



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y**  
**BIOTECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ALIMENTOS**



---

Aplicación de sensores electroquímicos como herramienta de apoyo al análisis sensorial de frutas, vegetales y hierbas medicinales

---

Informe Final de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Autor:** Lissette Salome Faconda García

**Tutor:** Ing. Esteban Mauricio Fuentes Pérez PhD.

**Ambato-Ecuador**

**Septiembre - 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Dr. Esteban Mauricio Fuentes Pérez PhD

### **CERTIFICA**

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

Ambato, 09 de agosto del 2022

.....  
Dr. Esteban Mauricio Fuentes Pérez PhD

C.I. 1803321502

**TUTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Lissette Salome Faconda García, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



.....

Lissette Salome Faconda García

185001517-1

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Por constancia firman:

.....

**Presidente del Tribunal**

.....

MSc. Dolores del Rocío Robalino Martínez

C.I. 180176948-8

.....

MSc. Daniel Alfonso Cabrera Valle

C.I. 1802561595

Ambato, 31 de agosto del 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



.....  
Lissette Salome Faconda García

185001517-1

**AUTORA**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo se lo dedico primero a Dios por darme salud y vida y a mi abuelita Wannia quién desde mi infancia estuvo ahí brindándome su cariño y amor, enseñándome valores que hoy día me ha servido de mucho para alcanzar un gran sueño. Y sobre todo porque me ayudó económica, emocional y espiritualmente en toda esta etapa de mi vida universitaria. Estuvo ahí para mí en cada momento, dándome palabras de aliento para seguir y no desmayar en ningún escalón y enseñarme que de cada lección queda un aprendizaje.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios y la Virgen María, por darme la fuerza, sabiduría e inteligencia para alcanzar un escalón más en vida y no dejarme rendir en ningún momento.*

*A mi madre Alexandra por sus palabras de aliento y siempre preguntarme como me iba en clases, por ser ese pilar fundamental y enseñarme que una caída no es el final, por apoyarme en cada decisión que he tomado y siempre estar preocupada y al pendiente en cada paso que daba.*

*A mi padre y hermano por sus palabras, por siempre decirme que debo esforzarme y que nada es fácil, apoyándome de igual forma en cada momento.*

*A mi abuelita y abuelito que son las personas que más confiaron en mí, y siempre me dieron sus palabras y oraciones para nunca rendirme y cumplir todos los sueños.*

*Y finalmente a mi tutor, instructor que pese al tiempo pudo ser una guía al final del camino y que se pueda llevar con éxito esta etapa final.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1 Historia del análisis sensorial .....	3
1.1.2 Historia de los sensores electroquímicos .....	3
1.1.3 Historia de la nariz electrónica .....	4
1.1.4 Historia de la lengua electrónica.....	5
1.2 Estado del arte .....	5
1.2.1 Investigaciones de la nariz electrónica en frutas, vegetales.....	5
1.2.2 Investigaciones sobre la lengua electrónica para frutas y vegetales .....	9
1.3 OBJETIVOS.....	12



1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
CAPÍTULO II .....	13
METODOLOGÍA .....	13
2.1 Materiales .....	13
2.2 MÉTODOS.....	13
2.2.1 Recopilación de la bibliografía.....	13
2.2.2 Evaluación y selección de la bibliografía .....	13
2.2.2 Palabras clave usadas para la revisión .....	14
2.2.3 Definición del problema .....	14
2.2.4 Búsqueda de la información .....	14
2.2.5 Organización de la información.....	15
2.2.4 Análisis de la información .....	16
CAPITULO III.....	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
3.1 Fundamento de un sensor .....	17
3.1.1 Sistema de un sensor básico .....	19
3.1.2 Sensor electroquímico .....	19
3.2 Lengua electrónica.....	21
3.2.1 Estructura de la lengua electrónica .....	21
3.2.2 Funcionamiento.....	22
3.2.3 Uso de sensores en frutas, vegetales y plantas medicinales .....	23
3.3 Nariz electrónica.....	29
3.3.1 Estructura de la nariz electrónica.....	30
3.3.2 Funcionamiento .....	31

3.3.3 Tipos de sensores usados en la nariz electrónica.....	32
3.3.4 Características que deben cumplir los sensores:.....	34
3.3.5 Aplicaciones de la nariz electrónica con sensores en frutas, vegetales y plantas medicinales .....	34
3.4 Aplicación de dispositivos electrónicos como soporte al análisis sensorial en frutas y vegetales .....	47
CAPÍTULO IV .....	51
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	51
4.1 CONCLUSIONES.....	51
4.2 RECOMENDACIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Organización de artículos</i> .....	15
Tabla 2. <i>Diferentes definiciones expuestas acerca de los sensores</i> .....	17
Tabla 3. <i>Descripción de los diferentes tipos de membrana y transductores usados en los alimentos</i> .....	19
Tabla 4. <i>Fundamentos acerca de la lengua electrónica</i> .....	21
Tabla 5. <i>Sensores usados en varios estudios de frutas, vegetales y plantas medicinales en conjunto con la lengua electrónica</i> .....	24
Tabla 6. <i>Sensores utilizados en la lengua Astree I en la discriminación de albaricoques y sus umbrales</i> .....	26
Tabla 7. <i>Fundamentos varios sobre la nariz electrónica</i> .....	29
Tabla 8. <i>Ventajas y desventajas de sensores de COV</i> .....	32
Tabla 9. <i>Sensores de gas usados en la nariz electrónica</i> .....	33
Tabla 10. <i>Sensores usados en varios estudios de frutas, vegetales y plantas medicinales en conjunto con la nariz electrónica</i> .....	35
Tabla 11. <i>Matriz de sensores de gas usados para la detección de compuestos volátiles en el tomate Cherry</i> .....	42
Tabla 12. <i>Aplicaciones de dispositivos electrónicos en frutas y vegetales en análisis sensorial</i> .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Primer sensor inteligente .....	4
<b>Figura 2.</b> Sistema de sensor básico para análisis de alimentos .....	18
<b>Figura 3.</b> Esquema de una lengua electrónica básica con sensor potenciométrico.....	22
<b>Figura 4.</b> Mecanismo de operación de la lengua electrónica .....	23
<b>Figura 5.</b> Respuesta de lengua electrónica para granos de café representativo .....	27
<b>Figura 6.</b> Bloque de sistema de medición de una nariz electrónica .....	31
<b>Figura 7.</b> Proceso de nariz humana y electrónica para determinar un patrón de aroma .	32
<b>Figura 8.</b> Gráfico polar de las dieciséis respuestas promedio de nariz electrónica (valores máximo de respuesta) de los dieciocho sensores de nariz electrónica (S1 a S18).....	39
<b>Figura 9.</b> Datos de nariz electrónica para pimientos verdes frescos en distintos periodos de almacenamiento.....	42
<b>Figura 10.</b> Gráfico araña para el análisis sensorial descriptivo de los atributos de sabor del té dulce (ST), el té dulce liofilizado (STFD) y el té secado por aspersion (STSD) ...	45

## RESUMEN

El presente proyecto se enfocó en la búsqueda de los sensores electroquímicos que brinden un apoyo al análisis sensorial en frutas, vegetales y plantas medicinales.

En esta investigación se realizó un análisis teórico de los estudios científicos publicados acerca del fundamento, funcionamiento y las aplicaciones que se han desarrollado conforme a la innovación tanto de la nariz como de la lengua electrónica y el trabajo en conjunto con los diferentes tipos de sensores más usados en cada dispositivo, para que los análisis de las características organolépticas de este tipo de alimentos se encuentren dentro de los estándares de calidad, lo cual el uso de estos se basó en estudios preliminares con información publicada durante los últimos 6 años, misma que se encontró disponible en la base de datos ofrecido por la Universidad Técnica de Ambato (ProQuest, Scopus, Science Direct) y también la base de datos de acceso libre (Scielo, Google académico).

Por ende, los resultados de la investigación se representan mediante gráficos y tablas describiendo el apoyo sensorial que tienen las frutas y vegetales mediante el uso de estos dispositivos y el empleo de los métodos de clasificación, así como los compuestos volátiles y químicos que comúnmente se encontraron en este tipo de alimentos. En conclusión, el trabajo permitió conocer que dentro de la agroindustria es posible la aplicación de la nariz y lengua electrónica ayudando a mejorar la calidad de los mismos, así como el soporte a la respuesta de paneles de expertos y posible sustitución en futuras investigaciones.

**Palabras clave:** Investigación bibliográfica, sensores electroquímicos, evaluación sensorial electrónico, nariz electrónica, lengua electrónica, calidad alimentaria, frutas y vegetales, plantas medicinales.

## ABSTRACT

This project focused on the search for electrochemical sensors that provide support for sensory analysis in fruits, vegetables, and medicinal plants.

In this research, a theoretical analysis of the published scientific studies was carried out about the foundation, operation and applications that have been developed according to the innovation of both the nose and the electronic tongue and the work in conjunction with the different types of sensors more used in each device, so that the analyzes of the organoleptic characteristics of this type of food are within the quality standards, which the use of these was based on preliminary studies with information published during the last 6 years, which is found available in the database offered by the Technical University of Ambato (ProQuest, Scopus, Science Direct) and also the free access database (Scielo, Google academic).

Therefore, the results of the research are represented by graphs and tables describing the sensory support that fruits and vegetables have using these devices and the use of classification methods, as well as the volatile and chemical compounds that are commonly found. in this type of food. In conclusion, the work allowed to know that within the agroindustry it is possible to apply the electronic nose and tongue, allowing to improve the quality of these foods, as well as the improvement of the response in comparison with panels of experts.

**Keywords:** Bibliographic research, electrochemical sensors, electronic sensory evaluation, electronic nose, electronic tongue, food quality, fruits and vegetables, medicinal plant

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

En la actualidad, la calidad de los alimentos es un tema de mucha relevancia, procurando llegar al consumidor con los más altos estándares de calidad, lo cual se consigue gracias al análisis químico, físico y sensorial que realizan las industrias en los laboratorios. Derivando de esta forma la importancia del análisis sensorial, en la cual el ser humano es consciente desde su infancia de aceptar o rechazar ciertos alimentos que pueden o no ser tolerados de acuerdo con la sensación que experimentan **(INCAP, 2020)**.

A lo largo de los años el concepto y la idea de análisis sensorial ha ido mejorando en relación con el aumento de la calidad en productos alimenticios, dando así un fundamento claro sobre la importancia que tiene esta ciencia y como se ha venido incluyendo dentro del campo agroalimentario.

