

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**CARACTERIZACIÓN SENSORIAL Y QUÍMICA DEL CHILE PICANTE NATIVO  
DE HONDURAS, MEDIANTE EL USO DE NARIZ ELECTRÓNICA**

**POR:**

**JORGE ARTURO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**

**TESIS**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**JUNIO, 2025**

CARACTERIZACIÓN SENSORIAL Y QUÍMICA DEL CHILE PICANTE NATIVO DE  
HONDURAS, MEDIANTE EL USO DE NARIZ ELECTRÓNICA

POR:

JORGE ARTURO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

JHUNIOR MARCIA FUENTES

Asesor principal

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 2025

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos más difíciles y por llenar mi camino de luz, sabiduría y esperanza.

A mi madre y padre Dunia Marlene Rodríguez y Darwin Joel Castro, por su amor incondicional, por sus sacrificios silenciosos, su apoyo inquebrantable y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la fe y la perseverancia. Esta meta alcanzada también es suya.

A mis hermanos Darwin José y Joel Isaac, por su compañía y por creer en mi en todo momento. A mis amigos por su apoyo durante los momentos de desafío. Mi más sincero agradecimiento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante. Su guía ha sido fundamental en cada paso del camino.

A mis padres, Dunia Rodríguez y Darwin Castro, por su amor incondicional, sus sacrificios y su constante apoyo moral y emocional. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis asesores, Ingeniero Jhunion Marcia, Ingeniero Jaime Salgado y Ingeniero Carlos Amador por su orientación, paciencia y compromiso durante todo el proceso de esta tesis. Sus enseñanzas han enriquecido mi formación académica y personal.

A la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), por brindarme el espacio, los recursos y la oportunidad de realizar los análisis necesarios para el desarrollo de este trabajo.

Agradecer de corazón a mi pareja Maria Alejandra Lagos y mis amigos Ana Escobar, Blanca Romero, quienes me han acompañado con palabras de aliento, comprensión y apoyo en los momentos en que más lo necesité. Su presencia ha sido un gran impulso en este camino.

A todos ustedes, gracias de corazón.

## **TABLA DE CONTENIDO**

|                                                                                                       |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                           | <b>1</b> |
| <b>II. OBJETIVOS.....</b>                                                                             | <b>1</b> |
| 2.1 Objetivo general.....                                                                             | 1        |
| 2.2 Objetivos específicos .....                                                                       | 1        |
| <b>III. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                                                              | <b>5</b> |
| 3.1 Origen y distribución del chile picante ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....                         | 5        |
| 3.2 Antecedentes del chile picante en Honduras .....                                                  | 6        |
| 3.3 Propiedades y aplicaciones del chile .....                                                        | 7        |
| 3.4 Composición química de Capsicum .....                                                             | 10       |
| 3.5 Clasificación de los chiles picantes .....                                                        | 10       |
| 3.5.1. Variedades de ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....                                               | 11       |
| 3.6 Metabolismo del <i>Capsicum annuum</i> L.....                                                     | 12       |
| 3.6.1 Aplicación en chiles .....                                                                      | 13       |
| 3.7 Relevancia nutracéutica y farmacológica .....                                                     | 14       |
| 3.8 Las narices electrónicas.....                                                                     | 14       |
| 3.9. Aplicaciones de las narices electrónicas.....                                                    | 15       |
| 3.9.1 Descripción y fundamentos generales de la nariz electrónica .....                               | 17       |
| 3.9.2 La aplicación de estas técnicas en los chiles picantes nativos de Honduras permitiría:<br>..... | 17       |
| 3.10 Aplicaciones de nariz electrónica en café.....                                                   | 18       |
| 3.10.1 Módulos principales y secuencia operativa de una nariz electrónica .....                       | 19       |
| 3.11 Pruebas descriptivas .....                                                                       | 19       |
| 3.12 Atributos sensoriales de los alimentos.....                                                      | 19       |

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.12.1. Los principios y prácticas de la evaluación sensorial envuelven cuatro actividades principales..... | 21        |
| <b>3.13 Análisis instrumentales de los alimentos.....</b>                                                   | <b>21</b> |
| <b>IV. MATERIALES Y METODOS .....</b>                                                                       | <b>23</b> |
| 4.1 Ubicación del estudio .....                                                                             | 23        |
| 4.2 Materiales y equipo .....                                                                               | 24        |
| 4.3 Método .....                                                                                            | 25        |
| 4.4 Metodología .....                                                                                       | 25        |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>                                                                     | <b>29</b> |
| <b>5.1. Separación cromatográfica .....</b>                                                                 | <b>29</b> |
| 5.1.1. Curva de calibración .....                                                                           | 30        |
| 5.1.2. Análisis de muestras .....                                                                           | 31        |
| <b>5.2. Resultados Nariz Electrónica.....</b>                                                               | <b>33</b> |
| 5.2.1. Las concentraciones obtenidas.....                                                                   | 36        |
| 5.2.2. Agrupamiento de Habanero y Chile de Árbol .....                                                      | 36        |
| 5.2.3. Aislamiento del Morrón.....                                                                          | 36        |
| <b>5.3. Resultados Físico Químicos.....</b>                                                                 | <b>38</b> |
| 5.3.1. Análisis de pH.....                                                                                  | 38        |
| <b>5.4. Análisis de sólidos solubles (°Brix) .....</b>                                                      | <b>38</b> |
| <b>5.5. Análisis de Viscosidad.....</b>                                                                     | <b>39</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES .....</b>                                                                               | <b>41</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>                                                                            | <b>42</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                                    | <b>43</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                         | <b>48</b> |

## LISTA DE FIGURA

|                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Estructura química de algunos capsaicinoides .....                                                                                                                                                                                | 9  |
| <b>Figura 2.</b> Clasificación de chiles de acuerdo con la escala Scoville .....                                                                                                                                                                   | 11 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema de operación nariz electrónica. ....                                                                                                                                                                                      | 18 |
| <b>Figura 4.</b> Lugar de investigación .....                                                                                                                                                                                                      | 23 |
| <b>Figura 5.</b> Esquema de preparación de muestras.....                                                                                                                                                                                           | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Cromatograma de la solución estándar de capsaicina y dihidrocapsaicina .....                                                                                                                                                      | 29 |
| <b>Figura 7.</b> A la izquierda se muestra el espectro de absorción de la capsaicina, mientras que a la derecha se muestra el espectro de absorción de la dihidrocapsaicina.....                                                                   | 30 |
| <b>Figura 8.</b> Cromatograma del análisis del extracto diluido de la muestra de chile habanero, se confirmó la presencia de ambas capsaicinas.....                                                                                                | 31 |
| <b>Figura 9.</b> El cromatograma obtenido del análisis del extracto diluido de la muestra de pimiento morrón no mostró señales correspondientes a capsaicina ni dihidrocapsaicina, lo que indica la ausencia de estos analitos en la muestra ..... | 32 |
| <b>Figura 10.</b> Cromatograma del análisis del extracto diluido de la muestra de pimiento árbol, con presencia de capsaicina y dihidrocapsaicina.....                                                                                             | 33 |
| <b>Figura 11.</b> Clúster jerárquico de capsaicinas en muestras de chile.....                                                                                                                                                                      | 35 |
| <b>Figura 12.</b> Análisis de componentes principales (PCA) de capsaicinas en chiles .....                                                                                                                                                         | 37 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1.</b> Preparación de muestra .....                                          | 48 |
| <b>Anexo 2.</b> Proceso de ultrasonido .....                                          | 48 |
| <b>Anexo 3.</b> Proceso de filtrado .....                                             | 48 |
| <b>Anexo 4.</b> Análisis Cromatografía Líquida de Alta Eficacia .....                 | 49 |
| <b>Anexo 5.</b> Preparación de muestras para la nariz electrónica .....               | 49 |
| <b>Anexo 6.</b> Medición de pH.....                                                   | 49 |
| <b>Anexo 7.</b> Medición de acidez .....                                              | 50 |
| <b>Anexo 8.</b> Preparación de muestras para el análisis de la nariz electrónica..... | 50 |
| <b>Anexo 9.</b> Análisis de nariz electrónica .....                                   | 50 |



## RESUMEN

**RODRIGUEZ RODRÍGUEZ J. A. (2025)** Caracterización sensorial y química del chile picante nativo de Honduras mediante el uso de nariz electrónica. Tesis Tecnología Alimentaria, Facultad De Ciencias Tecnológicas, Universidad Nacional De Agricultura. Catacamas, Olancho, C.A. 56 pág.

La presente investigación tuvo como objetivo principal la caracterización sensorial y química del chile picante (*Capsicum annuum* L.) nativo de Honduras, utilizando herramientas instrumentales como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y una nariz electrónica. Se analizaron tres variedades de chile: habanero, de árbol y morrón, con el fin de identificar y cuantificar compuestos responsables de la pungencia, como la capsaicina y la dihidrocapsaicina, así como evaluar atributos fisicoquímicos como pH, grados Brix y viscosidad.

Los resultados del HPLC confirmaron la presencia de capsaicinas en el habanero y el chile de árbol, mientras que el pimiento morrón no presentó estos compuestos. Se desarrollaron modelos estadísticos multivariantes (PCA y análisis de clúster) para clasificar las muestras según su perfil aromático, validando la eficacia de la nariz electrónica como herramienta complementaria al análisis sensorial humano. El análisis PCA demostró una clara separación entre chiles picantes y no picantes, lo que refuerza la utilidad de esta tecnología en el control de calidad.

Adicionalmente, el estudio resaltó diferencias fisicoquímicas entre las variedades, siendo el habanero el más ácido y con mayor contenido de azúcares solubles, mientras que el morro mostró la mayor viscosidad. En conjunto, estos resultados ofrecen un enfoque integral para la valoración del chile picante hondureño, proponiendo la nariz electrónica como una alternativa efectiva para la evaluación sensorial y la estandarización de calidad en la industria agroalimentaria.

**Palabras claves:** Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), capsaicina, Dihidrocapsaicina, Perfil aromático.

## I. INTRODUCCIÓN

El chile picante (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo de gran importancia en Honduras, tanto por su valor culinario como por su potencial económico. El cultivo del género *Capsicum* es uno de los más importantes a nivel mundial, debido al impacto positivo que genera a la economía de los países que se dedican a la producción. El chile se ha transformado en uno de los principales condimentos a nivel mundial. Es más, en Honduras se ha convertido en una de las hortalizas más relevantes durante los últimos años (Castilblanco & Marroquín, 2021).

Tradicionalmente, el aroma de los alimentos se ha analizado empleando técnicas de análisis sensorial y/o técnicas cromatográficas con sistemas de detección universal como la espectrometría de masas (MS) o la ionización de llama (FID). La nariz electrónica, sin embargo, sí posee esta característica, puesto que procesa la fracción volátil del alimento (i.e.aroma) de forma global, igual que hace la nariz humana, permitiendo clasificar los diferentes alimentos en función de su similitud aromática, aunque no determina la composición de dicho aroma (Busto, 2020).

La presente investigación tuvo como objetivo principal caracterizar el perfil aromático del chile picante (*Capsicum annuum* L.) nativo de Honduras mediante el uso de una nariz electrónica, y correlacionar estos datos con atributos sensoriales clave para desarrollar un perfil sensorial y químico distintivo de cada variedad.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Caracterizar sensorial y químicamente tres variedades nativas de chile picante de Honduras (*Capsicum annuum* L.), específicamente chile morrón, chile habanero y chile de árbol, mediante el uso de una nariz electrónica, con el propósito de establecer una huella digital única para cada tipo. Esta información servirá como base para el control de calidad, el desarrollo de nuevos productos y la mejora en la caracterización y diferenciación comercial de estas variedades autóctonas.

### 2.2 Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar los compuestos característicos presentes en diferentes variedades de chile picante (*Capsicum annuum* L.) nativo de Honduras mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y análisis fisicoquímicos, con el fin de establecer su perfil químico distintivo.
- Desarrollar modelos predictivos que permitan correlacionar el perfil químico obtenido por HPLC y las características fisicoquímicas del chile con sus propiedades sensoriales, utilizando herramientas estadísticas y multivariantes.
- Evaluar la capacidad de la nariz electrónica para detectar y discriminar cambios aromáticos en el chile picante durante cinco días de almacenamiento. Con el fin de determinar su sensibilidad ante variaciones sutiles en el aroma.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Origen y distribución del chile picante (*Capsicum annuum* L.)

