suelo, condiciones agroecológicas, prácticas agronómicas, de cosecha y poscosecha, torrefacción, características propias del cultivo, y procesamiento (Suárez *et al.*, 2015).

El café se caracteriza por su fragancia, que es el olor de los granos molidos secos, y su aroma, que es el olor cuando se mezcla con agua caliente. El sabor es una combinación de estos dos aspectos. El sabor residual es la duración de las cualidades positivas del sabor que se perciben en la parte posterior del paladar. La acidez es la sensación que hace salivar, descrita como “brillante” cuando es favorable y “agria” cuando no lo es. El cuerpo se refiere a la sensación de pesadez del líquido en la boca, y el equilibrio es el resultado del complemento o contraste de la acidez, el sabor residual y el cuerpo del café (Pabón & Osorio, 2019).

4.4 Evaluación sensorial del café

El café es uno de los pocos productos agroalimentarios que es valorado con base en descriptores cualitativos, donde a mejor calidad, mayor será el precio que se obtenga. Esta calidad, sin embargo, depende de varios factores que se relacionan en todas las etapas de la producción de café, desde la selección de la variedad hasta la elaboración de la bebida (Gutiérrez & Barrera, 2015).

Por lo cual la evaluación sensorial, ha sido el método para evaluar la calidad del café, las características de color, aspecto, olor y sabor de los alimentos, estimulan la visión, el olfato, el tacto y el gusto, produciendo estímulos que van al cerebro, donde ocurre la percepción o correlación de impresiones sensoriales, convirtiéndose en un juicio por medio del cual se determina si un producto es aceptado o rechazado (Pabón & Osorio, 2019).

4.4.1 Métodos tradicionales de evaluación sensorial del café

La nariz humana sigue siendo el instrumento principal que se utiliza para la evaluación de la calidad del café, se hace mediante la prueba de taza, con paneles de evaluadores entrenados que son los responsables de la prueba y en cada sesión pueden ser evaluadas más de 200 tazas por día en la cual atributos como el aroma, sabor, acidez y el cuerpo son las características sensoriales que describen la calidad del café, siendo un café de calidad superior con una intensidad equilibrada de acidez y aroma, buen sabor y cuerpo medio (Gutiérrez & Barrera, 2015).

Estos catadores desarrollan una capacidad única para reconocer los defectos y la calidad en las bebidas de café, debido a la experiencia adquirida durante varios años. Sin embargo, el problema es que las sensaciones olfatorias son efímeras y no son fáciles de describir, cada persona presenta diferente sensibilidad ante la intensidad de los olores (Díaz, 2022).

4.4.2 Limitaciones y desafíos de la evaluación sensorial tradicional

Si bien es cierto la nariz humana está limitada a la hora de la evaluación del olor, por ello surgió la necesidad de crear un instrumento capaz de imitar el sentido humano del olfato. Las narices electrónicas fueron desarrolladas en un comienzo para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por factores externos. Algunas veces estos paneles de expertos se han apoyado en cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas, no sólo clasificando olores sino también cuantificándolos, todo esto con un elevado costo en tiempo y en dinero (Gutiérrez, 2011).

4.5 Principio de funcionamiento de la nariz electrónica

En 1980, la nariz electrónica fue aceptada como un instrumento que comprende un conjunto de sensores electroquímicos de gas heterogéneos y un sistema de reconocimiento de patrones. Por lo tanto, una vez que se recogen los datos de los sensores, el sistema de reconocimiento de patrones realiza un procesamiento de los datos para analizarlos y clasificarlos (Serracín & Moreno, 2016).

Todos los sistemas de nariz electrónica que existen actualmente en el mercado constan de tres partes bien diferenciadas. La primera de ellas implica la toma de muestra, en este caso, se fundamentará en la técnica del espacio de cabeza (*headspace*). Los volátiles, concentrados por calentamiento en la fase vapor que son introducidos en el sistema de sensores que medirá las diferentes propiedades fisicoquímicas de los componentes del aroma, convirtiendo el olor en la señal mensurable que un ordenador se encargará de procesar mediante técnicas quimiométricas, proporcionando un gráfico que representará la huella digital de dicho olor (Busto, 2002).

Si se compara la nariz electrónica con otras técnicas analíticas para la evaluación del aroma de los alimentos esta presenta ventajas ya que los análisis son generalmente muy rápidos y pueden realizarse de manera continua; operación del equipo simple, resultados de los análisis en tiempo real; es una tecnología versátil, limpia ; las narices electrónicas pueden detectar concentraciones de aromas del orden de partes por millón, y pueden acoplarse a otros equipos de análisis, como espectrómetros de masas; las muestras a analizar pueden ser sólidos, líquidos o gases, y con un adecuado y suficiente entrenamiento (Gutiérrez, 2011).