El análisis sensorial se describe como una ciencia complicada y extensa debido a las distintas propiedades que presentan los alimentos y la percepción que tienen los catadores frente a la evaluación; uno de estos son los compuestos activos y volátiles específicamente en frutas, vegetales y plantas medicinales encargados en su mayoría del sabor y olor que emiten; entre los que más se destacan son los ésteres, alcoholes, aldehídos, fenoles, ácidos, entre otros **(Galeano & Rodríguez, 2020)**.

Es así como en las industrias y sobre todo en la industria frutícola existe ciertos tipos de análisis sensorial que ayudan a determinar si las frutas y verduras están limpias y sanas, es decir, libres de

cualquier anomalía visual y olores inusuales que vayan de acuerdo con la variedad y categoría que han sido seleccionadas (**López & Rodríguez, 2016**).

A su vez en la mayoría de las industrias el análisis sensorial se lo realiza mediante un panel de expertos que usan diferentes técnicas, conocidas como las destructivas y no destructivas, siendo esta última la más rápida y con la ventaja en el proceso de medición haciendo que no se vea afectado el fruto, además estas técnicas ayudan a la clasificación desde la cosecha hasta el proceso de la maduración comercial (**Brezmes & Llobet, 2016**).

Por consiguiente, en las técnicas no destructivas se hace el uso de herramientas que en la actualidad han tenido avances muy eficaces, como es el caso de la nariz y lengua electrónica, aparatos que funcionan mediante un sistema independiente de lo que se quiera analizar considerando las propiedades que el alimento proporcione.

En el caso de la nariz electrónica, esta es una herramienta que de acuerdo con varios estudios es capaz de reconocer, identificar y clasificar frutas y verduras de acuerdo con un criterio de calidad, así como diferenciar entre una fruta y verdura sana y una en estado de descomposición o con alguna enfermedad como plagas, ya que se plasman en las huellas dactilares siendo un patrón de reconocimiento al momento de la selección en el sistema (**Brezmes & Llobet, 2016**).

Por otro lado, la lengua electrónica es conocida como una herramienta de reconocimiento inteligente en el que se ha empleado métodos de tipo cualitativos y cuantitativos, para líquidos y semilíquidos de compuestos complejos en frutas y verduras, dando una respuesta rápida con repetibilidad y gran objetividad para un análisis posterior (**Śliwińska et al., 2021**).

Por tal razón, es importante el análisis y recopilación de información publicada en los últimos años acerca de los avances que han tenido estos dispositivos frente a la industria de frutas, verduras y



cierto tipo de plantas medicinales, esta información será de gran ayuda para que los investigadores locales tengan una línea base en el desarrollo de nuevos proyectos de investigación e implementación en industrias en Ecuador haciendo que las mismas logren vincularse hacia el uso de nuevas tecnologías seguras, sostenibles y eficaces.

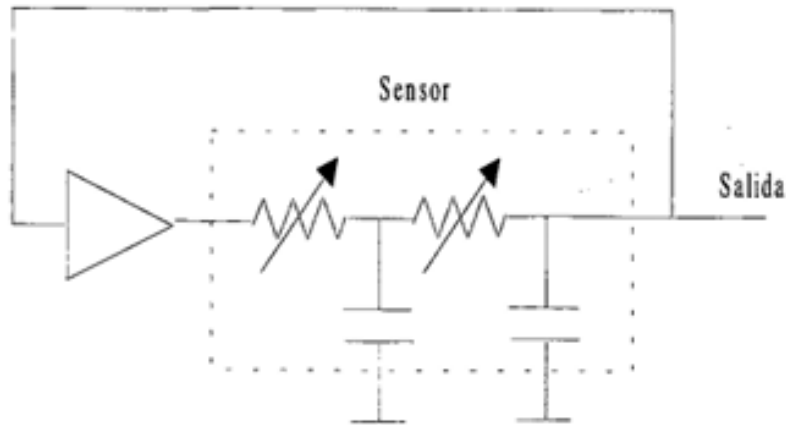
### **1.1.1 Historia del análisis sensorial**

**Severiano - Pérez, (2019)** da a conocer que el análisis sensorial nace a mediados del siglo XX, en la década de los años 40, es una ciencia que en la antigüedad solo hacían cierto tipo de especialistas (expertos en características sensoriales sobre un alimento en específico) dando una opinión subjetiva sobre su propio conocimiento, sin embargo, conforme se ha incrementado la producción en las industrias y la oferta en los mercados se ha visto necesario la implementación de técnicas y procedimiento con el fin de evaluar organolépticamente los alimentos para el control de la calidad, de procesos e incluso la vida útil y diseño para nuevos productos si se lo requiere.

Un enfoque más directo a aquellas épocas en los alimentos es que se centraban en ser inocuos y químicamente estables, es decir, que no exista ningún daño ni cambios en sus aspectos, desde entonces se ha desarrollado nuevas metodologías en la que implica la capacidad de que el ser humano utilice los sentidos, sin embargo, hasta la actualidad se ha generado nuevas herramientas sensoriales simples y complejas que han incluido a la tecnología en base a las nuevas necesidades.

### **1.1.2 Historia de los sensores electroquímicos**

De acuerdo con **Martínez, (2016)** alrededor de 500 años se ha venido desarrollando nuevos instrumentos tecnológicos que ayuden a aumentar, ampliar y mejorar las habilidades humanas, es así como el desarrollo de los sensores inteligentes fue creado por Honeywell en el año de 1969 tal como se muestra en la Figura 1



**Figura 1.** Primer sensor inteligente

**Fuente:** (Custodio et al., 1999)

### 1.1.3 Historia de la nariz electrónica

La nariz electrónica fue propuesta en la Universidad de Warwick por Persaud y Dodd en el año de 1982 con el fin de entender los procesos del olfato biológico, usando un conjunto de sensores de óxido metálico (MOS) luego ampliaron la investigación usando sensores basados en polímeros conductores; todo esto fue descubierto gracias a la investigación para la frescura del pescado usando matrices de MOX (sensores semiconductores de óxido metálico) extendiendo dicho dispositivo hacia los demás continentes para realizar pruebas en otros productos alimenticios y conocer todo lo que puede ofrecer en trabajo con otras metodologías al igual que los análisis finales de tipo estadístico (Moreno et al., 2009).

De tal forma, que en función de las nuevas metodologías se realizó con el uso de sensores como parte del sistema equipado, lo cual en la década pasada se desarrolló ciertos sensores teniendo determinaciones cualitativas y cuantitativas sobre los compuestos volátiles y la relación de la calidad sensorial de un producto alimenticio, así como los sistemas de reconocimiento de aroma que aparecieron a inicios de los años 90 con un sistema Modular Sensor System-Moses I (Quicazán et al., 2011).

#### **1.1.4 Historia de la lengua electrónica**

Este dispositivo apareció desde hace unos 15 años atrás, el cual ha venido evolucionando con el tiempo debido a que en la industria de alimentos se requiere del desarrollo de nuevas técnicas de control de calidad, para ser más eficientes y eficaces en cuanto a la competitividad. Uno de los primeros trabajos que incluyeron a este dispositivo fue gracias a la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) usando 6 sensores gustativos en el que dieron alrededor de 1000 datos para obtener una curva patrón permitiendo la comparación entre los nuevos sabores y la percepción real de los alimentos, estableciendo parámetros que forman una matriz acerca de la composición química del alimento que se vaya a analizar (**Martínez, 2016**).

A partir de ello se ha incrementado investigaciones acerca de los análisis que este dispositivo puede generar en conjunto con todo el sistema que se arme dependiendo del tipo de análisis que se quiera considerar.

### **1.2 Estado del arte**

#### **1.2.1 Investigaciones de la nariz electrónica en frutas, vegetales**

A lo largo de estos años han realizado distintas investigaciones, estudios y experimentos en laboratorios y de campo en distintos lugares del mundo acerca del uso de los dispositivos inteligentes que ayudan al apoyo del análisis sensorial en frutas y vegetales, sin embargo, aún existe cierto desconocimiento sobre el análisis en plantas de origen medicinal lo cual hace que investigadores sigan desarrollando y teniendo un estudio más a profundidad sobre el aporte que tiene esta herramienta.

Una de las primeras investigaciones dentro de los últimos 5 años sobre la nariz electrónica es una investigación de la Universidad de Zhejiang sobre la descomposición del durazno, lo cual se

realizó mediante regresión de cuadrados parciales, máquinas de soporte de Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PSL-DA) y de tipo Gauss, mediante la interacción con espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR) y los datos de la nariz electrónica dando resultados con una alternativa muy rápida y veraz (**Huang et al., 2017**). Lugar caracterizado por el desarrollo de nuevos productos con análisis de laboratorio avanzados.

Otro caso con la implementación de instrumentos eficaces es en la Universidad de Jiangnan en su estudio “evaluación de la frescura de pimiento cortado (*Capsicum*)” se utilizó una nariz con 14 sensores de tipo MOS, determinando los compuestos volátiles del sabor mediante el uso de otro prototipo de lengua usado en un investigación de Zhang y Wang, esta fue realizada en el laboratorio a una temperatura de 25°C usando viales de 50ml y con 3.5g de cada muestra en intervalos de tiempo de 30min, finalizando con análisis estadísticos mediante el uso de Análisis de varianza (ANOVA) y para tener las medias y la desviación estándar el uso de Tukey, también se usó el análisis de conglomerados jerárquicos (HCA) y de componentes principales (PCA) (**Chen et al., 2018**). Siendo una investigación con cierto método analítico realizando comparaciones con diferentes modelos estadísticos y la correlación que hay entre uno y otro sensor.

También en el Instituto de Investigación de Especies y Bebidas (CATAS) en su estudio “evaluación de perfiles volátiles y propiedades del sabor sobre los granos de café mediante la técnica de secado” publicado el 16 de Agosto de 2018 desarrollaron una nariz de tipo Fox 3000 mediante el uso de un software de reconocimiento de patrones con un muestreador automático (HS-100), compuesta de 6 semiconductores de óxido metálico detectando muestras de gas lo cual pudo medir el aroma teniendo una amplia información sobre los compuestos volátiles (**Dong et al., 2019**).

De igual forma, en cuanto al uso de la nariz tipo Fox 3000 en China el Instituto de Árboles Frutales (Guangdong Academy of Agricultural Science) hizo un estudio sobre la temporada de cosecha en bananos; dispositivo que fue equipado por 18 sensores determinando moléculas de olor y concentración de cada muestra tomada teniendo como resultado una diferencia significativa con

respecto al olor (**Dou et al., 2020**). Este instituto ha sido caracterizado por ser uno de los pioneros en cuanto a investigaciones con fines de competitividad en el desarrollo de nuevos instrumentos para industrias alimentarias.