Los chiles son una de las primeras plantas domesticadas en América. El chile (nombre derivado del idioma náhuatl), es miembro del género *Capsicum*, cultivado inicialmente en las Américas y, luego del contacto europeo, en todo el mundo. Los exploradores españoles descubrieron este cultivo en Sudamérica, América Central e islas del Caribe. A partir de ahí, se trasplantó a Europa, donde las variedades menos picantes prosperaron en el clima más frío (Attokaran, 2017).

El chile es probablemente un cultivo nativo de México desde donde se extendió al resto de América Latina. La evidencia arqueológica indica que en México los humanos han estado usando los chiles silvestres como fuente de alimento posiblemente desde 8000 a. C., no sólo como condimentos ocasionales, sino también como parte de una dieta compleja y sofisticada. El uso de esta especia picante en México se registra ya en 7000 a. C. Hay evidencia histórica de que los aztecas usaban esta especia. Una investigación reciente que combina el modelo de distribución de especies y la paleobiolingüística documenta claramente que la domesticación se produjo en el norte o centro-este de México (Kraft *et al.*, 2014).

El género *Capsicum*, tiene origen en las regiones tropicales y subtropicales del continente americano. Se le denominan chile o ají a las diversas especies cultivadas que pertenecen a este género. Asimismo, todos los chiles *Capsicum* corresponden a la familia de las Solanáceas. Dicho género comprende 33 especies, de las cuales cinco han sido domesticadas: *Capsicum annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*. Se considera como la segunda

verdura más popular en el mundo solo después del tomate y en muchos países, es esencialmente valorada por su sabor picante, nutrición y el contenido de pigmentos en los frutos.

La especie *annuum* es la de mayor importancia económica, se cultiva ampliamente en el mundo y presenta gran variación en su fenología y en el contenido de compuestos bioactivos (Martínez *et al.*, 2019).

Según el Servicio de Estudios y Estadísticas de la CAPyMA y Departamento de Prospectiva de Unión Europea y Junta de Andalucía (2013); las cadenas de valor son el estudio en el que se analizan los costos y márgenes de cada uno de los eslabones de la cadena de distribución de un producto, desde el origen hasta el consumidor. Al enfocar esta investigación al análisis de la cadena de valor de 16 variedades de chile se pretende contribuir en el conocimiento e información de las cadenas de comercialización del cultivo.

### **3.2 Antecedentes del chile picante en Honduras**

En Honduras, el chile se ha convertido en una de las hortalizas más importantes durante los últimos años. Se puede cultivar durante los 12 meses del año, comercializado en el exterior principalmente como fruto. Honduras al ser un exportador de cuatro millones de libras de chile al año ha pasado a comercializar 30 millones anualmente (Lardizabal, 2005).

En el occidente del país se ha podido apoyar a más de 120 productores del departamento de Copán, en donde los productores de la zona han aumentado sus ventas en más de \$1.1 millones y con esto han creado nuevas plazas de trabajo equivalentes a 129 empleos permanentes en el 2009 comparado con el 2008. El chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los principales cultivos a nivel latinoamericano, donde actualmente se le ha dado cierto valor agregado como ingrediente semi-procesado para la elaboración de un producto final (USAID-RED, 2009).

Copan Ruinas es una de las zonas con mayor potencial en el cultivo de chile jalapeño, sin embargo, no cuenta con ningún centro de acopio ni de procesamiento de productos agrícolas. La producción de chile jalapeño va en aumento, lo cual está provocando una saturación en el mercado de productos frescos. Esto presenta una oportunidad en el mercado al crecimiento de alimentos con cierto valor agregado. Las empresas en el occidente de Honduras se dedican a la producción de materia primas fresca, sin embargo, no hay ninguna empresa dedicada a dar valor agregado (Urquía, 2010).

### **3.3 Propiedades y aplicaciones del chile**

El fruto del chile no es sólo un condimento extraordinario, quizá el más versátil de cuantos existen; es también un alimento de gran valor nutritivo. Se considera el vegetal con mayor concentración de ácido ascórbico; en fresco contiene más del doble de vitamina C que el limón y la naranja y casi seis veces más que la toronja; en seco, por su parte, contiene vitamina A en una proporción mayor que las zanahorias, por ejemplo. Además, los chiles poseen cantidades significativas, aunque menores, de vitaminas E y B, y de algunos minerales (Vela, 2009).

Se ha comprobado que este producto estimula el flujo de la saliva y los jugos gástricos que inducen una alta digestibilidad de las proteínas del maíz y del frijol; de modo que la típica tríada alimenticia mexicana de maíz, frijol y chile, integra un complejo de componentes altamente alimenticios que se equilibran y refuerzan entre sí. En el género *Capsicum* están presentes compuestos con propiedades pungentes (picantes) y pigmentantes. Los más importantes son los alcaloides capsaicina e hidrocapsaicina, denominados capsaicinoides, así como los carotenoides capsantina y capsorrubina. Los dos primeros son responsables del principio térmico o pungencia, y los otros dos provocan la coloración naranja o rojiza de los frutos. Se conocen más de 20 capsaicinoides diferentes; sin embargo, la capsaicina y la hidrocapsaicina son responsables del 90% de la pungencia de los chiles, y es la capsaicina el compuesto más picante (Aguirre-Hernández, 2015).

La capsaicina se forma de manera natural y se encuentra en las semillas, las venas y el cuerpo del chile. Es usada como repelente en la agricultura y la ganadería menor contra mamíferos depredadores; en la industria tabacalera, para mejorar el sabor de ciertas mezclas de tabaco; en la industria farmacéutica, como estimulante, así como en la fabricación de aerosoles defensivos (Sankhla, 2012).

Además de la capsaicina, los chiles contienen otro producto de valor industrial: el pigmento rojo. Ambos se obtienen al extraer la oleorresina del fruto seco. Este pigmento natural es usado extensivamente en la industria de alimentos procesados para colorear productos cárnicos, cereales, frutas y hortalizas, quesos madurados, concentrados de animales, gelatina; en la industria cosmética, para producir colorantes para lápices labiales y polvos faciales. Las principales variedades de las que se extrae el pigmento son: mulato, pasilla, ancho y mirasol

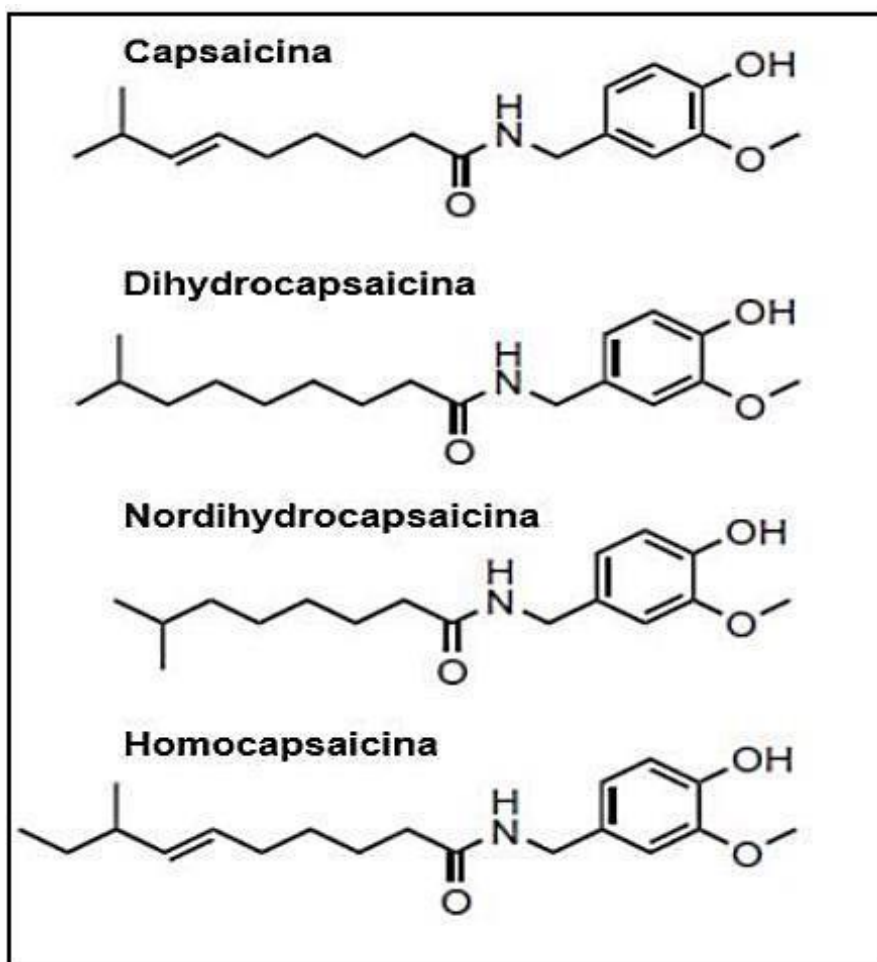
La pungencia se puede determinar por un método ideado en 1912 por el farmacéutico Wilbur Scoville, por lo que es conocido como prueba organoléptica de Scoville (Tabla 1) (Hernández & Ocotero, 2017).

**Tabla 1.** Nivel de pungencia de los chiles según la escala Scoville (US)

| <b>Especie</b>    | <b>Pungencia</b> |
|-------------------|------------------|
| Pimiento          | 0                |
| Anaheim           | 500-1000         |
| Pasilla           | 1000-1500        |
| Jalapeño          | 2500-5000        |
| Serrano           | 5000-15000       |
| Cera amarilla     | 5000-15000       |
| Cayenne           | 30000-50000      |
| Chile piquín      | 30000-50000      |
| Chipotle desecado | 50000-100000     |
| Habanero          | 100000-300000    |

Fuente: (Hernández & Ocotero, 2017)

Los compuestos responsables de la pungencia de los chiles (*Capsicum* spp.) son conocidos como capsaicinoides. Los dos capsaicinoides más abundantes son la capsaicina (8-metil-N-vainilliltrans-6-nonenamida) y dihidrocapsaicina, tanto que constituyen aproximadamente el 80-90% del picor. (Barbero *et al.*, 2016) En total, se han reportado más de 20 tipos de capsaicinoides en diferentes especies de *Capsicum* (Muñoz, 2020).



**Figura 1.** Estructura química de algunos capsaicinoides

Fuente: (Muñoz, 2020).



### 3.4 Composición química de *Capsicum*

La composición química del chile ha sido estudiada ampliamente, en particular con los tópicos relacionados a las vitaminas C y A, el contenido de pigmentos carotenoides y fenoles. La composición de carbohidratos, compuestos volátiles, pigmentos carotenoides y capsaicinoides varía dependiendo del estado de madurez de los frutos. En el estudio de Pino *et al.* (2006), estos observaron que el contenido de compuestos volátiles en *C. chinense* varía dependiendo del grado de madurez del fruto, habiendo compuestos que aumentaban, así como algunos otros que disminuían, e incluso desaparecían con la maduración. En otro trabajo realizado por Pino *et al.* (2007), reportan que la composición de compuestos volátiles en chile habanero es diversa entre las variedades de diferente color de frutos, donde se observó que el contenido de compuestos volátiles es mayor en frutos de las variedades naranja y marrón, a diferencia de las variedades con frutos rojos (Muñoz, 2020).

El chile de árbol y habanero Ambos chiles son ricos en:

- Capsaicina y dihidrocapsaicina, principales responsables del picor.
- Carotenoides como capsantina y zeaxantina, con actividad antioxidante.
- Fenoles: ácido ferúlico, ácido cafeico, quercetina y luteolina.
- Vitaminas: principalmente vitamina C y E.

Estas moléculas son susceptibles de análisis cuantitativo por técnicas como HPLC, permitiendo su separación, identificación y cuantificación con alta precisión (Moreno, 2021).