4.5.1 Aplicaciones actuales de la nariz electrónica en la industria

Los sistemas de nariz electrónica se diseñaron para ser usados con numerosos productos y aplicaciones, como alimentos, empaques, control de calidad de materias primas y productos elaborados; monitoreo de procesos, frescura y madurez, investigaciones de estimación del tiempo de vida útil, valoraciones de autenticidad de productos, detección de microorganismos patógenos. Los análisis de rutina en control de calidad de alimentos constituyen una de las aplicaciones más promisorias de la nariz electrónica (Quicazán *et al.*, 2011).

La aplicación de la nariz electrónica en la industria alimentaria ha demostrado ser una herramienta valiosa, especialmente en la detección y evaluación de compuestos específicos en productos alimenticios, según (Casco *et al.*, 2023). La utilización de sensores digitales permite predecir defectos de quemado y niveles de fenoles en aceitunas negras de estilo californiano, este estudio resalta como la nariz electrónica puede identificar defectos de calidad lo que facilita un control de calidad más preciso y eficiente y asegura que los productos cumplan con los estándares deseados.

En la actualidad las narices electrónicas no son solamente usadas para clasificaciones de aroma, sino también para la detección de olores. De ahí que su importancia y utilización se haya extendido a aplicaciones en la agroindustria (Díaz, 2022).

V MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Lugar de la investigación

La investigación se realizará en las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja, esta es una institución pública de educación superior ubicada en la ciudad de Loja, al sur del Ecuador. Específicamente, se encuentra en la Calle París de la ciudad de Loja.

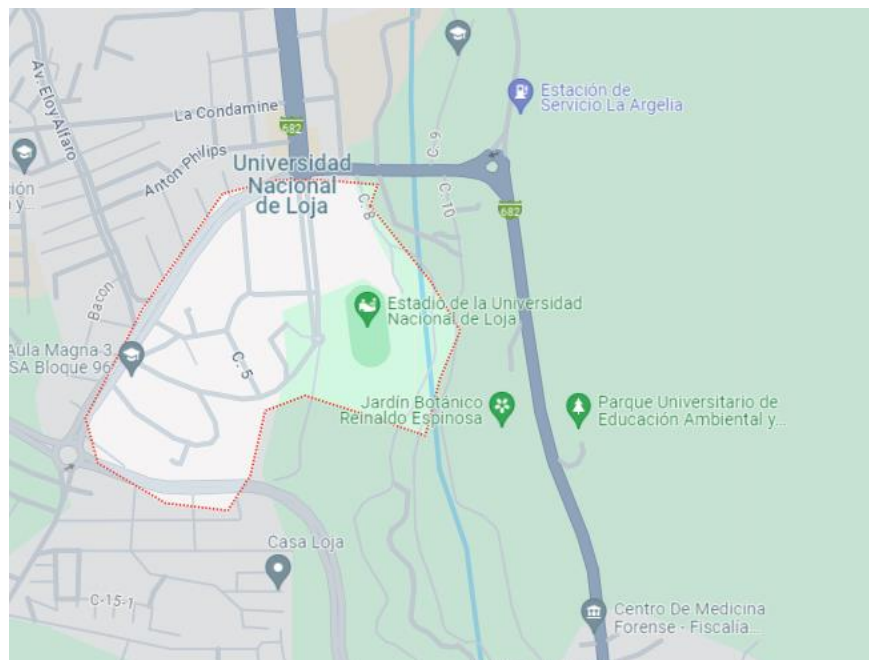


Figura 1. Universidad Nacional de Loja, ubicada en Loja, Ecuador

Fuente. Google mapa (2024).

5.2 Materiales y equipo

Para el desarrollo de la investigación se emplearán los materiales y equipos descritos en la tabla 4.

Tabla 4. Materiales y equipo para la investigación

Materia prima	Descripción
Variedades de café	Muestras principales del estudio, se evaluarán para determinar sus características organolépticas y composición química.
Materiales y equipos	Descripción
Equipo de nariz electrónica	Dispositivo electrónico diseñado para detectar y analizar aromas, se utiliza para complementar las pruebas de cata y analizar las muestras de café.
Equipo de cromatografía líquida	Se utilizará para analizar los compuestos volátiles presentes en las muestras de café, proporcionando información detallada sobre su composición química.
Reactivos químicos	Se utilizará para preparar las muestras antes del análisis
Cafetera	Equipo principal para preparar el café expreso, permite controlar la temperatura y la presión para obtener resultados consistentes.
Balanza analítica	Instrumento para medir la masa de las muestras con alta precisión.
Cronómetros	Dispositivos para medir el tiempo con precisión, para controlar el tiempo de preparación y el tiempo de las pruebas durante el estudio.