Continuando con la investigación de narices electrónicas en la Universidad de Jaén en España, un grupo de robótica usó como herramienta la nariz en el estudio de la cosecha de las aceitunas mediante el uso de sensores y algoritmos de reconocimiento para predecir la calidad del aceite a partir de 82 muestras del fruto del olivo que se tomó, usando así patrones clásicos como mínimos cuadrados parciales (PSLDA), red neuronal de multicapa (MLP), el cual esta tuvo el mejor valor óptimo con un 90.2% en cuanto a la clasificación de los dos tipos de aceites con origen en el fruto (**Martínez Gila et al., 2020**).

Otra de las frutas que han sido evaluadas por parte de este dispositivo, ya sea por discriminación al momento de la cosecha y el origen geográfico fue el mango y las cerezas italianas respectivamente; en la cual de acuerdo con la Universidad Tecnológica de Gdansk en las cerezas se utilizó una nariz de tipo PEN3 basada en 10 sensores MOS en conjunto con espectroscopia isotópica y para el análisis de datos el modelo de PCA y Análisis discriminante lineal (LDA) dando como un instrumento eficaz con este último análisis.

Mientras que en la discriminación de dos tipos de mangos se usó una nariz de tipo Fox 4000 basado en 18 sensores MOS mediante el método de Análisis de discriminante múltiple (MDA) para el análisis de datos, este tipo de experimento realizado fue bien distribuido ya que se lo realizó por dos tipos, en donde la primera constó de la separación de la fruta madura con la verde en los diferentes estados de cosecha y la segunda costó a partir de los distintos tamaños para la fruta tanto de la madura como de la verde, logando que este tipo nariz fuera capaz de la distinción incluso de los mangos intactos y por diferente tipo de maduración (**Śliwińska et al., 2021**).

Dentro de la investigación de **Śliwińska et al., (2021)** también señala que con respecto al análisis de bebidas no alcohólicas se usó la nariz electrónica basada en sensores MOS y cromatografía de gases y espectrometría de masas (SPME-GC) para jugos y preparados de fruta con el método de LDA distinguiendo así el primer análisis entre jugo de naranja y toronja, mientras que el segundo con la discriminación de preparados de limón, lima, toronja, mandarina y naranja y el tercer análisis con el jugo de naranja tanto en concentrado, no concentrado y fresco, teniendo resultados más eficaces con SPME-GC.

Al igual que en la investigación anterior, en esta realizada por la Universidad de Zhejiang en su proyecto “evaluación sobre la calidad del té y los riesgos que presenta en la salud si hay residuos de pesticidas”, dentro de la metodología se usó una nariz electrónica de tipo Fox 4000 comercial con tres cámaras y 18 sensores de óxido de metal y con el método de mínimos parciales cuadrados (PSL) dando una clasificación y discriminación de tres pesticidas en el té. A su vez los sensores MOS incluyeron a dos sensores categorizando en letras P & T y LY2 sin referencia a tener algún compuesto químico en común, lo cual dieron una respuesta a los compuestos orgánicos volátiles (COV) generados a partir de las muestras de té para la calidad de este, sin embargo, se tomó más características para la construcción de modelos apropiados para cada respuesta de las matrices de sensores logrando una amplia gama de información para cada sensor de gas (**Sanaeifar et al., 2021**).

Otra investigación realizada por la Academia de Ciencia Agrícolas, en su estudio acerca del frío que se necesita para las yemas florales del durazno, se utilizó la nariz electrónica para la detección de compuestos volátiles en el proceso de desarrollo de este fruto, relacionando con la madurez y los perfiles metabólicos, lo cual se logró en los resultados obtenidos tener una evaluación de aromas, cambios fisiológicos durante la vida útil y las condiciones de almacenamiento (**Yan et al., 2021**).

Con respecto a plantas medicinales también se hizo un estudio similar acerca del té dulce, mismo que fue realizado por la Universidad de Auckland sobre las características químicas, sensoriales y

volátiles mediante el uso de la nariz electrónica de tipo PEN3 (Airsense GmbH) con 10 sensores químicos en los cuales se determinó diferentes compuestos aromáticos alifáticos, nitróxidos, amoniaco y compuestos de hidrógeno, metano sulfuros, etanol y sulfuros orgánicos con la ayuda del método por PCA logrando una investigación de distintos compuestos de té tanto dulces como instantáneos (**Liu et al., 2022**).

De esta forma se intuye que las aplicaciones que este dispositivo ofrece son muy eficaces y útiles en frutas y verduras abriendo investigaciones futuras para el desarrollo y aplicabilidad en laboratorios y en industrias locales, por otro lado, también se habla sobre las lenguas electrónicas que se describen a continuación tras los posteriores antecedentes revisados.

### **1.2.2 Investigaciones sobre la lengua electrónica para frutas y vegetales**

La investigación realizada por el laboratorio de Beijing para el aseguramiento y calidad de alimentos sobre “evaluación de la comparación de perfiles volátiles y las distintas propiedades que presenta los granos de café” usaron la lengua electrónica de tipo Astree II compuesta de un muestreador automático (LS48), una matriz de sensores y un electrodo de referencia (Ag/AgCl) acompañado de un paquete de software Chemometric, también utilizaron sensores químicos y potenciométricos con recubrimiento de membranas con selectividad específicas para cada sensor.

Este estudio estuvo centrado en los cultivos de café robusto y el modelo de calibración el cual se usó técnicas como HS-SPME-GC llevando a un análisis sobre el sabor de las muestras de café con el método de PCA y de conglomerados jerárquicos (HCA) aplicando hacia la matriz de datos (**Dong et al., 2019**).

Continuando con las investigaciones, el Instituto Politécnico de Coimbra en su estudio “discriminación de pimientos dulces según el modo de producción y el enfoque químico sensorial” usaron una lengua de tipo potenciométrica el cual estuvo comprendida por dos matrices cilíndricas y 20 membranas sensoras poliméricas con sensibilidad cruzada que a su vez tiene poca

selectividad, pero los materiales usados para los sensores ayudaron a que se establezca una mejor estabilidad en cuanto a la señal y la detección (**Guilherme et al., 2020**).

La lengua de tipo potenciométrica también se usó en el estudio sobre la aplicación en las aceitunas negras, publicado por el Instituto Tecnológico de Agricultura y Alimentación permitiendo que se realice un análisis fisicoquímico y sensorial, sin embargo, para un mejor análisis se requirió de la transformación de este fruto en una pasta acuosa e incluso en muchos caso con la adición de salmuera convirtiendo en una técnica destructiva con el fin de que aumente la complejidad y por ende el análisis se extienda (**Martín-Vertedor et al., 2020**).

Todo esto define a que en cada estudio se haga con un sistema diferente dependiendo mucho del tipo de fruta o vegetal y de la caracterización que se quiera analizar, poniendo en frente a distintos tipos de sensores que van desde los más simples hacia los más complejos para que al final de la recolección de datos se haga más fácil mediante métodos estadísticos y tener resultados eficaces.

En la Universidad de Bohai se realizó un análisis sobre los distintos sabores de las manzanas seleccionadas usando la lengua electrónica con un sensor de sabor constando de cinco sensores de prueba y dos de referencia, expresados por códigos en la que representaron los sabores principales (agrio, salado, dulce, amargo, astringente). Lo cual una vez que se han absorbido las sustancias gustativas por membranas artificiales se dará una medición entre el potencial del electrodo de trabajo y de referencia, usando el electrodo de Ag/AgCl a temperatura ambiente (**Zhu et al., 2020**).

También en una de las investigaciones realizadas por la Universidad Tecnológica de Gdansk-Polonia en el tomate se había empleado dos tipos de lenguas electrónicas, considerando la clasificación en función del cultivo y el diseño de un análisis en el que se predijo el sabor del tomate relacionada con los datos electrónicos de la lengua de los evaluadores del panel sensorial, este estudio seleccionó a seis cultivos en función de la diferencia del sabor y como métodos utilizó PCA, mínimos cuadrados parciales (PSL) y análisis discriminante canónico (CDA), sin embargo,



el modelo de PSL ayudó a la construcción mediante la opinión de los evaluadores en referencia a la dulzura, acidez, salinidad y umami como referencia (**Śliwińska et al., 2021**).

De igual forma Śliwińska et al., (2021) en su investigación usó la lengua voltamperométrica para la clasificación tanto de té verde como té negro con los métodos de PCA y SVM en el respectivo análisis de datos mediante la aplicación de cuatro electrodos modificados con óxido metálico entre estos están: SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y ZnO dando resultados más eficaces con Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ya que se logró una mejor clasificación.

Mientras que en el Instituto de Ciencias Médicas de la India en su artículo “desafíos del uso de la lengua para el estudio de las plantas, el impacto del solvente y la concentración del sensor” publicado en febrero del 2021 también usaron la lengua de tipo Astree II con sensores MOS y un muestreador automático, experimento realizado en 16 vasos de precipitación con sensores de referencia de Ag/AgCl y para el análisis de datos el sistema de software Alpha Soft, al igual que este consto de una matriz de sensores para sabores como umami, agrio y salado (**Kumar et al., 2021**).

Todo este tipo de antecedentes hacen que se desarrolle más investigaciones a futuro y que en laboratorios e industrias se implemente estos sistemas de uso optimizando el tiempo y espacio de los paneles de expertos en cuanto a la selección, clasificación y distinción de las frutas y verduras llevando al consumidor con la calidad adecuada en base a los estándares permitidos por las normas ecuatorianas establecidas.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una búsqueda bibliográfica relacionada con la aplicación de sensores electroquímicos como herramienta de apoyo al análisis sensorial de frutas, vegetales y plantas medicinales.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer el fundamento básico que tiene un sensor de acuerdo con la interacción con los alimentos.
- Identificar los tipos de sensores electroquímicos que más se utilizan en el análisis sensorial de frutas, vegetales y plantas medicinales.
- Definir la capacidad que tienen los sensores para contribuir al análisis sensorial de frutas, vegetales y plantas medicinales.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales**

En cuestión de la revisión bibliográfica los materiales utilizados fueron digitales, como se indica a continuación:

- Internet
- Computadora
- Plataformas virtuales de la Universidad Técnica de Ambato (Pro-Quest, Scopus, Science Direct, entre otras).
- Bibliotecas virtuales de acceso libre (Google académico, SciELO, Pub Med, ProQuest).
- Gestor de referencia bibliográfico: Mendeley

#### **2.2 MÉTODOS**

##### **2.2.1 Recopilación de la bibliografía**

El proceso de búsqueda se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre abril y septiembre de 2022. Las fuentes principales para esta revisión se obtuvieron mediante el uso de plataformas científicas de Springer, EMBASE, Science Direct y sitios web de acceso gratuito de la biblioteca digital de la Universidad Técnica de Ambato, además con el apoyo de búsqueda de Google Académico (**Planelles, 2016**).