### 3.5 Clasificación de los chiles picantes

En 1912, el químico Wilbur Scoville desarrolló la escala Scoville que mide el grado de picor de un chile. Scoville asignó un valor de cero a los pimientos dulces, que no pican y en el otro extremo de la escala ubicó a la capsaicina a la que le dio un valor de dieciséis millones como la sustancia más picante (Ver Figura 2) (SIAP, 2019).



**Figura 2,** Clasificación de chiles de acuerdo con la escala Scoville

**Fuente:** (SIAP, 2019).

### 3.5.1. Variedades de (*Capsicum annuum* L.)

**Jalapeño.** Es el chile más popular a nivel nacional e internacional. En fresco se conoce como jalapeño o cuaresmeño. El 60% de la producción se utiliza en la industria de encurtidos, 20% se consume fresco y el resto, en estado maduro, se procesa por secado y ahumado para obtener el chile que conocemos como chipotle (Rodríguez, 2021).

**Poblano.** Fresco se llama poblano, y al seco se le denomina ancho o mulato. En estado seco se usa como ingrediente de colorantes; verde es la base de los chiles en nogada (López-Sánchez, 2023)

**Chile de árbol.** En fresco y seco se le da el mismo nombre y es uno de los tipos de chile que se utilizan indistintamente en estado verde o seco. Es muy picante, por lo que es la variedad más utilizada para la elaboración de salsas (Bernad, 2011).

**Chilaca.** En fresco es chilaca y en seco, pasilla. Se trata de otra de las especies de chile más utilizadas en México. Aunque también se consume fresco, se le prefiere en estado seco. Tiene moderado picor y es uno de los ingredientes básicos de moles y adobos, y además con él se elabora un sinnúmero de salsas (Hernández & Ocotero, 2017).

### **3.6 Metabolismo del *Capsicum annuum* L.**

A pesar de que los capsaicinoides son los metabolitos característicos del género, los frutos de *Capsicum* son una fuente importante de otros compuestos que pueden llegar a tener un papel importante como componentes bioactivos. Es decir, compuestos que aportan un beneficio a la salud adicional al nutricional cuando son consumidos como parte de la dieta diaria (Prado *et al.*, 2018).

Algunos de estos compuestos incluyen al ácido ascórbico, inicialmente aislado de extractos de paprika (*Capsicum*) por el bioquímico Albert Szent-Györgyi, y que debe su nombre a que su deficiencia provoca la enfermedad conocida como escorbuto, la cual resulta de la síntesis deficiente de colágeno y provoca problemas en el tejido conjuntivo (Giebelmann, 2005).

Hoy en día, el ácido ascórbico es considerado una vitamina (vitamina C) esencial debido a su importancia en el metabolismo y es ampliamente utilizado como control positivo para la evaluación de actividad antioxidante en diferentes modelos. Además, la comparación entre estudios que reportan la cantidad de ácido ascórbico en naranjas, fruto altamente reconocido por su contenido de vitamina C, y el ácido ascórbico en chile habanero nos permite observar que el chile habanero contiene cerca de 135 mg/100 g de fruto fresco, mientras que la naranja contiene menos de la mitad de esta cantidad (59.1mg/100 g de fruto fresco) (Antonelli *et al.*, 2018).

Otros tipos de metabolitos con actividad biológica reportada y encontrados en los chiles son carotenoides, tocoferoles, flavonoides y otros compuestos fenólicos (Segura *et al.*, 2013).

Los compuestos fenólicos, de gran interés por sus funciones biológicas, se dividen en ácidos fenólicos (derivados de fenilalanina) y polifenoles, ambos con uno o más anillos fenólicos. En *Capsicum*, las oleorresinas muestran actividad antioxidante y antidiabética, relacionada con su contenido fenólico. En particular, la catequina influye en la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa, responsable de la liberación de maltosa y glucosa a partir del almidón y glucógeno. (Sricharoen *et al.*, 2017).

Baenas & otros (2019) realizaron una compilación de información disponible sobre los micronutrientes y metabolitos secundarios de *C. annuum* que pueden ser utilizados con fines industriales. Los cuales abarcan desde aditivos en alimentos para prolongar la conservación de éstos, hasta el desarrollo de nutraceúticos y productos cosméticos. Además, mencionan que es necesario elucidar los mecanismos de acción para los componentes de *Capsicum* para establecer su uso, así como desarrollar estudios que engloben estudios clínicos y epidemiológicos que puedan favorecer el uso de los frutos de *Capsicum* como fuente de componentes bioactivos y ayuden a promover su consumo (Baenas *et al.*, 2019).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es la técnica preferida para analizar compuestos bioactivos en matrices vegetales, por su alta sensibilidad y especificidad (Rodríguez A. , 2022).

### 3.6.1 Aplicación en chiles

La extracción de capsaicinoides como capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina se realiza comúnmente utilizando metanol o acetonitrilo, y su análisis se lleva a cabo mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), empleando una fase móvil compuesta generalmente por acetonitrilo y agua acidificada con ácido fosfórico, y detección por

espectrofotometría UV a 280 nm o 254 nm. En chiles como el habanero, las concentraciones típicas de capsaicina oscilan entre 0.1 y 2.0 mg/g, mientras que en el chile de árbol suelen ser menores, aunque este presenta un perfil fenólico más complejo. En aplicaciones dirigidas al análisis de compuestos fenólicos en semillas de morro, el HPLC también permite identificar compuestos como el ácido gálico y el ácido vanílico, utilizando extracción con etanol al 70%, frecuentemente asistida por ultrasonido, y detección mediante un detector DAD o UV-VIS (Morán–Bañuelos, 2008)

### **3.7 Relevancia nutracéutica y farmacológica**

Los compuestos bioactivos del chile, como la capsaicina y algunos fenoles, actúan como antioxidantes que mejoran la salud cardiovascular e inmune, además de presentar propiedades antiinflamatorias al modular vía como COX-2 y NF- $\kappa$ B, efectos anticancerígenos al inducir apoptosis en células tumorales, y actividad antimicrobiana contra bacterias como *E. coli* y *S. aureus*. Para su análisis es esencial validar los métodos HPLC mediante parámetros como linealidad, repetibilidad y recuperación, preferiblemente usando estándares certificados (Sigma-Aldrich, Merck). El uso de HPLC acoplado a espectrometría de masas (HPLC-MS/MS) mejora la sensibilidad y permite detectar trazas (Kim, 2003).

El análisis fitoquímico del chile de árbol, habanero mediante HPLC permite valorar su riqueza nutricional, funcional y terapéutica. Esta información no solo es útil para la industria alimentaria y farmacéutica, sino también para reforzar el uso tradicional de estas especies en la medicina herbolaria latinoamericana (Lamponi, 2022).

El morro es una fuente de compuestos bioactivos, incluyendo lignanos, saponinas, flavonoides y ácidos fenólicos como el ácido gálico y el ácido clorogénico. Estos compuestos han sido asociados con actividades antioxidantes y antiinflamatorias. Aunque la investigación sobre el morro es limitada en comparación con los chiles, estudios preliminares sugieren su potencial como fuente de nutracéuticos (Vergara-Jimenez, 2017).

### **3.8 Las narices electrónicas**

Las narices electrónicas se emplean en el monitoreo del etanol, por ejemplo, en el control de procesos de fermentación, en el control ambiental, en alarmas de escape de gases, en la detección de alcohol en aliento. Sin embargo, usar estas narices electrónicas supone cantidades considerables de sensores para diferenciar las muestras, además de emplear controladores másicos de flujo (Paredes, y otros, 2016).

Los sistemas de olfato electrónico, más comúnmente conocidos en la industria agroalimentaria como narices electrónicas, son considerados hoy en día como una técnica de análisis de gran aplicabilidad y una práctica no destructiva diseñada para determinar, reconocer e identificar niveles muy bajos de sustancias químicas volátiles. Un arreglo de sensores electroquímicos crea una huella única digital del alimento, haciendo posible el control de calidad, el desarrollo de productos, la caracterización, clasificación y diferenciación por origen y por estado de madurez, la evaluación de su tiempo de vida útil y también como herramienta de control para identificar problemas que amenazan la comercialización, como la falsificación y la adulteración (Quicazán, Díaz, & Zuluaga, 2011).

Hoy en día los desarrollos tecnológicos a nivel de caracterización sensorial han sido de gran aporte en la industria de los alimentos, lo cual ha llevado a este tipo de técnicas como lo son la olfatometría electrónica, a ganar un nivel de aceptación y confiabilidad dentro de la ciencia de los alimentos (Carvajal *et al.*, 2014).

### **3.9. Aplicaciones de las narices electrónicas**

Aplicaciones de las NE no solo se encuentran presentes en la determinación de calidad de productos agroindustriales, también se usan en campos como la medicina y la seguridad nacional, además, son muy frecuentes en el sector ambiental donde los principales usos son la capacidad de detectar, percibir o monitorear la calidad del agua y determinar la mezcla de gases

en la atmósfera. Las NE también son usadas para determinar la calidad de abonos agrícolas al relacionar los procesos biológicos y químicos que ocurren en el material orgánico con el olor que este produce para conocer el punto exacto de este para aplicarlo a las plantas evitando su toxicidad (Díaz & Cadena, 2020).

En la agricultura, el aroma de los alimentos ha sido analizado tradicionalmente por medio de análisis sensoriales o técnicas cromatográficas como la espectrometría de masas o la ionización de llama y por medio de estas técnicas se han podido conocer los componentes que constituyen las fracciones volátiles de cada alimento. De igual manera, se han integrado otras técnicas como la detección con olfatometría que han complementado otros métodos al cuantificar los componentes volátiles, además, de identificar aromas en los alimentos (Busto, 2010).

Las narices electrónicas emplean sensores de gases de naturaleza y composición variada, que generalmente se preparan a partir de óxidos metálicos semiconductores. En el caso de la nariz electrónica, el sistema de detección está compuesto por un sistema cerrado que transporta, utilizando aire como gas de arrastre, los compuestos orgánicos volátiles presentes en el aroma de una sustancia hacia el interior de una cámara donde se ubica el arreglo de sensores (que emulan a los receptores olfativos). Los compuestos volátiles reaccionan en forma superficial con cada sensor y generan una señal analógica, produciendo un cambio en la conductividad eléctrica del sensor. Dicha señal analógica es detectada y cuantificada (Mariño, 2023).

La invención de diversos tipos tecnológicos como las NE son basados en diferentes principios y mecanismos de detección electrónica de aroma (EAD), estos se dividen en dos grupos: los que son utilizados para el desarrollo comercial y los que son utilizados para el desarrollo industrial, lo que ha tenido diferentes aplicaciones en la agricultura, como la aplicación de la NE para determinar la calidad de los productos agrícolas y su aplicación en el análisis de diferentes mermeladas, la detección de podredumbre en el almacenamiento de papa, al igual que sus posibles aplicaciones para el diagnóstico de enfermedades y plagas de las plantas, entre otras aplicaciones que contribuyen al desarrollo de la agricultura (Díaz & Cadena, 2020).

### 3.9.1 Descripción y fundamentos generales de la nariz electrónica

La nariz electrónica se compone principalmente de dos sistemas, uno de detección o transducción química y otro de reconocimiento de patrones automatizado (Berna, 2010). El sistema de detección puede ser un sensor o matriz de sensores diferentes. Los COVs de la muestra que se pone en contacto con el conjunto de sensores, producen un patrón que es característico del aroma de la muestra. Al presentar muchos productos químicos diferentes a la matriz de sensores, se puede construir una base de patrones (Berna, 2010).

El análisis de datos y reconocimiento de patrones, son partes fundamentales de cualquier sistema de matriz de sensores. Hay una variedad de métodos de reconocimiento de patrones que se pueden clasificar en tres clases dependiendo de los datos disponibles y del tipo de resultado que se requiere.