Termómetro	Instrumento para medir la temperatura, es esencial para garantizar la consistencia en la preparación del café y para tomar medidas de temperatura en el entorno de estudio.
Cucharas de cata	Para facilitar la degustación y evaluación sensorial de las muestras, permitiendo la apreciación de sus sabores.
Tazas de catación	Vasos de vidrio/porcelana limpios y estériles para contener las muestras preparadas antes del análisis.

Fuente: propia.

5.3 Método

Se empleará el método descriptivo-cuantitativo (mixto) de orden transversal a escala de laboratorio, durante un lapso de cinco meses durante los meses mayo a septiembre del 2024.

5.3.1 Metodología

Para garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos en este estudio, se ha diseñado un enfoque metodológico que consta de cuatro fases experimentales. A continuación, se proporcionará una descripción detallada de cada una de las fases para proporcionar una comprensión clara del proceso experimental que se llevará a cabo.

Fase I. Selección y preparación de las muestras

En el contexto de este estudio, se realizará una evaluación exhaustiva de cinco variedades de café Arábica originarias de Honduras; las muestras para este estudio han sido proporcionadas por Café Orgánico Márcala S.A. (COMSA), una empresa situada en la región de Márcala, en el Departamento de la Paz, Honduras.

La selección del café hondureño para este estudio se fundamenta en su reconocida calidad superior, que rivaliza eficazmente con otras variedades de café, así como en sus distintivas características organolépticas.

Los análisis se llevarán a cabo tanto en el café molido como en el extracto resultante de la infusión siguiendo la metodología propuesta por (Casco *et al.*, 2024).

El proceso de molienda se efectuará utilizando un molino manual (KitchenAid, Estados Unidos), en el cual se procesarán 20 gramos de café durante un periodo de 50 segundos. En cuanto a la preparación de la infusión, se utilizarán 12 gramos del café previamente molido. Este café molido se introducirá en una cafetera a la que se añadirán 150 ml de agua, el tiempo total de preparación de la infusión será de 12 minutos.

Fase II. Análisis de compuestos volátiles

Estos compuestos se determinan mediante técnicas de laboratorio, como la cromatografía de gases, esta técnica se utiliza ampliamente para la separación de componentes volátiles, semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas entre 350 y 400 °C, ajustando curvas de calibración de los estándares correspondientes, a partir de la metodología planteada por (Casco *et al.*, 2024) con ligeras modificaciones. Además, los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) presentes en las muestras serán evaluados a partir de cromatografía líquida de Alta Resolución (HPLC). Siguiendo la metodología propuesta por (Casco *et al.*, 2024a) con ligeras modificaciones.

Fase III. Análisis sensorial

Una evaluación sensorial implica la preparación y degustación de alimentos y bebidas en condiciones controladas, de tal manera que se minimicen los factores que podrían causar sesgos, entre las variables de prueba se encuentran los atributos aroma, sabor, acidez y cuerpo (Casco *et al.*, 2024b).

Las pruebas sensoriales de las muestras del café serán evaluadas por un panel de cata con jueces entrenados, la prueba de evaluación se realizará en una sala de cata, asimismo, las muestras se preparan en una copa de degustación para su evaluación, a partir de pruebas descriptivas, siguiendo la metodología propuesta por (Marcia *et al.*, 2020).

Fase VI. Medidas de la nariz electrónica

La principal tecnología involucrada en este trabajo es la nariz electrónica, que está diseñada para reaccionar a moléculas específicas y generar señales eléctricas proporcionales al aroma detectado. Estos sensores al entrar en contacto con los granos de café podrán discriminar el tipo de producción en función de su calidad, las señales eléctricas generadas por los sensores se convertirán en datos digitales que un sistema podrá procesar una parte importante de la tecnología *E-nose* con el uso de algoritmos y técnicas de aprendizaje automático para analizar y procesar los datos obtenidos de los sensores (Casco *et al.*, 2024b).

Las muestras se analizarán adicionalmente en un laboratorio utilizando un prototipo de equipo de nariz electrónica. Estos algoritmos son fundamentales para la identificación de los diferentes olores y compuestos químicos presentes en las muestras de granos de café.