##### **2.2.2 Evaluación y selección de la bibliografía**

En el presente trabajo se efectuó una investigación cualitativa, mediante procesos interrogativos que respondan a preguntas como: ¿Qué son los sensores electroquímicos?, ¿Cómo aportan estos sensores en la industria frutícola?, ¿Cuáles son las ventajas de los sensores para el análisis sensorial de frutas y vegetales? Y ¿Qué tan eficaces son al momento de un análisis dentro de la cadena productiva? (Arias, 2019).

### **2.2.2 Palabras clave usadas para la revisión**

Las palabras que se utilizaron para la revisión bibliográfica serán de acuerdo con el tema de investigación planteado, tales como: análisis sensorial, sensores, nariz electrónica, lengua electrónica, dispositivos, sensibilidad, especificidad, panel sensorial, calidad, compuestos volátiles, frutas, plantas medicinales, frutícola, sensores electroquímicos (Santos et al., 2022).

### **2.2.3 Definición del problema**

La problemática en la que se basó la presente investigación son el uso de nuevas metodologías de análisis sensorial en frutas, vegetales y ciertas plantas medicinales mediante el empleo de dispositivos electrónicos tales como nariz y lengua electrónica. A pesar de los grandes avances, se induce que hay información escasa sobre los análisis realizados específicamente en este tipo de alimentos. Lo cual, dicha información es necesaria para que investigadores puedan conocer el fundamento y posibles aplicaciones que se puedan realizar en frutas y vegetales locales para mejorar la calidad e incluso la eficiencia en la producción de estos alimentos mencionados anteriormente.

### **2.2.4 Búsqueda de la información**

La búsqueda de la información se hizo mediante el empleo de las diferentes plataformas digitales de acceso libre a través del sistema integrado de la Universidad Técnica de Ambato como:

ProQuest, Springer, entre otras. Sin embargo, la biblioteca de mayor uso y de acceso libre fue la de Science Direct de las cuales se seleccionaron los artículos e incluso capítulos de libros relacionados con la aplicación de narices y lenguas electrónicas en diferentes tipos de frutas y vegetales tanto para la clasificación como para la calidad que estas deben tener ante ciertas normas de los países donde han sido estudiadas. Para garantizar la autenticidad de los datos tomados de los distintos artículos fue necesario el uso de publicaciones relacionadas a nivel mundiales de los últimos 5 a 6 años.

### **2.2.5 Organización de la información**

La información tomada se seleccionó de manera sistemática con el fin de distinguir las fuentes primarias y secundarias para que el trabajo de titulación sea legible. La organización de la información inicio desde la historia de los sensores electroquímicos, posterior a ello la definición y fundamento de ambos dispositivos (nariz y lengua electrónica). Se trabajó con alrededor de 60 o más fuentes bibliográficas recopilados de distintas bases de datos, mediante con un posterior manejo y organización de tipo documental enfatizando la fecha de publicación, autor y tema, tal como se describe en la Tabla 1.

**Tabla1. organización de artículos**

---

<b>No</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Tema centra/Resumen</b>
-----------	---------------	--------------	------------	----------------------------

---

---

**Fuente:** (Lewis, 2015)

Por ello para una mejor organización se utilizó el gestor Mendeley, agrupando y priorizando cierta información (Lewis, 2015). Consecutivamente se identificó las partes básicas que deben tener ambos dispositivos y los sensores con los cuales estos pueden trabajar y los resultados de los diferentes análisis que se han realizado así como las aplicaciones de estos dispositivos, cuya

información fue representada en tablas y gráficos y una breve discusión acerca de las comparaciones ente los datos más relevantes.

#### **2.2.4 Análisis de la información**

Este proyecto de titulación fue de tipo revisión bibliográfica con el fin de responder las preguntas anteriormente planteadas, lo cual darán un panorama más amplio y actualizado sobre la aplicación de sensores electroquímicos como herramienta de apoyo para el análisis sensorial de frutas y vegetales.

La información tomada se utilizó para la identificación de los fundamentos de cada uno de los dispositivos y el tipo que más son usados en frutas, vegetales y ciertas plantas medicinales, siendo esta parte la más importante del trabajo de titulación y la que mayor parte se la destino, sustentada por datos científicos que han brindado cierta veracidad a cada uno de los artículos publicados.

La lectura de cada uno de los artículos, ensayos, trabajos de investigación, entre otros se pudo categorizar la información más relevante que fue de ayuda en la investigación. Además la lectura pormenorizó parte de la introducción, ayudando a la diferenciación del tipo de documento, el cual permitió la construcción de la revisión bibliográfica y aporte como sustento de lo que se realizó **(Vallejo, 2022)**.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las exigencias que hoy en día el consumidor tiene frente a la calidad de alimentos ha aumentado significativamente, al igual que la cantidad de producción y la relación entre pérdidas y ganancias en las industrias, problemática que conlleva a que exista un control químico, físico y sensorial de todo el proceso de trazabilidad, mediante el uso de las nuevas tecnologías, haciendo uso de los dispositivos electrónicos tales como nariz y lengua electrónica el cual funcionan en conjunto con sensores electroquímicos, herramienta que es necesario conocer el fundamento, los tipos y la capacidad de ayudar al análisis sensorial en frutas, vegetales y ciertas plantas medicinales para futuras investigaciones y que ayude al desarrollo en las industrias.

#### 3.1 Fundamento de un sensor

**Tabla 2.** *Diferentes definiciones expuestas acerca de los sensores*

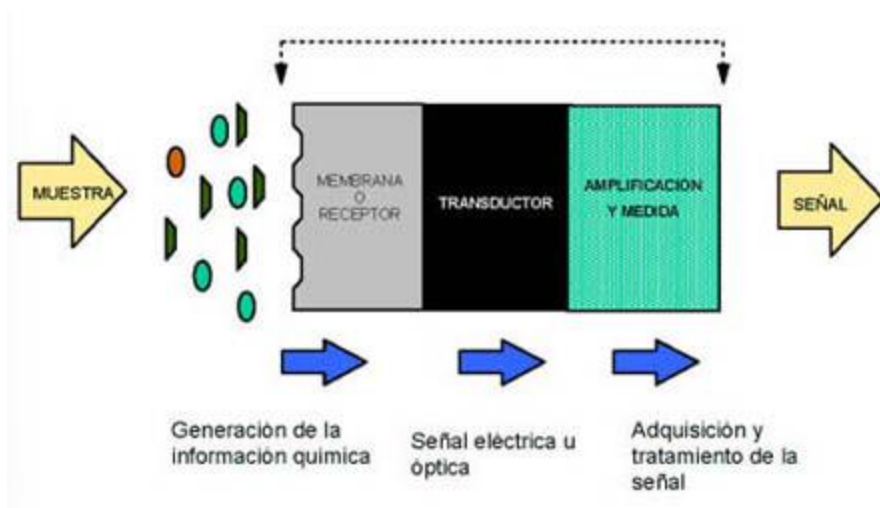
<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
Dispositivo que transforma la información química por una señal analítica, construido por componentes básicos tales como: series, receptor y transductores, en donde el receptor reconoce al analito mediante las propiedades físicas de un alimento.	(Moreno - Barón, 2016)
Caracterizado por un tener un bajo coste, la capacidad de monitorear la calidad química y sensorial de un alimento, así como la facilidad de dar respuestas rápidas satisfaciendo las exigencias en las industrias, además estos pueden ser clasificados por mecanismos de una especificidad química.	(Diezma & Correa, 2015)

---

Establece la interacción de compuestos (ácido, glucosa, sacarosa, salado, (Jiménez et al., 2022) entre otros) con las membranas receptoras el cual genera un señal eléctrica, a su vez el conjunto de estas señales genera una muestra y para cada sensor habrá una huella en específico (*fingerprint*) determinando una respuesta la final del análisis de datos.

---

De acuerdo a la Tabla 2 varios autores definen al sensor desde el punto de vista químico como un dispositivo en el que permite que las mediciones que se realicen de forma rápida y reproducible, capaz de administrar la información química de un alimento de manera continua, por ello de acuerdo con **Jiménez et al., (2022)** un sensor consta de tres elementos básicos como: membrana de sensor, transductor encargado de mandar la señal química en física o en eléctrica y el circuito en el cual se adiciona para la posterior lectura como se observa en la Figura 1.



**Figura 2.** Sistema de sensor básico para análisis de alimentos

**Fuente:** (Jiménez et al., 2022)



### 3.1.1 Sistema de un sensor básico

**Tabla 3.** Descripción de los diferentes tipos de membrana y transductores usados en los alimentos

Parte	Tipos	Descripción
<b>Membranas de sensor</b>	Iónicas	El compuesto que se analiza interactúa con la membrana y genera la señal química y de esa forma llega al transductor por medio de una señal física o eléctrica.
	Enzimas	
	Células	
<b>Transductores</b>	Ópticos	La interacción con el analito hace que se transforme en señal óptica con el receptor
	Electroquímicos	Entre el analito y el electrodo existe una interacción electroquímica.
	Piezoeléctricos	Dan una transformación de un cambio de masa mediante materiales con propiedades piezoelectrónicas sobre un electrodo cambiado.
	Térmicos	Estos miden la capacidad de calor sobre un electrodo

**Fuente:** (Martínez, 2016)

### 3.1.2 Sensor electroquímico

Consiste básicamente de dos electrodos (de medida y contraelectrodo) el cual tienen contacto por un electrolito (transporta iones) y el circuito de la corriente eléctrica de forma externa que transporta los electrones (Silva-Carrillo et al., 2020). Dentro la industria alimentaria los sensores electroquímicos que más se utilizan para el análisis sensorial están clasificados en dos tipos:

- **Potenciométricos:** este tipo ayuda a la detección de especies iónicas y moleculares dando una gran versatilidad, teniendo la ventaja de poder introducir muestras no homogéneas.

- **Voltamperométricos:** es una alternativa que ayuda a la separación en análisis de aminoácidos oxidables sobre una base electronegativa tales como tioles o aromáticos en los cuales esta contenidos en una molécula. Esto se basan en aplicar un potencial sobre un electrodo de trabajo tales como Pt, Au y grafito con respecto al electrodo de referencia, pero también puede existir un tercer electrodo conocido como auxiliar el cual ayuda a completar la celda electroquímica (**Pérez, 2020**).