- Una segunda forma de analizar las señales de la nariz electrónica es por medio del análisis multivariante. Este análisis generalmente implica la reducción de la alta dimensionalidad o números de variables, lo que permite que la información se muestre en una dimensión más pequeña de variables parcialmente correlacionadas.
- Entre las técnicas multivariantes más utilizadas se encuentran: Análisis de Componentes Principales (PCA), Análisis Discriminante Lineal (LDA), Mínimos Cuadrados Parciales (PLS), Mínimos Cuadrados Parciales Discriminante (PLS-DA), etc. Una tercera forma de analizar las señales se basa en Redes Neuronales Artificiales (ANN). Una red neuronal consiste en un conjunto de algoritmos de procesamiento interconectados que funcionan simultáneamente. En un nivel muy simplificado y abstracto, ANN se basa en el proceso cognitivo del cerebro humano (Sánchez, 2022).

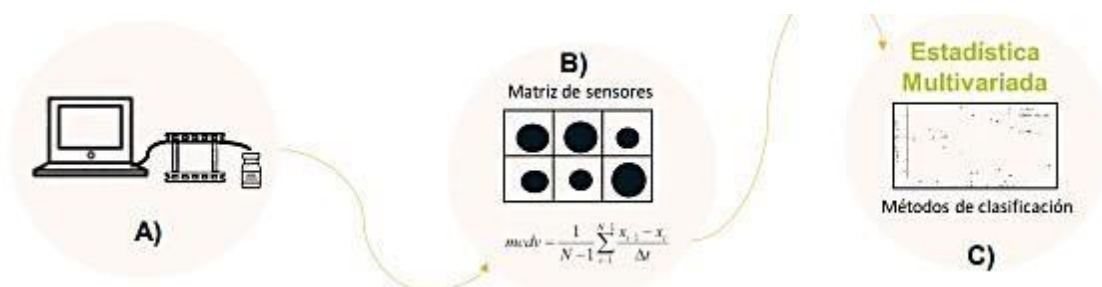
### 3.9.2 La aplicación de estas técnicas en los chiles picantes nativos de Honduras permitiría:



La identificación y preservación de variedades autóctonas es fundamental para mantener la diversidad genética y cultural de especies como el chile, y puede lograrse mediante la caracterización detallada de sus perfiles aromáticos únicos, los cuales reflejan su origen, adaptación ecológica y valor tradicional. Esta información no solo permite proteger y valorar estas variedades, sino que también contribuye a mejorar la calidad y autenticidad de los productos derivados, al asegurar que los alimentos y condimentos comercializados conserven las propiedades sensoriales que los consumidores reconocen y valoran. Además, el estudio de estos perfiles aromáticos distintivos abre la puerta al desarrollo de nuevos productos en la industria alimentaria y de condimentos, aprovechando sus atributos sensoriales para crear propuestas innovadoras y diferenciadas, tanto para el mercado local como internacional (González, 2018).

### 3.10 Aplicaciones de nariz electrónica en café

La nariz electrónica es una herramienta eficaz en el sector cafetero para detectar y diferenciar compuestos volátiles con distintas intensidades odoríferas, facilitando el control de calidad y la clasificación de muestras en café verde, tostado y en bebida. Su uso permite reconocer patrones aromáticos y detectar defectos de forma rápida y objetiva. Además, combinada con tecnologías como la lengua electrónica, espectrometría de masas y cromatografía de gases, ofrece un análisis más completo del perfil aromático, mejorando la evaluación sensorial y la estandarización del producto (Villamizar, 2022).



**Figura 3.** Esquema de operación nariz electrónica.

### 3.10.1 Módulos principales y secuencia operativa de una nariz electrónica

Una nariz electrónica se compone de tres módulos fundamentales: químico, electrónico y de software. El módulo químico incluye el acondicionamiento de la muestra y la detección del olor mediante sensores; el módulo electrónico se encarga del acondicionamiento de la señal y la extracción de características eléctricas provenientes de los sensores; y el módulo de software se ocupa del análisis, reconocimiento de patrones y visualización de datos. Estos módulos trabajan en una secuencia estructurada que comprende: el sistema de entrega y direccionamiento del olor, el sistema de detección (generalmente una matriz de sensores o espectrómetro de masas), el procesamiento y acondicionamiento de la señal, y finalmente, el análisis computacional para la identificación y clasificación del perfil aromático (Cáceres, 2018).

### 3.11 Pruebas descriptivas

Son ensayos llevados a cabo para proveer una descripción del alimento con base en sus atributos sensoriales. La caracterización de las muestras mediante esta metodología se realiza con mayor frecuencia por paneles con algún grado de entrenamiento y pueden ser tanto de carácter cualitativo como cuantitativo. La utilidad del uso de este tipo de ensayos se puede ver reflejada en actividades de investigación y desarrollo, el establecimiento de especificaciones de producto, la definición de atributos para ensayos con consumidores, la evaluación de los cambios durante el tiempo y la comparación de los resultados con información derivada de métodos instrumentales y analíticos (Myrthong, 2014).

### 3.12 Atributos sensoriales de los alimentos

Desde el enfoque de la calidad, el análisis sensorial se refiere a la evaluación de productos alimenticios o materias primas mediante la medición y cuantificación de sus propiedades percibidas a través de los cinco sentidos. Esta evaluación no se limita a la percepción individual, sino que se apoya en disciplinas como la química, la fisiología, las matemáticas y la psicología, para interpretar de forma objetiva las respuestas sensoriales humanas. La calidad sensorial de un alimento surge de la interacción entre el producto y el individuo, generando estímulos que

activan atributos clave como el sabor, el aroma, la textura, la apariencia y el sonido, los cuales en conjunto determinan su aceptación o rechazo (Osorio, 2020).

Las propiedades sensoriales de los alimentos son aquellas características que pueden ser percibidas a través de los sentidos que son determinantes en el concepto de calidad de un producto para el consumidor y pueden agruparse en apariencia, textura y sabor (Pérez, 2007).

- **Apariencia:** en esta se engloban todas las características que acompañan todas las impresiones sensoriales visuales perceptibles de un alimento que agrupan atributos como el color, tamaño y forma, textura superficial, grado de claridad u opacidad, grado de efervescencia, entre otros. En cuanto al tamaño y la forma, se tiene en cuenta las dimensiones de largo, ancho de la pieza, el tamaño de las partículas que componen el alimento, la forma geométrica que posee y la distribución de las piezas que lo conforman.
- **El olor:** este es detectado cuando las sustancias químicas volátiles presentes en los productos entran por el conducto nasal y son percibidos por el sistema olfatorio. La cantidad de sustancias volátiles que se perciben se ve afectada tanto por la temperatura como por la naturaleza del alimento. Uno de los mayores retos de los jueces sensoriales es la expresión de las sensaciones olfatorias en términos claros e identificables, para lo cual existen listados internacionales y estandarizados sobre terminología de olores con los cuales deben ser entrenados los jueces sensoriales.
- **La textura:** es un atributo que puede ser percibido tanto por la piel y los músculos del cuerpo como por receptores ubicados en la boca y se define como toda propiedad mecánica, geométrica y de superficie perceptible por medio de receptores mecánicos, táctiles y en algunos casos visuales o auditivos. Debido a lo anterior, este atributo se describe en función de sus características mecánicas según la dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad; geométricas relacionadas con el tamaño, forma y disposición de las partículas dentro del producto y las relacionadas con su contenido de grasa y humedad que determinan las propiedades de superficie.

- **El sabor:** hace referencia a una serie de propiedades olfativas y gustativas, es decir, engloba todas las informaciones recogidas cuando el alimento está en la boca, de los cuales no forma parte el olor. Con base en lo anterior, el sabor abarca el sabor, aroma, sensaciones trigeminales, gusto residual y persistencia global (Arroyave, 2017).

### 3.12.1. Los principios y prácticas de la evaluación sensorial envuelven cuatro actividades principales

- **La medida:** La evaluación sensorial es una ciencia cuantitativa en la cual es recolectada data numérica a manera de establecer una real y específica relación entre el producto y la percepción humana.
- **El análisis:** El adecuado análisis de la data es una de las partes más críticas de las pruebas sensoriales. Pueden existir diferentes fuentes de variación en las respuestas humanas que no logran ser totalmente controladas en las pruebas. Por ejemplo, los ánimos y motivación de los panelistas, su innata sensibilidad psicológica en la estimulación sensorial, y la historia pasada o familiaridad con productos similares.
- **La interpretación de los resultados:** Debido a que la evaluación sensorial es un experimento, los datos y la información estadística sólo son útiles cuando la interpretación se da en el contexto de la hipótesis, los conocimientos previos e implicaciones para las decisiones (Osorio, 2018).

### 3.13 Análisis instrumentales de los alimentos

La caracterización de los alimentos proviene de los resultados de los diferentes ensayos a que puede someterse utilizando diferentes métodos de evaluación, los cuales pueden agruparse en función de los objetivos que persigan y los principios en que se fundamentan. Así, la

evaluación de los alimentos involucra tres tipos de análisis: análisis fisicoquímico y análisis microbiológico (Parkin, 2008).

- **Análisis fisicoquímico:** Implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista fisicoquímico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento (proteínas, grasas, vitaminas, minerales, hidratos de carbono, contaminantes metálicos, residuos de plaguicidas, toxinas, antioxidantes, etc.) y en qué cantidades estos compuestos se encuentran. El análisis fisicoquímico brinda poderosas herramientas que permiten caracterizar un alimento desde el punto de vista nutricional y toxicológico, y constituye una disciplina científica de enorme impacto en el desarrollo de otras ciencias como la bioquímica, la medicina y las ciencias farmacéuticas, por solo mencionar algunas (Meloan, 2000)
- **El análisis microbiológico:** evalúa la presencia y cantidad de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) en los alimentos, los cuales, por su riqueza nutritiva, son propensos al deterioro microbiano. Todos los alimentos tienen una carga microbiana natural que debe mantenerse bajo ciertos límites para conservar su calidad y seguridad. Además, se busca detectar microorganismos patógenos que representan un riesgo para la salud. Esta evaluación no solo determina la aptitud del alimento para el consumo, sino que también permite identificar puntos críticos en el proceso de elaboración que podrían favorecer la contaminación. (Golden, 2005).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del estudio

La investigación se llevó cabo en la UNAH Universidad Nacional Autónoma de Honduras Ciudad Universitaria, Boulevard Suyapa, Tegucigalpa, Francisco Morazán



**Figura 4.** Lugar de investigación Fuente.  
(Google Maps, 2025).

## 4.2 Materiales y equipo

**Tabla 2.** Materiales y equipo utilizados en investigación

| <b>Categoría</b> | <b>Nombre</b>                                | <b>Especificaciones/Modelo</b>                                 |
|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Materiales       | Chiles (habanero, de árbol, morrón)          | Frutos frescos seleccionados por madurez y tamaño              |
|                  | Frascos herméticos                           | Para almacenamiento y transporte de muestras                   |
|                  | Viales de 10 mL                              | Para preparación de extractos                                  |
|                  | Filtros de 0.45 µm                           | Filtración de extractos                                        |
|                  | Licuada de acero inoxidable                  | Para homogeneización de muestras                               |
| Equipos          | Refractómetro digital                        | Para determinación de sólidos solubles (°Brix)                 |
|                  | Potenciómetro                                | Para medición de pH                                            |
|                  | Viscosímetro rotacional                      | Para análisis de viscosidad, unidades en centipoise (cP)       |
|                  | Nariz electrónica                            | Sistema con sensores y software para perfil aromático          |
|                  | Balanza analítica                            | OHAUS Explorer Pro – Precisión para pesaje de estándares       |
|                  | Baño ultrasónico                             | Branson™ CPX2800 – Para extracción con metanol                 |
|                  | Cromatógrafo de líquidos (HPLC)              | Shimadzu Prominence – Detector de diodos SPD-M20A, columna C18 |
|                  | Centrífuga                                   | LW Scientific C5 – Para separación de fases                    |
|                  | Agitador mecánico                            | KoolLab KS-VM-1000 – Homogeneización de mezclas                |
| Reactivos        | Metanol grado HPLC                           | Marca: JT Baker                                                |
|                  | Agua ultrapura tipo I                        | Equipo: Thermo Scientific Barnstead MicroPure ST               |
|                  | Estándares de capsaicina y dihidrocapsaicina | Proveedor: Sigma-Aldrich                                       |

**Fuente:** propia.

### **4.3 Método**

La presente investigación fue de tipo cualitativo-cuantitativo, de carácter transversal y se llevó a cabo a escala de laboratorio. Su ejecución se desarrolló desde el 6 de marzo hasta el 5 de junio de 2025.