Finalmente, los datos recopilados se comparan con bases de datos previamente establecidas que contienen información sobre los diferentes olores y compuestos químicos para permitir la identificación de los olores y la emisión de resultados (Casco *et al.*, 2023).

Los experimentos se realizarán en un ambiente limpio y desinfectado, colocándose en una cámara la muestra de 10 ml de café, posteriormente se cerrará herméticamente la cámara y se utilizará el sensor de luz cuántica para evaluar el aroma de cada muestra (Díaz, 2022).

Asimismo, este estudio se propone desarrollar modelos predictivos para la calidad en taza de las variedades de café en estudio, utilizando datos de nariz electrónica. Esto abarcará la recolección de datos de nariz electrónica y calidad en taza, seguido de un minucioso preprocesamiento de datos para garantizar su calidad y confiabilidad. Posteriormente, se aplicarán técnicas de ingeniería para extraer y transformar los datos de manera que maximicen su potencial predictivo.

Cada modelo será evaluado rigurosamente utilizando métricas de rendimiento adecuadas, seleccionando el modelo de mejor desempeño en función de su precisión. Para profundizar en el funcionamiento del modelo que se seleccionará, se realizará una interpretación exhaustiva de las relaciones entre las características de la nariz electrónica y las predicciones de calidad en taza se identificarán las características más influyentes y se analizarán sus contribuciones a la precisión del modelo (Acevedo, 2013).

5.4 Análisis de los resultados

Para la optimización de los resultados se empleará el programa IBM SPSS versión 27, a partir de pruebas descriptivas y estadígrafos, además se utilizará las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey con $p\text{-valor} \leq 0.05$, y una confianza de 95% (Cascos *et al.*, 2023).

5.5 Diseño experimental

En este estudio, se aplicará un diseño experimental factorial 5x2x3 para evaluar de manera exhaustiva los perfiles aromáticos del café hondureño, específicamente se compararán cinco variedades de café, Lempira, IHCAFE-90, Catuaí, Contreras e Icatú bajo dos condiciones distintas el café molido y sobre el extracto, una vez realizada la infusión con tres repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales.

Tabla 5. Diseño experimental

FACTORES	NIVELES				
Método de preparación	Variedad IHCAFE-90	Variedad Lempira	Variedad Catuaí	Variedad Contreras	Variedad Icatú
Café molido	T1	T3	T5	T7	T9
Café preparado	T2	T4	T6	T8	T10

Fuente: propia.

Tabla 6. Combinación de los tratamientos a investigar

Factores		Niveles
Tratamientos	T1	Variedad Ihcafe-90, Café molido
	T2	Variedad Ihcafe-90, Café preparado
	T3	Variedad Lempira, Café molido
	T4	Variedad Lempira, Café preparado
	T5	Variedad Catuaí, Café molido
	T6	Variedad Catuaí, Café preparado
	T7	Variedad Contreras, Café molido
	T8	Variedad Contreras, Café preparado
	T9	Variedad Icatú, Café molido
	T10	Variedad Icatú, Café preparado

Fuente: propia.

5.6 Variables de respuesta

En esta investigación, se priorizarán dos variables de respuesta fundamentales, perfil aromático y calidad fitoquímica, esto permitirá no solo entender la calidad sensorial del café hondureño sino también su valor nutricional y funcional.

VI CRONOGRAMA

ACTIVIDADES PARA REALIZAR	AÑO 2024				
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Redacción del anteproyecto					
Defensa de anteproyecto					
Selección y preparación de las muestras					
Análisis de compuestos volátiles					
Análisis sensorial					
Medidas de la nariz electrónica					
Redacción del informe final y artículo académico					
Defensa del trabajo de investigación					

VII PRESUPUESTO

Gastos personales		
Descripción		Costo estimado (L)
Alimentación		20,000
Transporte		30,000
Vivienda		10,000
Gastos compras de materiales		
Materiales	Unidades	Costo estimado (L)
Tazas de catación	20	2,640
Cucharas de catación	4	2,400
Bandejas de muestras	7	1,225
Molino de café	1	1,735
Cronómetro	1	900
Termómetro	1	400
Balanza analítica	1	700
Total (L)		70,000