Los aspectos que se consideran como prioridad sobre la definición de un sensor electroquímico son:

- Selección del receptor, un elemento biológicos de reconocimiento molecular.
- Elección de un elemento de transducción.
- Integración de ambos elementos, por inmovilización del receptor en la superficie del transductor (**Moreno - Barón, 2016**).

Los sensores electroquímicos son utilizados mucho en la industria alimentaria pero estos en la actualidad necesitan del apoyo de dispositivos que ayuden al análisis fisicoquímico y sensorial en frutas, vegetales y plantas medicinales, a su vez es necesario que den un apoyo a los paneles de expertos en cuanto a la catación de los productos terminados, mientras que en la industria frutícola estos dispositivos han tenido gran importancia debido a que ayudan a la selección, clasificación e identificación de frutas en sus diferentes estados e incluso de acuerdo a estudios que se mencionan más adelante son capaces de identificar si presentan alguna enfermedad adherida a estos alimentos.

De esta forma los dispositivos en las que se enfocó la revisión bibliográfica y los que usan sensores electroquímicos son la lengua y nariz electrónica siendo necesario saber el fundamento, estructura y la capacidad que tienen frente al análisis sensorial.

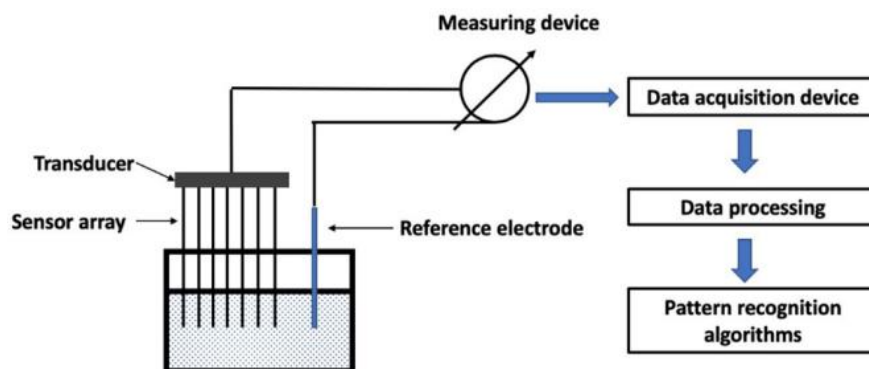
## 3.2 Lengua electrónica

**Tabla 4.** *Fundamentos acerca de la lengua electrónica*

Descripción	Referencia
Dispositivo que trata de imitar a la lengua humana con el fin de memorizar los sabores determinando uno en específico dependiendo del alimento, se compone de sensores el cual estos miden una propiedad determinada de la muestra, y la respuesta de estos genera una huella característica.	(Jiménez et al., 2022)
La lengua electrónica con gusto biológico no se encuentra relacionada con el método de conversión de información química en señal eléctrica, sin embargo, la señal es un potencial de interfaz electrodo-muestra conocida como lengua potenciométrica y cuando la corriente genera una respuesta de potencial hacia el electrodo es conocida como lengua voltamétrica.	(Baldeón, 2015)

De acuerdo a los dos fundamentos indicados en la Tabla 3 se deduce que las lenguas electrónicas se basan en sensores de baja selectividad con una especificidad inherente, de respuesta rápida y de bajo costo en relación con la construcción y la automatización, sin embargo, según **Jiménez et al. (2022)** uno de los aspectos más críticos es el tratamiento de los datos para obtener una respuesta coherente y útil, para lo cual se usa los análisis multiparamétricos en el que se recoge los datos de los sensores y mediante algoritmos se da un reconocimiento de patrones y se interpreta dichas señales.

### 3.2.1 Estructura de la lengua electrónica



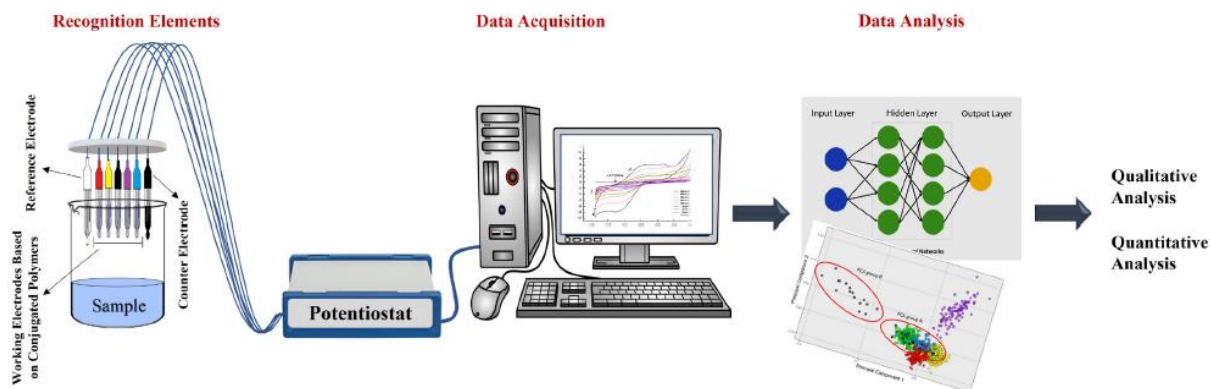
**Figura 3.** Esquema de una lengua electrónica básica con sensor potenciométrico

**Fuente:** (Liu et al., 2022)

Como se observa en la Figura 2 se tiene un esquema sobre lengua electrónica de tipo potenciométrico el cual consta de una matriz de sensores, un recipiente de reacción y varios dispositivos para las mediciones, los transductores y los de adquisición de datos para concluir con los algoritmos de procesamiento de datos, sin embargo, este esquema varía de acuerdo con la cantidad y tipo de sensores que se utilice.

Por otro lado, **Vahdatiyekta et al. (2022)** señala que la lengua se compone por una serie de sensores no específicos el cual responde a los analitos de forma biológica muy similar a las papilas gustativas del ser humano para al final complementarlo tal como se describe en la Figura 2, es decir, que consta de una matriz de biorreceptores/quimiorreceptores, los transductores que convierten las señales de reconocimiento en datos eléctricos y la parte de los datos que implica los métodos quimiométricos analizando la información.

### 3.2.2 Funcionamiento



**Figura 4.** Mecanismo de operación de la lengua electrónica

**Fuente:** (Vahdatiyekta et al., 2022)

Como se describe en la Figura 3 el mecanismo de funcionamiento se basa en la señal de detección que es generada por el sensor, este se complementa y esa combinación permite crear una huella digital única mientras que los transductores se benefician de las mediciones de tipo óptica, electroquímica y espectroscópica, a su vez estas emplean técnicas de reconocimiento mediante patrones de componentes principales como: regresiones, redes neuronales, lógica difusa, ayudando al análisis de ellos datos de entrada y que de esa forma se puede interpretar la información de tipo cualitativa y cuantitativa (Vahdatiyekta et al., 2022).

### 3.2.3 Uso de sensores en frutas, vegetales y plantas medicinales

**Tabla 5.** *Sensores usados en varios estudios de frutas, vegetales y plantas medicinales en conjunto con la lengua electrónica*

<b>Tipo de lengua electrónica</b>	<b>Tipo de sensor</b>	<b>Fruta/vegetal</b>	<b>Estudio</b>	<b>Referencia</b>
<b>Lengua potenciométrica Astree I-Alpha MOS</b>	MOS (sensores óxidos metálicos)	Albaricoque	Estudio basado en el rendimiento de este dispositivo y las clasificación por variedades, así como la detección de los efectos de las técnicas de poscosecha tanto en el sabor como en la madurez	(Kantor et al., 2008)
	Sensores químicos potenciométricos ISFET	Néctar de arándanos	Evaluación sensorial entre muestras tratadas y no tratadas de néctar de arándanos mostrando diferencia entre ambas y esto se pudo deber al mecanismo entre los similitud d ellos azucares encontrados que son los principales componentes químicos y la disponibilidad de las membranas poliméricas de estos sensores usados en este estudio.	(Režek Jambrak et al., 2017)
<b>Lengua potenciométrica Astree II-Alpha MOS</b>	Sensores químicos y sensores potenciométricos	Granos de café	Está compuesta por una matriz de sensores, un electrodo de referencia (Ag/AgCl) y un paquete de software Chemometric además de un muestreador automático.	(Dong et al., 2019)
	MOS (sensores óxidos metálicos)	Plantas medicinales	El sistema de este estudio se basó en una matriz de sensores conteniendo 7 sensores de los cuales tres fueron específicos dando los sabores agrio, salado y umami, pero el total de estos se almacenaron en una	(D. Kumar et al., 2021)

				matriz de datos utilizando al final un análisis multivariante	
<b>Lengua potenciométrica simple</b>	Membranas poliméricas	sensores	Pimientos dulces	Enfocado en los efectos del modo de producción y maduración, lo cual permitió la clasificación por el origen agronómico de producción.	(Guilherme et al., 2020)
<b>Lengua voltamétrica</b>	Sensores nobles	de metales	Té negro	Se usó estos sensores por la inercia electroquímica y estabilidad física, aplicando el procedimiento de identificación del sistema, luego los parámetros de circuito identificado se tomaron como características de las muestras de té.	(S. Kumar & Ghosh, 2020)
<b>Lengua SA402B</b>	Sensor (consta de 5 sensores de prueba y 2 de referencia)	de sabor	Manzana	Se logró la identificación de alrededor de 300 compuestos en fracción volátil y las demás docenas han contribuido al aroma que se ha percibido de la fruta, además los estudios han encontrado algunos volátiles relacionando con la aceptabilidad como el sabor dulce y el agrio entre las 5 variedades de manzanas examinadas.	(Zhu et al., 2020)

**Fuente:** (Faconda, 2022)

Como se observa en la Tabla 5 la lengua electrónica que más se utiliza dentro de estudios experimentales son las de tipo potenciométrico Astree-Alpha MOS de tipo I y II, en colaboración con los sensores MOS (sensores de óxido de metal), en relación a la de tipo I el estudio de las características fisicoquímicas del albaricoque según **Tian et al. (2013)** en su investigación sobre la discriminación de este fruto en conserva, utilizó una lengua compuesta por 7 sensores potenciométricos más el electrodo de referencia de Ag/AgCl, teniendo similar funcionamiento con el estudio de Kantor.