### **4.4 Metodología**

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en la presente investigación, se realizó basándose en el siguiente guion metodológico.

#### **Fase 1. Análisis en HPLC**

#### **Materiales y productos químicos**

Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico. JT Baker (Radnor, PA, EE. UU.) suministró metanol de grado HPLC. En los experimentos se utilizó agua ultrapura tipo I, obtenida con un equipo de purificación de la marca Thermo Scientific, modelo Barnstead MicroPure ST (Waltham, MA, EE. UU.). Los estándares de capsaicina y dihidrocapsaicina se adquirieron en Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.). Las soluciones madre individuales de cada compuesto se prepararon disolviendo la masa exacta de cada compuesto en metanol. Las soluciones de trabajo de los analitos y sus mezclas se prepararon diluyendo las soluciones madre con un disolvente adecuado. Todas las soluciones se almacenaron a 4 °C hasta su uso (González L. , 2023).

#### **Instrumentación y condiciones cromatográficas**

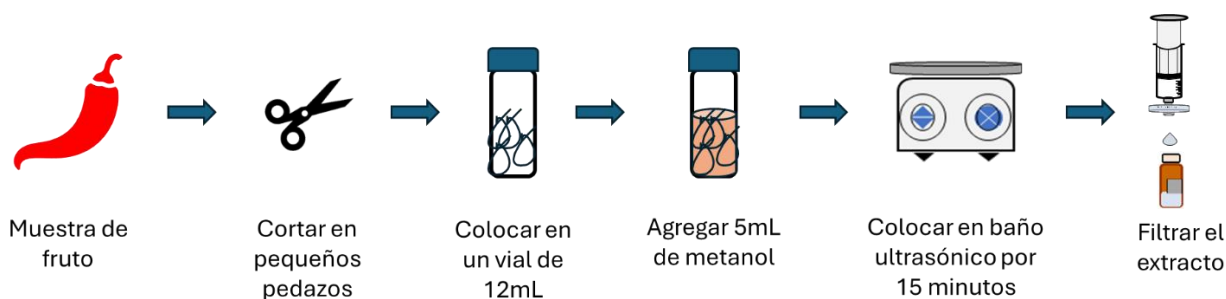
El análisis cromatográfico se realizó utilizando un cromatógrafo HPLC Shimadzu Prominence con detector de diodos SPD-M20A y columna C18 XDB (15 cm, 4,6 mm, 5 µm). Se empleó una fase móvil agua/metanol (60:40 v/v) en modo de gradiente, con un flujo de 1 mL/min, volumen de inyección de 5 µL y detección a 227 nm. Además, se usaron una centrífuga LW Scientific



C5, un baño ultrasónico Branson CPX2800, un agitador KoolLab KS-VM-1000 y una balanza analítica OHAUS. Los datos se procesaron con el software EZstart v7.4 (Kirkland, 2011).

### **Análisis estándar y de muestra**

Se prepararon soluciones estándar de capsaicina y dihidrocapsaicina en concentraciones de 25 a 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$  en metanol, las cuales se inyectaron en el cromatógrafo por duplicado. Las muestras de chile se recolectaron, se lavaron con agua destilada y se secaron manualmente. Una vez pesadas, se cortaron en trozos pequeños (5 mm) con tijeras. Posteriormente, se colocaron en viales de 10 mL y se adicionaron 5 mL de metanol, asegurándose de que esta cantidad fuera suficiente para cubrir todo el material vegetal. Posteriormente, el vial se extrajo con un baño ultrasónico durante 15 minutos, obteniendo finalmente el extracto metanólico, el cual se filtró a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . A partir del extracto, se realizaron diluciones en metanol para que las señales del analito se encontraran dentro de los valores de la curva de calibración estándar. La Figura 5 muestra el esquema de trabajo para el análisis de las muestras (Ramírez, 2023).



**Figura 5.** Esquema de preparación de muestras.

### **Fase 2: Análisis con Nariz Electrónica**

**Preparación de muestras:** se realizó la preparación de las muestras con el objetivo de garantizar la uniformidad y representatividad de cada tipo de chile. Se seleccionaron frutos frescos y en buen estado, asegurando que tuvieran características similares en cuanto a madurez, tamaño y color. Posteriormente, las muestras se lavaron y desinfectaron adecuadamente, y se procedió a su corte o trituración según el tipo de análisis planificado. Se pesaron 20 chiles de habanero y chile de árbol y 4 de chile morro, los cuales fueron colocados en recipientes herméticos. Las muestras fueron almacenadas en refrigeración si no se analizaban de inmediato, asegurando su estabilización térmica antes del análisis para evitar variaciones debidas a la temperatura (Cantwell, 2023).

**Análisis instrumental con la nariz electrónica:** Antes de iniciar las mediciones, el equipo fue calibrado utilizando estándares volátiles conocidos, garantizando así la correcta funcionalidad de los sensores. Los parámetros del equipo, tales como el tiempo de muestreo, la temperatura del cabezal y el flujo del gas portador, fueron estandarizados para todas las muestras. Cada muestra se colocó en la cámara de muestreo del equipo, y se registraron las respuestas de los sensores durante un tiempo definido, generalmente 30 segundos (López, 2022).

**La adquisición y análisis de datos:** se llevó a cabo mediante el uso de una nariz electrónica, con el objetivo de obtener los patrones de respuesta característicos de cada muestra de chile. Posteriormente, los datos registrados fueron procesados utilizando software especializado, lo que permitió realizar análisis estadísticos detallados. Estos análisis facilitaron la comparación entre los diferentes perfiles obtenidos y permitieron establecer relaciones significativas con los datos químicos y sensoriales, contribuyendo así a una mejor comprensión de las propiedades aromáticas de las muestras evaluadas (Moreno J. A., 2009).

### **Fase 3: Análisis Físico Químico**

#### **Preparación de la muestra**

Los chiles morro, habanero y de árbol fueron seleccionados en un estado óptimo de madurez, asegurándose de que estuvieran limpios y libres de daños visibles. Posteriormente, se lavaron primero con agua potable y luego con agua destilada para garantizar su limpieza. Cada tipo de chile se trituro por separado en una licuadora de acero inoxidable hasta obtener una pasta homogénea, la cual se utilizó en todas las determinaciones fisicoquímicas (Parra, 2012).

El pH de las muestras se determinó mediante un potenciómetro calibrado previamente con soluciones estándar. El extracto acuoso de cada chile se vertió en vasos de precipitados limpios, y el electrodo se introdujo en la muestra hasta quedar completamente sumergido. Tras esperar a que la lectura se estabilizara, se registró el valor de pH. Cada muestra fue analizada tres veces para garantizar la repetibilidad y confiabilidad de los resultados (Meullenet, 2010)

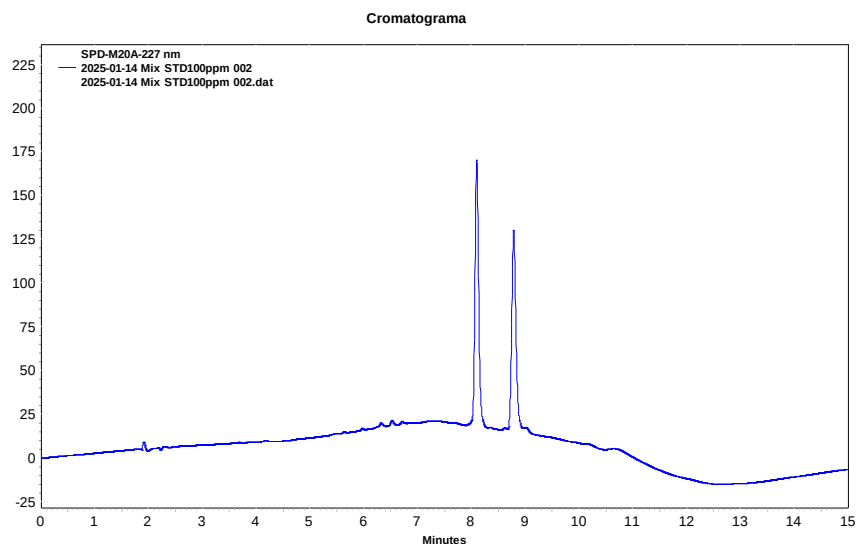
La viscosidad se determinó utilizando un viscosímetro rotacional, seleccionando los husillos apropiados según la densidad del extracto. Antes de cada medición, las muestras fueron homogeneizadas para asegurar la uniformidad. Las lecturas se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en centipoise (cP), reportándose el valor promedio correspondiente a cada muestra (Morales-de la Peña, 2010).

Finalmente, los grados Brix se determinaron utilizando un refractómetro digital previamente calibrado con agua destilada (0 °Bx). Se aplicaron varias gotas del extracto sobre el prisma del equipo, procurando evitar la presencia de burbujas o residuos sólidos. La lectura se realizó una vez estabilizado el valor, registrándose el contenido de sólidos solubles totales en °Bx. Cada muestra se analizó por triplicado para obtener un valor representativo (Castro-Rosas, 2013).

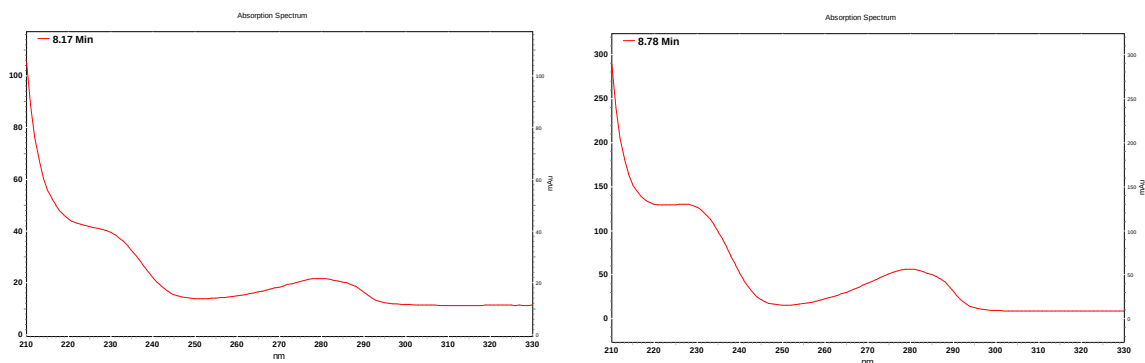
## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Separación cromatográfica

La separación cromatográfica permitió aislar los compuestos presentes en los extractos, donde los analitos de interés permanecieron más tiempo, eluyendo hasta ocho minutos, como se muestra en la Figura 6. Los resultados mostraron una resolución adecuada entre los picos de capsaicina y dihidrocapsaicina. Asimismo, la Figura 7 muestra el espectro de absorción de ambos compuestos, mostrando una gran similitud entre ellos, con una señal máxima a 227 nm (Collins, 2015).



**Figura 6.** Cromatograma de la solución estándar de capsaicina y dihidrocapsaicina a 100  $\mu\text{g/mL}$ . El tiempo de retención de la capsaicina fue de 8,0 min y el de la dihidrocapsaicina, de 8,7 min.



**Figura 7.** A la izquierda se muestra el espectro de absorción de la capsaicina, mientras que a la derecha se muestra el espectro de absorción de la dihidrocapsaicina.