VIII BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. (2013). Optimización de una nariz electrónica a través de un método de selección de variables. *El Hombre y la Máquina*.
- Busto, O. (2002). La nariz electrónica: una nueva herramienta para analizar el aroma. *acenologia*, pp 60-62.
- Cascos, G., Barea-Ramos, J., Montero-Fernández, I., Ruiz-Canales, A., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2023). Burn Defect and Phenol Prediction for Flavoured Californian-Style Black Olives Using Digital Sensors. *foods*, 12, 1377.
- Cascos, G., Lozano, J., Montero-Fernández, I., Marcía-Fuentes, J., Aleman, R., Ruiz-Canales, A., & Martín-Vertedor, D. (2024a). Electronic Nose and Gas Chromatograph Devices for the Evaluation of the Sensory Quality of Green Coffee Beans. *Foods*, 13; 87.
- Cascos, G., Montero-Fernández, I., Marcía-Fuentes, J., Alemán, R., Ruiz-Canales, A., & Martín-Vertedor, D. (2024b). Electronic Prediction of Chemical Contaminants in Aroma of Brewed Roasted Coffee and Quantification of Acrylamide Levels. *foods*.
- Díaz, M. (2022). Evaluación del perfil aromático de café colombiano de distintas zonas y épocas de cosecha, usando de nariz electrónica y análisis estadístico multivariado. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Fuentes, J., Alemán, R., Chavarría, L., Murillo, I., Alvarado, N., & Fernández, I. (2020). Development of a Drink Type Infusion From Coffee Pulp (*Coffea arabica*) Lempira Variety of Honduras. *Journal of Agricultural Science* , (12); 1 .
- Guerrero, H. A., Zornosa, J. R., Botero, M. d., Pinilla, J. C., & Vinasco, D. M. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. *Cenbook*, 193.
- Gutiérrez, L. (2011). Evaluación de la calidad de productos lácteos por medio de la nariz electrónica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(2), 189-199.
- Gutiérrez, N., & Barrera, O. M. (2015). Selección y entrenamiento de un panel en análisis

- sensorial de café (*Coffea arabica* L). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2):77 - 87.
- Instituto Hondureño del café, IHCAFE. (2023). Memoria IHCAFE al servicio de la caficultura hondureña. Obtenido de https://drive.google.com/file/u/1/d/1aReYGQc9URRG-Iuvt1UjoTsDfjJy34oY/view?pli=1&usp=embed_facebook.
- Instituto Hondureño del Café, IHCAFE. (2024). Estadísticas de la producción del cultivo de café en Honduras. Obtenido de <https://i0.wp.com/www.ihcafe.hn/wp-content/uploads/2024/01/Cafe-de-Honduras-en-Numeros-1-1024x791.jpg>
- Instituto Hondureño del café, IHCAFE. (2023). Producción estratificada por departamento cosecha 2022-2023. Obtenido de <https://www.ihcafe.hn/produccion-nacional/>
- Iparraguirre, A. D. (2020). Evaluación de la calidad organoléptica del café (*Coffea arabica* L.), en las variedades Catimor, Catuaí y Caturra. Universidad Señor de Sipán, 20.
- Murillo, M. D. (2018). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de café (*Coffea arabica* L) tostado y verde en las características sensoriales y fisicoquímicas de galletas dulces.
- Marcia Fuentes, J. A., Alemán, R. A., Chavarría, L. A., Varela Murillo, I. M., Alvarado, N. P., & Montero Fernández, I. (2020). Desarrollo de una bebida tipo infusión a partir de pulpa de café (*Coffea arabica*) variedad Lempira de Honduras. *Journal of agricultural Science*.
- Pabón, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila (págs. 162–187). Cenicafé. Obtenido de https://doi.org/10.38141/10791/0005_7
- Pierre, J., Rodrigo, F., & Vásquez, E. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovare revista de ciencia y tecnología*, 2.
- Quicazán S., Díaz M., Zuluaga D. (2011). La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos. *Vitae*, pp. 209-217.
- Quintero, G. (2013). *Digital repository of the National Coffee Research Centre - CENICAFE*. Obtenido de Composición química de una taza de café: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/340>

- Rosas, G. A. (2021). Efecto de la pulpa de café en las propiedades reológicas de masa para pan y batidos para muffins y su relación con sus parámetros de panificación.
- Serracín, J., & Moreno, I. (2016). Matriz de sensores: fundamento de la nariz electronica. Memorias de congresos UTP, 1 (1), 37-39.
- Suárez Salazar, J. C., Rodríguez Burgos , E., & Durán Bautista , E. H. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza.
- Velásquez, R. A. (2019). Asociación Nacional del Café, Anacafé. Obtenido de Guía de Variedades de Café:
<https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9>.