Sin embargo, en este estudio se trabajó con sensores de efecto de campo químicamente sensibles diseñados para alimentos y bebidas, dado así se deduce que los sensores usados por este dispositivo tienen sensibilidad cruzada y gran selectividad lo cual ayuda a la detección de la mayoría de las sustancias que se encuentran en la matriz líquida con una percepción global del líquido y del sabor con sus umbrales como se muestra en la Tabla 6 para el caso de este fruto.

**Tabla 6.** *Sensores utilizados en la lengua Astree I en la discriminación de albaricoques y sus umbrales*

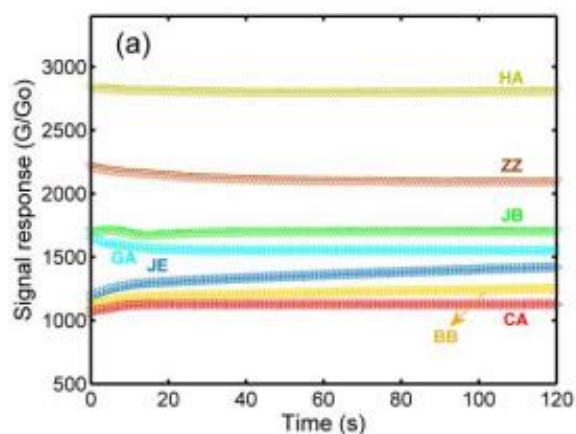
<b>Sabor básico</b>	<b>Sustancia gustativa</b>
Agrio	Ácido cítrico
Salado	KCL
Dulce	Glucosa
Amargo	Cafeína
Sabroso	L-arginina

**Fuente:** (Tian et al., 2013)

De igual forma otra fruta usada con este tipo de lengua fue los arándanos para el análisis sensorial de su néctar el cual según **Režek Jambrak et al., (2017)** mencionan que para el análisis de los datos se ocupó los componentes principales (PCA) permitiendo la observación de la información que da la matriz de sensores en un espacio bidimensional, lo cual en los resultados de esta investigación la estabilidad de la salida de la matriz de estos sensores usados son suficientes para producir información importante sobre el líquido analizado de manera completa.



Mientras que para los granos de café y las plantas medicinales de acuerdo con la Tabla 5 se utilizó la lengua Astree II -Alpha MOS. Con relación a los granos de café **Dong et al., (2019)** menciona que este dispositivo fue capaz de detectar los perfiles gustativos por vía electrónica y los sensores fueron usados como imitación de la percepción del gusto, la respuesta de la lengua hacia la muestra de café tostado se presenta en la Figura 4 donde cada curva perfila el valor potenciométrico de la diferencia entre el valor del sensor contra el tiempo, en donde en los primeros 10s las respuestas de los sensores daban cambios significativos y los demás sensores lo hacían con mayor lentitud hasta alcanzar un equilibrio y luego la señal de los sensores de 120s usaron análisis estadístico.

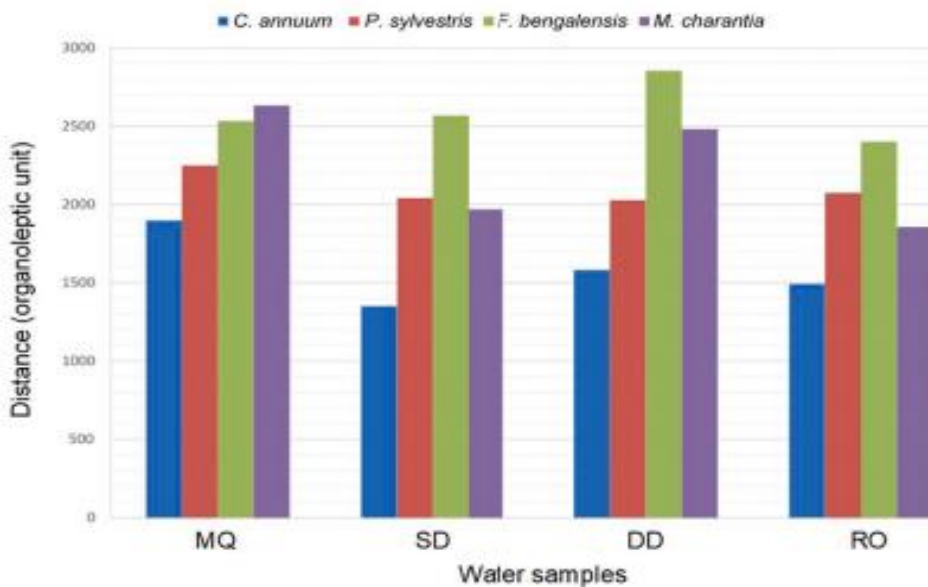


**Figura 5.** Respuesta de lengua electrónica para granos de café representativo

**Fuente:** (Dong et al.,2019)

De la misma forma en las plantas medicinales se usó este tipo de lengua (Astree II) con sensores de óxido metal y electrodos de referencia (Ag/AgCl), la funcionalidad de esos sensores se basó en el principio de ChemFET que es un transductor de efecto de campo a su vez los sensores fueron lavados para cada medición evitando contaminación cruzada al igual que los puntos de primer y quinto sensor fueron quitados evitando una saturación o errores en cuanto al preacondicionamiento, lo cual si ayudó a la diferenciación de las plantas que fueron muestreadas y además en el análisis de datos también se usó PCA logrando la evaluación de los diferentes

sabores entre las distintas muestras de plantas con el uso de varios tipos de agua como se muestra en la Figura 5.



**Gráfico 1.** Respuesta de sensores por medio de distancia organoléptica a extractos vegetales

**Fuente:** (D. Kumar et al., 2021)

En la figura 5 se describe la diferencia entre las muestras de las plantas, el cual tuvo mejor respuesta con agua DD (destilada doble), luego de agua RO (ósmosis inversa) seguida de MQ (agua Mili-Q) en relación con la respuesta de los sensores que de acuerdo con **D. Kumar et al., (2021)** se debió a las propiedades del agua como conductividad ya que estuvo en un rango que iba más allá de lo aceptable por la lengua electrónica así como también el pH elevado.

Por otro lado, en el caso del té negro como se observa en la Tabla 5 se utilizó un lengua de tipo voltamperométrica basado en un sistema electroquímico con tres electrodos tales como: de referencia, de trabajo y un contraelectrodo, el cual el conjunto de estos formó un canal o sistema electroquímico, de manera que **S. Kumar & Ghosh, (2020)** indican en su estudio que se lo realizó por voltamperometría de pulsos aplicando una serie de potenciales a la celda electroquímica, siendo la corriente la respuesta al voltaje mediante el transporte de la información del analito.

Todos estos estudios conllevaron a que la lengua electrónica más eficiente respecto al análisis sensorial son las de tipo potenciométrico Astree II y los sensores que más se usan para frutas y vegetales son los sensores químicos potenciométricos (MOS), ya que de acuerdo a **Tan & Xu, (2020)** estos trabajan con la medición de la diferencia del voltaje entre el electrodo de trabajo y el de referencia mediante una solución electrolítica el cual el voltaje es constante, sensores que tienen gran precisión al momento de la medición obteniendo resultados fiables, también uno de los sensores más ocupados en este dispositivo son los de sabor el cual incluyen a los biosensores, electroquímicos y de masa óptica debido a que interactúan con los analitos de estudio creando cambios reversibles en las propiedades eléctricas en donde las señales eléctricas usan el reconocimiento de distintos patrones (**Yang et al., 2022**).

De esta forma dentro de la revisión bibliográfica también se investigó acerca de otro dispositivo útil para el análisis sensorial siendo la nariz electrónica conociendo el fundamento, los tipos de sensores usados y la capacidad que tienen para la evaluación en frutas, vegetales y plantas medicinales, detallando a continuación.

### 3.3 Nariz electrónica

**Tabla 7.** *Fundamentos varios sobre la nariz electrónica*

Descripción	Referencia
Gracias a Gardner y Barlet en los años 80 se definió a la nariz como <i>“Instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades solapadas en conjunto con un sistema de reconocimiento de patrones que son capaces de analizar y reconocer aromas de simples a complejos”</i>	(Moreno et al., 2009)
Considerada como un conjunto de sensores químicos o bioquímicos eléctricos, que trabajan con una matriz de sensores de gas que tienen	(Cayllahue, 2020)

---

características de medición parcial y completo que se acoplan al reconocimiento de patrones característicos de aromas simples a complejos

En un inicio estos dispositivos eran considerados de alto valor económico, incorporándose para el desarrollo de un reemplazo de paneles de expertos en la clasificación de aromas, además que ayuda de manera subjetiva debido a valoraciones que tiene el ser humano como cansancio, estado anímico, clima, entre otros. (Vargas & Flórez, 2020)

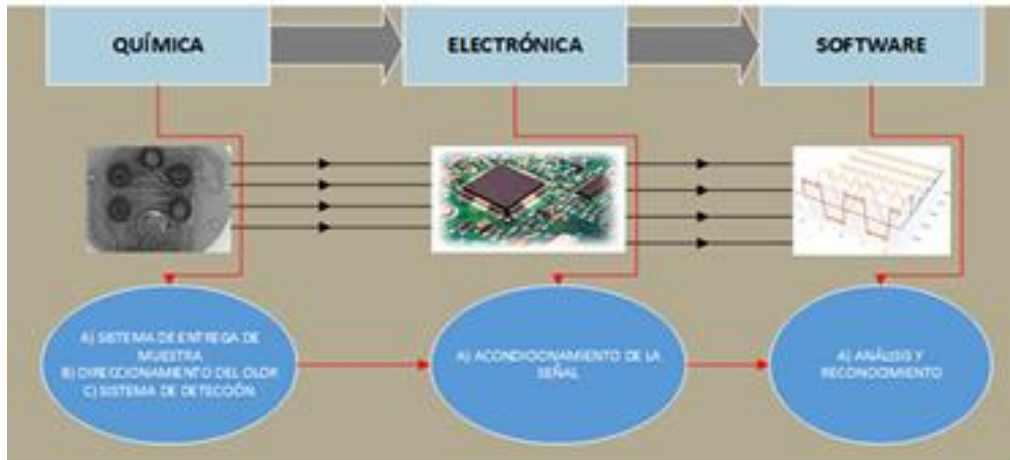
Formada por una serie de sensores que tienen cierta especificidad en un grupo de compuestos, cada sensor dará un valor de conductividad lo cual se obtendrá la matriz de datos de columnas (m) siendo el número de sensores que tiene la nariz, por filas (n) número de muestras. (Galeano & Rodríguez, 2020)

---

**Fuente:** (Faconda, 2022)

De acuerdo con los fundamentos descritos por varios autores la nariz electrónica ha tenido grandes avances con el fin de imitar al sistema olfativo biológico por medio de una serie de pasos como Cayllahue lo describe, además (Gudiño et al., 2021) señala que debido a que tienen bajo costo y robustez en la actualidad se usan mucha en el área agroalimentaria el cual permite que se analice los alimentos de manera no destructiva y que los resultados sean dados en tiempo real, lo cual ha logrado la discriminación de muestras de gas complejas y a la vez indica que los sensores usados son sensibles hacia las sustancias que se miden siendo de origen químico como biológico.