#### 5.1.1. Curva de calibración

Las curvas de calibración obtenidas para la capsaicina y la dihidrocapsaicina mostraron excelentes coeficientes de correlación, y respectivamente. Esto garantizó la correcta linealidad del método. Cabe destacar que la solución estándar de capsaicina se degradó a dihidrocapsaicina, por lo que fue necesario preparar una nueva solución estándar al analizar las muestras de fruta. La Tabla 3 resume los resultados de las curvas de calibración para ambos analitos.

| <b>Solución</b> | <b>Concentración<br/>(<math>\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}</math>)</b> | <b>Área de<br/>capsaicina</b> | <b>Área de<br/>dihidrocapsaicina</b> |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Estándar 1      | 25                                                                     | 85,459                        | 99,671                               |
| Estándar 1      | 25                                                                     | 86,247                        | 99,267                               |
| Estándar 2      | 50                                                                     | 293,050                       | 267,050                              |
| Estándar 2      | 50                                                                     | 293,492                       | 265,436                              |
| Estándar 3      | 100                                                                    | 731,761                       | 640,172                              |
| Estándar 3      | 100                                                                    | 736,137                       | 624,845                              |

#### Ecuaciones de calibración:

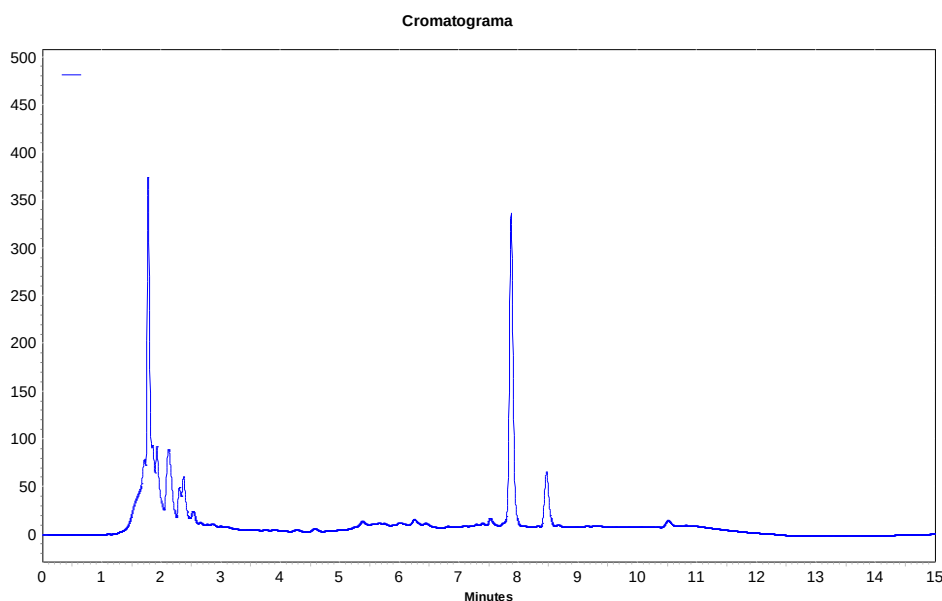
**Capsaicina:**  $y = 8665.9x - 134486$

**Dihidrocapsaicina:**  $y = 7138.4x - 83664$

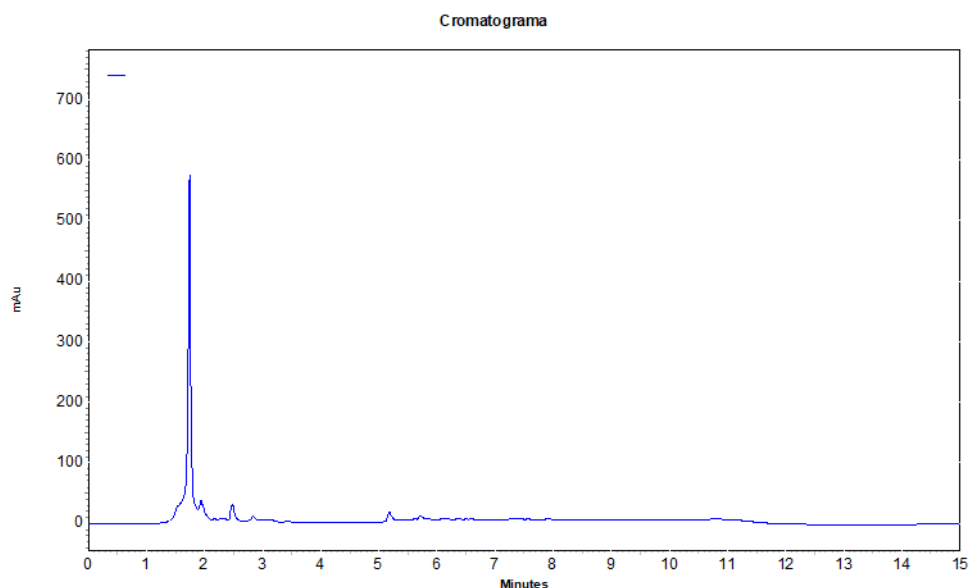
### 5.1.2. Análisis de muestras

Se obtuvieron muestras de chiles de tres variedades: habanero, de árbol y morrón, provenientes de mercados locales. Se encontraron analitos en los dos primeros, mientras que en el último no se detectó señal para las capsaicinas estudiadas. La Figura 8 muestra el cromatograma del extracto diluido de chile habanero, donde se observa la presencia de ambos compuestos de interés. La Figura 9 muestra el análisis cromatográfico del chile morrón sin la presencia de ninguno de los compuestos. Finalmente, la Figura 10 muestra el cromatograma correspondiente del extracto de chile de árbol, con la presencia de ambos compuestos. Se obtuvieron los espectros de absorción correspondientes para todos los picos, lo que confirma la presencia de los analitos de interés.

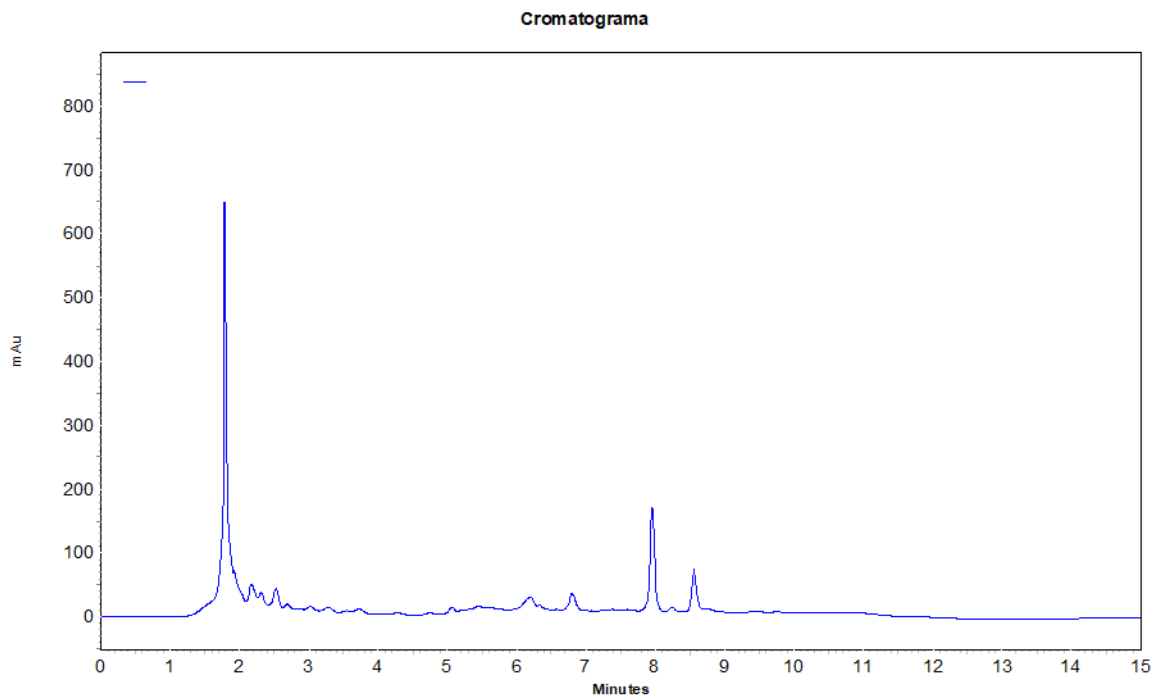
La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la curva de calibración de los estándares, obteniendo los valores reportados en la Tabla 6.



**Figura 8.** El cromatograma obtenido del análisis del extracto diluido de chile habanero evidencio la presencia de los compuestos de capsaicina y dihidrocapsaicina, principales responsables del picor del chile. La separación cromatográfica permitió identificar de manera clara ambos análisis.



**Figura 9..** El cromatograma del extracto diluido de pimiento morrón no mostró señales correspondientes a capsaicina ni dihidrocapsaicina, lo que indica la ausencia de estos compuestos en la muestra. Esto es coherente con las características del pimiento morrón, una variedad no picante del género *Capsicum*. La sensibilidad del método analítico asegura que, de estar presentes, los capsaicinoides se habrían detectado. Por tanto, los resultados confirman la naturaleza dulce del fruto. Esta información es útil para control de calidad y selección de materias primas sin picor.



**Figura 10.** El cromatograma del extracto diluido de pimienta de árbol mostró señales correspondientes a capsaicina y dihidrocapsaicina, confirmadas por sus tiempos de retención y perfiles de absorción. Esto indica la presencia de compuestos responsables del picor característico de esta variedad. Los resultados coinciden con el perfil esperado de pimientos picantes. La detección valida la eficacia del método analítico empleado.

**Tabla 4.** Concentraciones de capsaicinas en las muestras analizadas

| Muestra        | Concentración de capsaicina<br>(p/p % $\pm$ DE) | Concentración de dihidrocapsaicina<br>(p/p % $\pm$ DE) |
|----------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Habanero       | $0.008103 \pm 0.00004$                          | $0.004210 \pm 0.00002$                                 |
| Chile de árbol | $0.26555 \pm 0.00004$                           | $0.15584 \pm 0.00002$                                  |

## 5.2. Resultados Nariz Electrónica

En las siguientes tablas se presentan los tiempos de desorción y absorción correspondientes a cada variedad de chile, obtenidos mediante un análisis químico y multivariado del contenido de capsaicinas utilizando herramientas tipo nariz electrónica.



**Tabla 5.** Tiempo de desorción y absorción para los resultados del análisis de nariz electrónica para chile Morro

| <b>Morro</b> | <b>TD</b> | <b>TA</b> |
|--------------|-----------|-----------|
| <b>1</b>     | 19:19     | 19:19     |
| <b>2</b>     | 19:20     | 19:20     |
| <b>3</b>     | 19:20     | 19:21     |
| <b>4</b>     | 19:21     | 19:21     |
| <b>5</b>     | 19:22     | 19:22     |
| <b>6</b>     | 19:22     | 19:23     |
| <b>7</b>     | 19:23     | 19:23     |
| <b>8</b>     | 19:24     | 19:24     |
| <b>9</b>     | 19:24     | 19:25     |
| <b>10</b>    | 19:25     | 19:25     |

**Tabla 6.** Tiempo de desorción y absorción para los resultados del análisis de nariz electrónica para chile Habanero

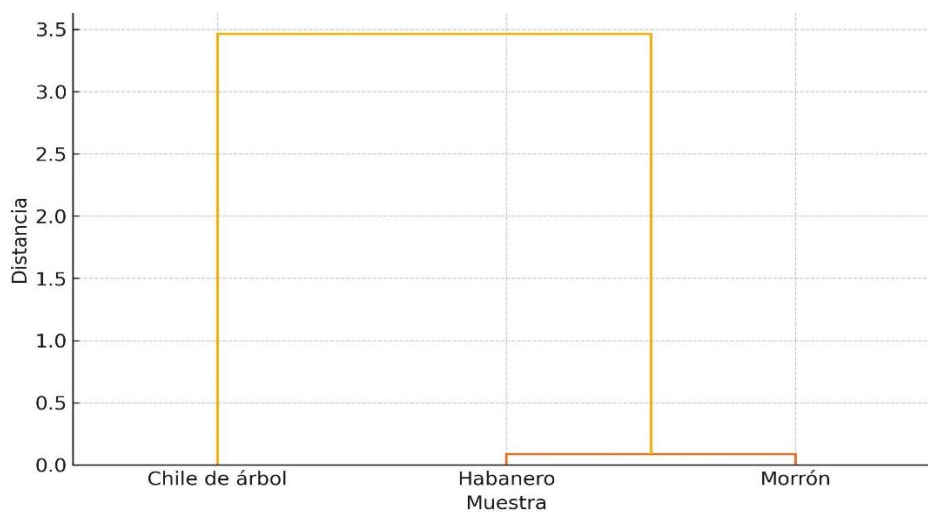
| <b>Habanero</b> | <b>TD</b> | <b>TA</b> |
|-----------------|-----------|-----------|
| <b>1</b>        | 19:38     | 19:38     |
| <b>2</b>        | 19:39     | 19:39     |
| <b>3</b>        | 19:39     | 19:40     |
| <b>4</b>        | 19:40     | 19:40     |
| <b>5</b>        | 19:41     | 19:41     |
| <b>6</b>        | 19:41     | 19:42     |
| <b>7</b>        | 19:42     | 19:42     |
| <b>8</b>        | 19:43     | 19:43     |
| <b>9</b>        | 19:44     | 19:44     |
| <b>10</b>       | 19:44     | 19:45     |

**Tabla 7.** Tiempo de desorción y absorción para los resultados del análisis de nariz electrónica para chile de árbol

| Arbol | TD    | TA    |
|-------|-------|-------|
| 1     | 19:28 | 19:29 |
| 2     | 19:29 | 19:29 |
| 3     | 19:30 | 19:30 |
| 4     | 19:30 | 19:31 |
| 5     | 19:31 | 19:32 |
| 6     | 19:32 | 19:32 |
| 7     | 19:33 | 19:33 |
| 8     | 19:33 | 19:34 |
| 9     | 19:34 | 19:34 |
| 10    | 19:35 | 19:35 |

Se evaluó el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en tres variedades de chile (habanero, chile de árbol y pimiento morrón) mediante cromatografía líquida y un análisis tipo nariz electrónica con estadística multivariada. Se aplicó análisis de conglomerados (clúster jerárquico) y análisis de componentes principales (PCA) para comparar perfiles.

El dendrograma muestra la similitud entre las muestras según sus concentraciones de capsaicina y dihidrocapsaicina, dos compuestos responsables del picor en los chiles (Figura 11.)



**Figura 11.** Clúster jerárquico de capsaicinas en muestras de chile

### 5.2.1. Las concentraciones obtenidas

|                       |                                                |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| <b>Habanero</b>       | 0,0081% capsaicina / 0,0042% dihidrocapsaicina |
| <b>Chile de árbol</b> | 0,2655% capsaicina / 0,1558% dihidrocapsaicina |
| <b>Morrón</b>         | No se detectaron capsaicinas.                  |

El dendrograma de clúster jerárquico reveló una agrupación clara entre habanero y chile de árbol, separados del morrón. El análisis PCA confirmó esta tendencia, mostrando una separación clara en el espacio de componentes principales, determinado por nariz electrónica. Los resultados sugieren que las herramientas multivariadas simulan eficazmente el comportamiento de una nariz electrónica al distinguir perfiles de pungencia. La ausencia de capsaicinas en el morrón lo posiciona claramente fuera del clúster de chiles picantes (Barreiro, 2013).

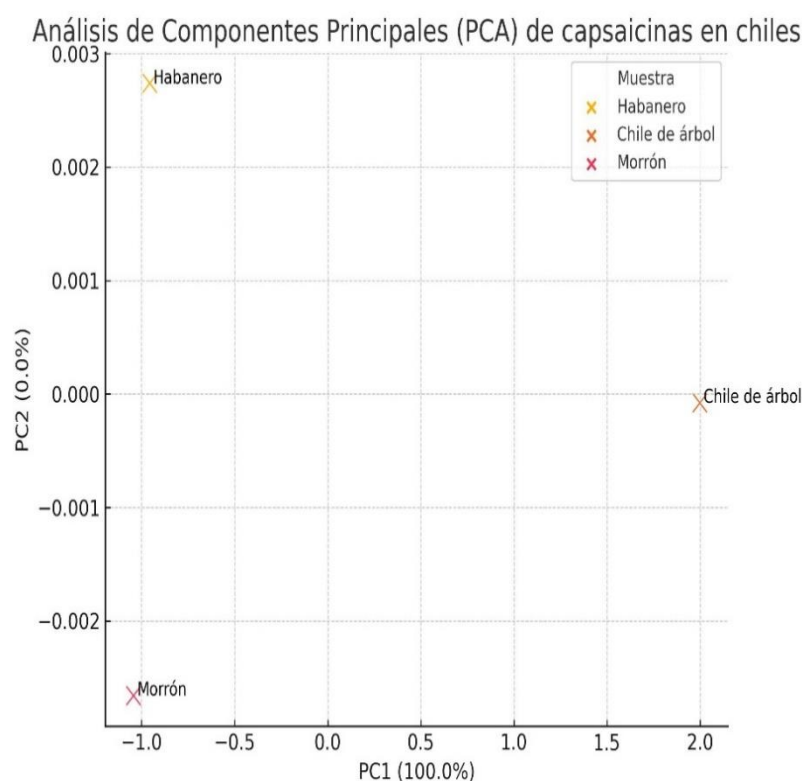
### 5.2.2. Agrupamiento de Habanero y Chile de Árbol

Estas dos muestras se agrupan juntas primero, lo que indica que, aunque tienen diferentes concentraciones absolutas de capsaicinas, su perfil general es más similar entre sí que con el pimiento morrón. Ambos contienen capsaicina y dihidrocapsaicina, lo que los distingue claramente del morrón (Bosland, 2012).

### 5.2.3. Aislamiento del Morrón

El pimiento morrón forma un grupo separado y se une al clúster principal a una distancia mayor, lo que sugiere una diferencia significativa en el perfil de compuestos volátiles. Esto es consistente con los datos: no se detectó ni capsaicina ni dihidrocapsaicina en esta muestra, por lo tanto, es percibida como no picante (Sánchez-Moreno, 2006).

**La Figura 12.** muestra que el Chile de árbol y Habanero se posicionan relativamente cercanos, lo que indica similitud en su perfil de capsaicinas. El Chile Morrón aparece separado, reflejando su ausencia total de capsaicina y dihidrocapsaicina. El eje PC1 explica la mayor parte de la variabilidad (relacionada principalmente con el contenido total de capsaicinas) (González-Zamora, 2015)



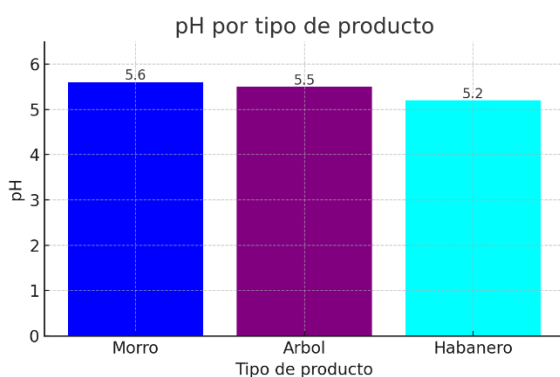
**Figura 112.** Análisis de componentes principales (PCA) de capsaicinas en chiles

Según el estudio de este estudio (García, 2021) que también empleó nariz electrónica y análisis multivariado para diferenciar chiles según sus compuestos volátiles. Aunque la tesis analizó más variedades, ambos estudios coinciden en que las capsaicinas son marcadores clave del picante, permitiendo distinguir chiles como habanero y chile de árbol del pimiento morrón. Ambos trabajos destacan la eficacia de técnicas como PCA para clasificar muestras y proponen aplicaciones en control de calidad y autenticación, siendo que este estudio sugiere además su integración en procesos industriales en tiempo real.

### 5.3. Resultados Físico Químicos

#### 5.3.1. Análisis de pH.

En la figura 13. se presenta la gráfica con los valores de pH registrados en tres tipos de productos: de chile, Morro, Árbol y Habanero. Esto presenta la comparación de la acidez relativa de cada uno, lo cual resulta útil para evaluar su comportamiento durante el almacenamiento o su idoneidad para distintos procesos industriales como fermentación, encurtido o elaboración de salsas.

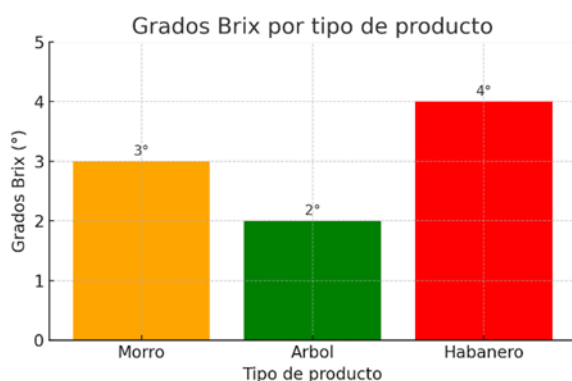


**Figura 13.** Análisis de pH.

La gráfica muestra el pH de tres productos: morrón (5.6 pH), chile de árbol (5.5 pH) y habanero (5.2 pH), indicando que el habanero es el más ácido. El pH es una medida que indica la acidez o alcalinidad de una solución, en una escala que va de 0 a 14, donde valores menores a 7 corresponden a soluciones ácidas. Al comparar el pH del habanero con el reportado por Yip (2006), quien registró un valor de 5.8, se observa una ligera diferencia; el valor obtenido en esta investigación es un poco más ácido, lo cual podría deberse a variaciones en las muestras o en los métodos utilizados. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que los chiles presentan un pH ligeramente ácido, y los valores de la gráfica se encuentran dentro del rango general reportado en la literatura.

#### 5.4. Análisis de sólidos solubles (°Brix)

En la figura 14 se representa la gráfica se presentan los valores de grados Brix correspondientes a tres tipos de productos: Morro, Árbol y Habanero. esta comparación visualmente el contenido de azúcares solubles entre estos productos, permitiendo identificar cuál de ellos presenta una mayor concentración. Esta comparación es útil para determinar posibles aplicaciones industriales o comerciales, ya que un mayor grado Brix suele asociarse con productos de mejor sabor o mayor valor agregado en la industria alimentaria.



**Figura 14.** Análisis de °Brix

La gráfica presenta los grados Brix para tres variedades de chile: habanero (4°), morrón (3°) y árbol (2°), indicando que el habanero tiene la mayor concentración de azúcares solubles. Los grados Brix son una medida que representa el porcentaje de sólidos solubles, principalmente azúcares, presentes en una solución, y se utilizan comúnmente para estimar la dulzura de frutas y vegetales. Al comparar estos resultados con el estudio de Hernández (2012), que caracterizó las propiedades fisicoquímicas de chiles en Tabasco, se observa que los valores de esta gráfica son generalmente más bajos que los rangos reportados en dicho estudio (6.5° a 12.5° para algunas variedades). Esta discrepancia puede atribuirse a diferencias en las variedades específicas analizadas, las condiciones de cultivo o las metodologías empleadas. No obstante, ambos análisis coinciden en resaltar la variabilidad en el contenido de azúcares solubles entre diferentes tipos de chile.

## 5.5. Análisis de Viscosidad

En la tabla 8 se presenta la gráfica con los valores de viscosidad promedio, acompañados de su desviación estándar, para tres variedades de chile: Morro, Habanero y Chile de Árbol. Esta comparación permite identificar cuáles de estas variedades poseen una consistencia más densa o fluida, lo cual puede influir tanto en su aplicación culinaria como en su comportamiento durante el procesamiento industrial.

**Tabla 8.** Medias de viscosidad por especie de chile

| <b>Variedad de chile</b> | <b>Viscosidad Media <math>\pm</math> Desviacion</b> |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| Morro                    | 5.3 $\pm$ 0.28 cP                                   |
| Habanero                 | 4.1 $\pm$ 0.16 cP                                   |
| Chile de Árbol           | 5.3 $\pm$ 0.0096 cP                                 |

La tabla presenta la viscosidad de los extractos de chile morrón (0.0053  $\pm$  0.28 cP), habanero (0.0041  $\pm$  0.16 cP) y chile de árbol (0.001  $\pm$  0.0096 cP). Se observa que el extracto de morrón posee la mayor viscosidad, seguido por el habanero y, finalmente, el chile de árbol. Al comparar estos resultados con los reportados por Gómez (2017), se confirma que la viscosidad es una propiedad variable entre diferentes tipos de chile, lo cual se refleja en las diferencias encontradas en el presente análisis. La mayor viscosidad observada en el morrón podría indicar una composición más densa o con mayor concentración de sólidos disueltos en comparación con el habanero y el chile de árbol.