### 3.3.1 Estructura de la nariz electrónica

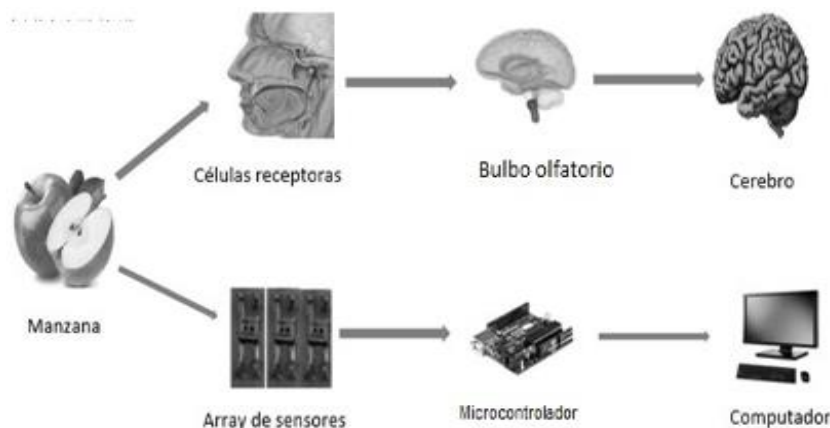


**Figura 6.** Bloque de sistema de medición de una nariz electrónica

**Fuente:** (Cayllahue, 2020)

De acuerdo con la Figura 6 dentro del sistema de este dispositivo existe la primera parte, conocida como la química que consta en la adaptación de los compuestos orgánicos volátiles que tiene subsistemas permitiendo un enfoque óptimo tales como: entrega de muestra, dirección del olor y sistema de detección. A la vez la entrega es la parte más importante porque depende de ello el resultado final, además la muestra debe ser un analito con alta pureza para eliminar cualquier sustancia que interfiera en la lectura (Cayllahue, 2020).

### 3.3.2 Funcionamiento



**Figura 7.** Proceso de nariz humana y electrónica para determinar un patrón de aroma

**Fuente:** (Cayllahue, 2020)

Una nariz electrónica consta básicamente de tres elementos como: sistema de muestreo, de detección y un procesador de datos y algoritmos de reconocimiento de los diferentes patrones que se formen o que se requiera identificar tal como se muestra en la Figura 7. De acuerdo con **Cayllahue, (2020)** el proceso empieza cuando la manzana emite una serie de compuestos volátiles y una vez que son dispersados por el aire hacia el medio habiendo una excitación del proceso, en el caso de la nariz humana esta llega a las células olfativas mientras que en la nariz electrónica la matriz de sensores es la que capta estos compuestos; luego el bulbo olfatorio pasa a ser el microcontrolador para que al final el computador se encarga de procesar dicha identificación de aroma específico.

### 3.3.3 Tipos de sensores usados en la nariz electrónica

**Tabla 8. Ventajas y desventajas de sensores de COV**

Tipo de sensor	Ventaja	Desventaja
Óxido de metal	Son económicos	Las mediciones se hacen a alta temperatura y con baja precisión
Óptico	Son tolerables al ruido eléctrico	Son muy escasos

MOS (semiconductores de oxido metálico)	Sensibilidad alta y de respuesta rápida Selectividad pobre	Mediciones a altas temperaturas y con baja precisión.
Sensores polímeros conductores	Funcionan a temperatura ambiente	El uso es limitado
MOSFET	Está integrado por una interfaz electrónica Aceptable sensibilidad	El sensor y el olor interactúan Las respuestas dependen de la temperatura de operación y de la humedad.
QCM	Tecnología completa	Tiene cierta interferencia electrónica

**Fuente:** (Faconda, 2022)

Como se observa en la Tabla 8 los sensores más usados con la nariz electrónica varían dependiendo del análisis que se vaya a realizar, sin embargo, **Zohora et al., (2013)** señala que los más usados también son: de onda acústica, electroquímicos y sensores de gas amperométricos, el cual los de onda acústica tienen la capacidad de generar dipolos cambiando así la absorción del gas frente a la exposición del vapor.

### **Sensores de gas usados en la nariz electrónica**

**Tabla 9.** *Sensores de gas usados en la nariz electrónica*

<b>Sensor de gas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sensores de gases tóxicos</b>	Electroquímicos	Son sensores sensibles y dentro de la estructura hay un detector electroquímico e intercala con un conductor iónico con electrodos auxiliares.
	Semiconductores (MOS)	Son eficientes porque pueden operar a baja humedad y logran detectar una gran variedad de

		gases, además dentro de estos se encuentran los sensores MQ.
<b>Medición de gases combustibles</b>	Catalíticos	Funcionan mediante la oxidación catalítica y la mayoría de los sensores de gas utilizan de este tipo, estan formados bobinas de Pt encapsulado mediante un material cerámico de aluminio.
	Infrarrojos	Funcionamiento por emisores (fuentes de luz) y receptores (detectores de luz) por lo cual si un gas aparece en medio de la medición óptica ésta interferirá con la potencia de la misma luz.

**Fuente:** (Peñarrubia, 2020)

### 3.3.4 Características que deben cumplir los sensores:

- Alta sensibilidad hacia los compuestos químicos.
- Baja sensibilidad en relación con la humedad y temperatura.
- Alta reproducibilidad y estabilidad.
- Reacción corta y de fácil calibración (**Quicazán et al., 2011**).

### 3.3.5 Aplicaciones de la nariz electrónica con sensores en frutas, vegetales y plantas medicinales



**Tabla 10.** *Sensores usados en varios estudios de frutas, vegetales y plantas medicinales en conjunto con la nariz electrónica*

<b>Tipo de nariz</b>	<b>Sensor usado</b>	<b>Fruta</b>	<b>Estudio</b>	<b>Referencia</b>
	3 cámaras de sensores de óxido de metal	Durazno	Estudio que ayudó a pronosticar los días anteriores previo a la descomposición del durazno con la ayuda de espectroscopía de infrarrojo y el dispositivo armado con un sistema de tres cámaras equipado por 18 sensores.	(Huang et al., 2017)
<b>Nariz FOX 4000 Alpha MOS</b>	18 sensores químicos de semiconductore de óxido metálico	Banano	Esta investigación ayudó a la evaluación entre el tiempo de cosecha de cómo afecta a los perfiles volátiles y el sabor con la ayuda de extracción combinada de cromatografía de masas.	(Dou et al., 2020)
	3 cámaras de 18 sensores de óxido metálico	Residuos de Té	Estudio basado en la detección cuantitativa de restos de plaguicidas encontrados en el té mediante este dispositivo, ya que la evaluación de la calidad depende mucho.	(Sanaeifar et al., 2021a)
<b>Nariz comercial (iNose Ruifen)</b>	14 sensores de gas MOS	Pimiento verde	Estudio que se basó en la evaluación de la frescura del pimiento, el cual mediante el uso de la nariz y el análisis de conglomerados se pudo definir las muestras frescas en los primeros días y las estropeadas en los últimos días.	(H.-Z. Chen et al., 2018)

	14 sensores de semiconductores de óxido metálico	Brócoli	Fue realizado con el fin de evaluar la frescura de este vegetal durante el almacenamiento en estado de refrigeración por medio de la nariz electrónica con ayuda de cromatografía de gases y espectrometría de masas.	(H. Chen et al., 2019)
<b>MOS</b> <b>nariz</b> <b>electrónica</b>	14 sensores de semiconductores de óxido de metal	Tomate cherry	Se realizó con el fin de evaluar la calidad y frescura de esta fruta después de usar argón a alta presión y para el análisis de datos se usó ELM y PSL el cual se examinó en función del sabor y el tiempo de almacenamiento dividiendo en cuatro grupos.	(Feng et al., 2018)
	9 sensores MOS	Ajo ( <i>Allium sativum</i> )	Estudio basado en la influencia de los diferentes métodos de secado y los periodos de almacenamiento en relación con el aroma de este vegetal usando análisis de datos como PCA, LDA Y BPNN.	(Makarichian et al., 2021)
<b>Nariz comercial</b> <b>FOX 3000-Alpha</b> <b>MOS</b>	Matriz de sensores (6 sensores de semiconductores de óxido metálico)	Granos de café	Estudio basado en el análisis de secado de los granos de café, además se usó la nariz electrónica para el análisis de la volatilidad y sabor, armando un sistema con un software de reconocimiento de patrones y un muestreador automático HS-100.	(Dong et al., 2019)

<b>Nariz PEN3</b>	10 sensores de película gruesa	Aceituna	Se basó en el análisis del aceite de oliva pero considerando que depende primero de las condiciones fisicoquímicas de la fruta, por ello se hizo la medición en la fruta recolectada conociendo así primero la calidad de esta.	(Martínez Gila et al., 2020)
	10 sensores químicos semiconductores de óxido metal	Yemas de florales durazno	En este estudio se estimó el tiempo de enfriamiento que se requiere para el durazno, ya que es un indicador cuantitativo de la latencia natural y la liberación de compuestos en el ambiente.	(Yan et al., 2021)
	10 sensores químicos de óxido de metal semiconductor	Té dulce instantáneo	Se investigó el efecto del procesamiento de ese té mediante perfiles químicos y sensoriales, identificando alrededor de 268 volátiles de los cuales casi 88 dieron diferencias significativas en las distintas muestras.	(Liu et al., 2022)
<b>Nariz electrónica de cromatografía de gases Heracles II- Alpha MOS</b>	Cromatografía de gases ultrarrápida	Té negro	Se evaluó la calidad del té mediante los compuestos aromáticos que presenta, categorizándoles en floral, dulce, dulce y floral en combinación con el uso de cromatografía de gases y espectrometría de iones.	(Yang et al., 2022)
	18 sensores de óxido de metales	Jugo de Maracuyá	Esta investigación se realizó con el fin de determinar las diferencias que hay entre la adición de una proteína (taumatina) y el aroma del jugo de esta fruta, el cual la nariz electrónica ocupada si mostro diferencias entre	(Xiao et al., 2022)

---

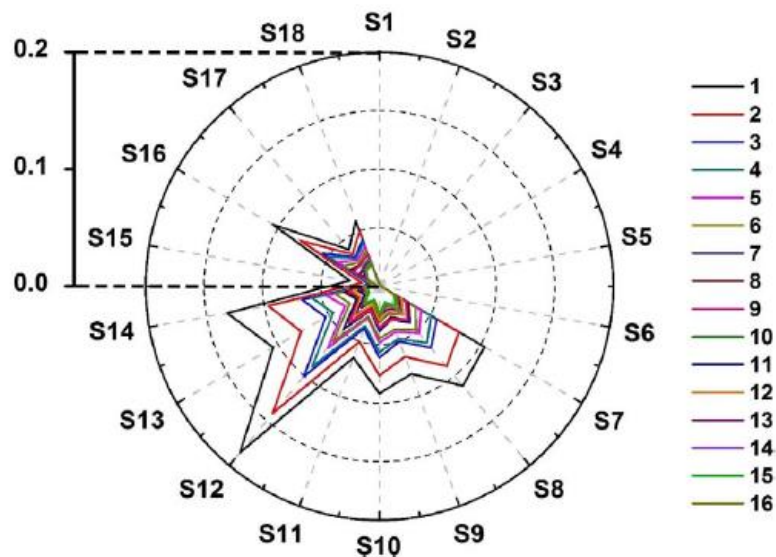
el aroma luego de haber sido agregadas diferentes concentraciones de dicha sustancia.