## VI. CONCLUSIONES

A través de la aplicación de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y análisis fisicoquímicos, se logró identificar y cuantificar exitosamente los compuestos característicos presentes en las variedades de chile picante nativo de Honduras. Los resultados permitieron establecer un perfil químico distintivo para cada variedad, evidenciando diferencias en la concentración de capsaicinoides, azúcares, pH y viscosidad, lo cual aporta información valiosa para su caracterización y potencial aprovechamiento industrial o gastronómico.

Mediante el uso de herramientas estadísticas multivariantes, se desarrollaron modelos predictivos robustos que demostraron una correlación significativa entre el perfil químico determinado por HPLC y las propiedades fisicoquímicas del chile con sus atributos sensoriales. Estos modelos permiten predecir con alta fiabilidad las características organolépticas de las muestras a partir de sus parámetros analíticos, facilitando así la evaluación objetiva de la calidad sensorial sin depender exclusivamente de métodos subjetivos.

Al evaluación mediante la nariz electrónica se evidencio una alta capacidad para detectar cambios aromáticos sutiles en las muestras de chile habanero durante el almacenamiento. Esta tecnología mostró una sensibilidad notable frente a las variaciones en los compuestos volátiles, lo que la posiciona como una herramienta confiable para el monitoreo de la calidad aromática. Los resultados respaldan su utilidad en el análisis de productos frescos o procesados, permitiendo un control más preciso de sus características sensoriales sin recurrir exclusivamente a métodos subjetivos.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda replicar el estudio con una gama más amplia de variedades de chile picante nativo de Honduras, incluyendo aquellas de otras regiones geográficas del país. Esto permitiría establecer un perfil sensorial y químico más completo, identificando posibles diferencias y similitudes entre la contribución a la valorización de la agrobiodiversidad local.

Se recomienda investigar la estabilidad de los perfiles sensoriales y químicos del chile picante nativo a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones de almacenamiento. Esto es crucial para la gestión de la calidad post-cosecha, el desarrollo de productos derivados y la optimización de las cadenas de suministro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antonelli M, Burzo M.L., Pecorini G., Massi G., Landolfi R., Flex A. (2018). El escorbuto como causa de púrpura en el siglo XXI: una revisión sobre esta "antigua" enfermedad. *Revista Europea de Ciencias Médicas y Farmacológicas*. (22): 4355-4358.
- Baenas N., Belović M., Ilic N., Moreno D.A. & García-Viguera C. (2019). Uso industrial de productos derivados del pimiento (*Capsicum annum* L.): Beneficios tecnológicos y ventajas biológicas. *Química de los alimentos*. (874): 872-885
- Carvajal, L., Cucaita, G., Zuluaga, C., & Quicazan, M. (2014). Uso de la nariz electrónica y panel sensorial para la evaluación de la calidad de la mora. *Vitae*, 19(1).  
Recuperado el 11 de Septiembre de 2024, de <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914012.pdf>
- García, E. *et al.* (2014). Determinación de capsaicinoides en chiles por HPLC. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas*.
- Materska, M. & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.*
- Wahyuni, Y. *et al.* (2013). Metabolite diversity in pepper fruits (*Capsicum spp.*). *Plant Biology*.
- Estrada, B. (2002). Characterization of capsaicinoid biosynthesis in chili peppers. *J. Exp. Botany*.
- Tundis, R. *et al.* (2012). Natural compounds as anticancer agents from *Capsicum spp.*. *Curr. Med. Chem.*
- Martínez, R. *et al.* (2019). Caracterización de compuestos fenólicos en *Crescentia alata*. *Agrociencia*.
- Hernández, L. *et al.* (2018). Evaluación de antioxidantes en extractos de jícaro. *Interciencia*.
- Kim, S. *et al.* (2007). Quantification of capsaicinoids by HPLC–DAD. *Food Chem.*
- Benavides, J. *et al.* (2020). Análisis cromatográfico de compuestos bioactivos en *Capsicum chinense*. *Rev. Colomb. Química*.

- Rodríguez-Buenfil, I. *et al.* (2015). Evaluación de los aceites del morro como fuente nutraceutica. Fitotecnia Mexicana.
- Moreno, L. *et al.* (2021). Técnicas modernas para análisis de capsaicina por HPLC. Rev. de Tecnología Alimentaria.
- Cano, M. (2017). Potencial terapéutico del jícara en enfermedades gastrointestinales. Acta Botánica Mexicana.
- Pérez, D. (2020). Perfil fitoquímico del chile habanero en diferentes estados de madurez. Rev. Chapingo.
- Ramírez-Ahumada, M.C. (2006). Biosynthesis and accumulation of capsaicinoids in *Capsicum* spp.. Phytochemistry.
- Gil-Serna, J. (2014). Screening of mycotoxins and other phenolics by HPLC. Food Res. Int.
- Ayora-Talavera, T. (2009). Capsaicin reduces viral infectivity of influenza. Virol. J.
- Matus, F. (2016). Antioxidantes naturales y técnicas de extracción en matrices vegetales. Cienc. Investig. Agraria.
- Gómez, J. (2012). Aplicaciones del HPLC en alimentos funcionales. CYTA – J. Food.
- Herrera, A.(2013). Métodos de extracción y cuantificación de compuestos fenólicos en especies mexicanas. Rev. Mex. Fitopatol.
- Acosta, G. (2021). Análisis de compuestos activos del chile por HPLC-MS/MS. Boletín Latinoam. y del Caribe de Plantas Medicinales.
- Castilblanco, A. Y., & Marroquín, C. U. (2021). Análisis de cadena de valor de diferentes variedades del chile (*Capsicum* spp.), para el desarrollo de un modelo comercial enfocado a la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Francisco Morazán . Recuperado el 2024 de Octubre de 2024, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/70c4ebbe-8d04-4f51-bcf1-9e6990b1f7ff/content>

- Díaz, L. J., & Cadena, M. L. (2020). Aplicaciones de narices electrónicas en la industria frutícola. Tesis , Corporación Universitaria Minuto de Dios , Zipaquirá, Cundinamarca . Recuperado el 11 de Septiembre de 2024, de <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/b07a6995-16d8-4d0e-b65d-385d55321c92/content>
- Hernández, E. A., & Ocotero, V. M. (2017). El chile como alimento. Artículo de Revista . Recuperado el 10 de Septiembre de 2024, de [https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66\\_3/PDF/Chile.pdf](https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_3/PDF/Chile.pdf)
- Mariño, K. B. (2023). Utilización de una Nariz Electrónica elaborada a partir de MOS para la evaluación y diferenciación de la calidad del Pisco peruano. Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/25817/2023\\_VISURRAGA\\_MARI%c3%91O\\_KARINA\\_BEATRIZ\\_UTILIZACION\\_NARIZ\\_ELECTRONICA\\_ELABORADA\\_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/25817/2023_VISURRAGA_MARI%c3%91O_KARINA_BEATRIZ_UTILIZACION_NARIZ_ELECTRONICA_ELABORADA_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz, R. L. (2020). Selección de variedades de chile habanero con fines industriales. Tesis de grado, Centro de Investigación Científica de Yucatán , Yucatán, Mérida . Recuperado el 11 de Septiembre de 2024, de [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1827/1/PCB\\_D\\_Tesis\\_2020\\_Liliana\\_Sarai\\_Mu%C3%B1oz\\_Ram%C3%ADrez.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1827/1/PCB_D_Tesis_2020_Liliana_Sarai_Mu%C3%B1oz_Ram%C3%ADrez.pdf)
- Myrthong, A. (2014). Análisis descriptivos (En línea). Consultado el 21 de octubre de 2024. disponible en <https://es.slideshare.net/slideshow/descriptive-analysis-for-sensoryevaluation/49929066>
- Osorio, L. M. (2018). Técnicas modernas en el análisis sensorial de los alimentos. Trabajo Monográfico, Universidad Nacional Agraria La Molina , Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/86773ba5-da93-49df->

- Osorio, O. Á. (2020). Pruebas de análisis sensorial para el desarrollo de productos de cereales infantiles en Venezuela. *Revista de Publicaciones de Ciencias y Tecnología*, 13(2), 11 pp. doi:<http://doi.org/10.13140/RG.2.2.21791.51361>
- Paredes, D. A., Sun, K. M., Picasso, E. G., Doig, C. E., Comina, G., & Martínez, J. L. (15 de Junio de 2016). Implementación y evaluación de una nariz electrónica para la detección de alcoholes lineales. *Revista Colombiana de Química*, 45(2). doi:<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.60393>
- Prado D.Z., Capoville B.L., Delgado C.H.O, Heliodoro J.C.A., Pivetta M.R., Pereira M.S., Zanutto M.R., Novelli P.K., Valesca C.B. & Fleuri F.L.F. (2018). Alimentos nutraceuticos: composición, biosíntesis, propiedades terapéuticas y aplicaciones. Es: Alimentos alternativos y de reemplazo (95-140). Reino Unido: Elsevier.
- Quicazán, M., Díaz, A., & Zuluaga, C. (2011). La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos de calidad en la industria agroalimentaria. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18(2). Recuperado el 11 de Septiembre de 2024, de <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v18n2/v18n2a12.pdf>
- Sánchez, B. R. (2022). Aplicación de la nariz electrónica para la evaluación olfativa de aceitunas de mesa. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura. Obtenido de <https://dehesa.unex.es/handle/10662/15443>
- Segura-Campos M.R., Ramírez-Gómez K., Moguel-Ordoñez Y., Betancur-Ancona D. (2013). Contenido de polifenoles, ácido ascórbico y carotenoides y propiedades antioxidantes del fruto del chile habanero (*Capsicum chinense*). *Ciencias de la Alimentación y la Nutrición*. (4): 47-54.
- Sricharoen P., Lamaiphan N. Patthawaro P., Limchoowong N., Techawongstien S., Chanthai S. (2017). Fitoquímicos en la oleorresina de *Capsicum* de diferentes variedades de chiles picantes con sus actividades antidiabéticas y antioxidantes debido a algunos compuestos fenólicos. *Sonoquímica Ultrasónica*. (38): 629-639

- Urquía, H. O. (2010). Desarrollo y evaluación de un chile jalapeño (*Capsicum annum*) en salmuera y su diseño de planta. Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Zamorano. Recuperado el 10 de Septiembre de 2024, de [https://repositorio.credia.hn/bitstream/handle/123456789/311/desarrollo\\_y\\_evaluacion\\_de\\_un\\_chile\\_jalapeo\\_en\\_salmuera\\_y\\_su\\_diseno\\_de\\_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.credia.hn/bitstream/handle/123456789/311/desarrollo_y_evaluacion_de_un_chile_jalapeo_en_salmuera_y_su_diseno_de_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Valle, G. S. (2020). Cambios fisiológicos, daños por frío, perfil químico y extracción de capsaicinoides de frutos de chile serrano (*capsicum annuum* L.) durante su desarrollo y en poscosecha. Tesis de grado, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Recuperado el 11 de Septiembre de 2024, de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/28752cb9-40d4-434b-93cb-7225b7f94fc7/content>
- Villamizar, M. A. (2022). Evaluación del perfil aromático de café colombiano de distintas zonas y épocas de cosecha, usando de nariz electrónica y análisis estadístico multivariado. Tesis de grado Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado el 11 de Octubre de 2024, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81913/1014239537.2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zumbado, F. H. (2021). Análisis instrumentales de los alimentos (Vol. 8). La Habana, Cuba: Editorial Universitaria Félix Varela. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9hEYEEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=an%C3%A1lisis+instrumentales+de+los+alimentos&ots=6QrQZz9G5q&sig=t0LY84YNjTcq052CLyrDEth4iM8#v=onepage&q=an%C3%A1lisis%20instrumentales%20de%20los%20alimentos&f=false>

## ANEXOS

## Anexo 1. Preparación de muestra



## Anexo 2. Proceso de ultrasonido



### Anexo 3. Proceso de filtrado



#### **Anexo 4. Análisis HPLC**



#### **Anexo 5 Preparación de muestras para la nariz electrónica**



#### **Anexo 6. Medición de Ph**





### Anexo 7. Medición de acidez



### Anexo 9. Preparación de muestras para el análisis de la nariz electrónica



### Anexo 8. Análisis de nariz electrónica