---

**Fuente:** (Faconda, 2022)

Como se observa en la Tabla 10 se describe las aplicaciones de la nariz electrónica, considerando que existen diferentes tipos y a la vez son usadas con diferente cantidad de sensores de acuerdo con el estudio que se ha realizado, dentro de las cuales una de las primeras narices usadas en los últimos 5 años que fueron investigadas por bibliografía, ha sido la Nariz electrónica tipo FOX 4000-Alpha MOS en duraznos, bananos y residuos de té.

Con respecto al estudio sobre la predicción de la descomposición de duraznos de acuerdo con **Huang et al., (2017)** señala que se usó la técnica de este dispositivo, constando de tres cámaras de sensores de óxido de metal equipados por 18 sensores. El cual la fase experimental se basó en la de medición del fruto colocando cada uno en un recipiente hermético durante 600s a 20°C, extrayendo 2 ml de gas de la parte del recipiente del cabezal mediante una jeringa para inyectarlo en la nariz electrónica, lo cual para la obtención de resultados precisos, el gas del espacio de cabeza se bombeó a la cámara del sensor a una velocidad constante de 2.5ml/s, finalmente cada muestra se probó a los 120s y la fase de limpieza fue de 240s.



**Figura 8.** Gráfico polar de las dieciséis respuestas promedio de nariz electrónica (valores máximo de respuesta) de los dieciocho sensores de nariz electrónica (S1 a S18)

De acuerdo con la Figura 8 se señala que existen dieciocho ángulos de  $0^{\circ}$  a  $340^{\circ}$  representando a los dieciocho sensores de nariz electrónica, lo cual el ángulo entre dos sensores adyacentes es de  $20^{\circ}$  y los valores de respuesta correspondientes de todos los sensores se unen en líneas rectas. Los puntos cercanos al centro del círculo tienen una respuesta cercana a 0, mientras que los puntos cercanos a la circunferencia tienen valores cercanos a 0.2, lo cual los sensores de uno a seis y quince tenían respuesta de nariz electrónica débiles iguales a 0, por lo que los siete que siguen no se consideraron para un posterior análisis, siendo la respuesta promedio de la nariz (**Huang et al., 2017**).

Por otro lado, con respecto a los bananos de igual forma se utilizó 18 sensores químicos de semiconductores de óxido metálico, dividido en tres conjuntos de cámaras, en la cual en la parte experimental se colocó muestras de 2g de pulpa en un vial de vidrio hermético tapado con un tapón de silicio, luego fueron llevadas a temperatura ambiente ( $25^{\circ}$ ) por una hora (tiempo que se genera la cabeza del muestreador), al igual mediante la inyección se pudo extraer de forma automática 2 ml de la muestra en la nariz electrónica, teniendo los datos durante 120s (**Dou et al., 2020**).

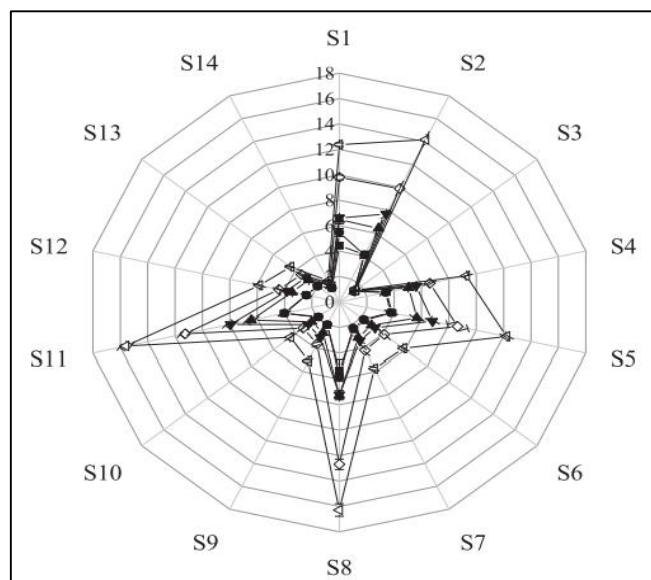
Dando resultados con diferencias significativas con relación a la composición de los compuestos volátiles y la temperada que fueron cosechadas. Por último con respecto a los residuos de té al igual se utilizó tres cámaras con 18 sensores de óxido metálico, no obstante tres señales dieron mayor respuesta a los COV, lo cual se dice que las muestras de té con concentraciones de pesticidas dieron diferentes COV lo cual hace que las respuestas por el sistema cambien (**Sanaeifar et al., 2021**).

Continuando con los tipos de nariz electrónica aplicados en estudios de frutos, vegetales, está las narices comerciales (iNose Ruifen) en las que se ha realizado estudios en el pimiento verde y brócoli, utilizando 14 sensores semiconductores de óxido metálico para ambos alimentos. Con respecto al pimiento verde, se realizó la evaluación acerca de su

frescura una vez que han sido cortados, al igual se usó viales de 50 ml con 3,5g para cada muestra, con una medición de 150s tiempo suficiente para que todos los sensores se estabilicen.

Como se observa en la Figura 9 se encuentra los valores de respuesta promedio de todos los sensores usados, en donde se observa claramente que las señales luego de los 7 días aumentaron, esto está de acuerdo con **(H.-Z. Chen et al., 2018)** indican que los cambios en los valores de las muestras frescas con las estropeadas son significativamente distintos lo cual indica interacción molecular entre los sensores MOS y los compuestos volátiles presentes en este fruto.

Por consiguiente en este estudio se destaca que la calidad del sabor ha sido afectada conforme a los días de almacenamiento, habiendo presencia de alcoholes, aldehídos, sulfuros entre otros, lo cual mediante el análisis sensorial de la nariz electrónica de acuerdo con Chen se evidenció un aumento en CV (cetonas, aldehídos, furanos) durante el almacenamiento de 9 días a una temperatura de 8°C.



**Figura 9.** Datos de nariz electrónica para pimientos verdes frescos en distintos periodos de almacenamiento

**Fuente:** (H. Chen et al., 2019).

Por otro lado, el brócoli realizado con el mismo tipo de nariz electrónica se hizo con el fin de evaluar la frescura en viales de 50 ml con 3g cada muestra muy similar la estudio anterior, sin embargo, en esta investigación se usó cromatografía de gases usando los datos de PCA siendo el método más eficaz para reducir dimensiones en cuanto a los patrones volátiles y la relación entre los diferentes días de almacenamiento **(H. Chen et al., 2019)**.

Dentro de la Tabla 9 también se describe la nariz electrónica simple MOS usada en la evaluación de la calidad y frescura de tomates Cherry con la ayuda del uso de argón a alta presión y con 14 sensores semiconductores que podían identificar distintas especies de detección como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 11.** Matriz de sensores de gas usados para la detección de compuestos volátiles en el tomate Cherry

N° sensor	Especie de detección
S1	Amoníaco para compuestos volátiles
S2	Compuestos de azufre (olores de limoneno)
S3	Hidrógeno
S4	Ésteres y terpenos, compuestos orgánicos
S5	Alcoholes, compuestos parcialmente aromáticos
S6	Metano, compuestos de azufre
S7	Compuestos aromáticos
S8	Óxidos de nitrógeno e hidrocarburos
S9	Compuestos aromáticos



<b>S10</b>	Hidrocarburos
<b>S11</b>	Compuestos aromáticos
<b>S12</b>	Alcoholes
<b>S13</b>	Alquenos, compuestos menos polares
<b>S14</b>	Metano a altas concentraciones

**Fuente:** (Feng et al., 2018)

En este experimento se colocó 5g de muestra en un frasco hermético y luego se usó 6 muestras de cada categoría para medir en la nariz electrónica, no obstante antes de la detección se equilibró durante los 120min considerables a temperatura ambiente, finalmente se bombardeó gas como limpieza para que se estabilicen las señales de cada sensor. La evaluación sensorial de este vegetal se lo hizo por 25 días el cual mediante este dispositivo se deduce que hubo cambios ligeros durante los primeros 5 días, identificando así 4 tipos de frescura tales como: fresco, normal, rancio, muy rancio en respuesta de los sensores utilizados dentro de la matriz **(Feng et al., 2018)**.

Mientras que respecto al ajo (*Allium sativum*) se utilizó la nariz con el fin de determinar la influencia del método de secado, almacenamiento y la difusión del aroma, usando 9 sensores MOS y un sensor de temperatura, lo cual se consideró mucho estos ya que debían ser reactivos a los COV que presenta este vegetal pudiendo identificar los distintos aromas, haciendo pruebas tanto en la línea base, inyección del espacio del cabezal y cuando es recuperado el sensor, usando oxígeno y gas ambiental **(Makarichian et al., 2021)**.

Por lo tanto, ambos estudios realizados demuestran que la nariz electrónica con el uso de sensores MOS es capaz de detectar perfiles de aroma para cada muestra que se desee ocupando funciones adicionales tales como DM o PSP, sin embargo, **Silva-Carrillo et al., (2020)** sugiere realizar investigaciones más a profundidad sobre la posibilidad de usar

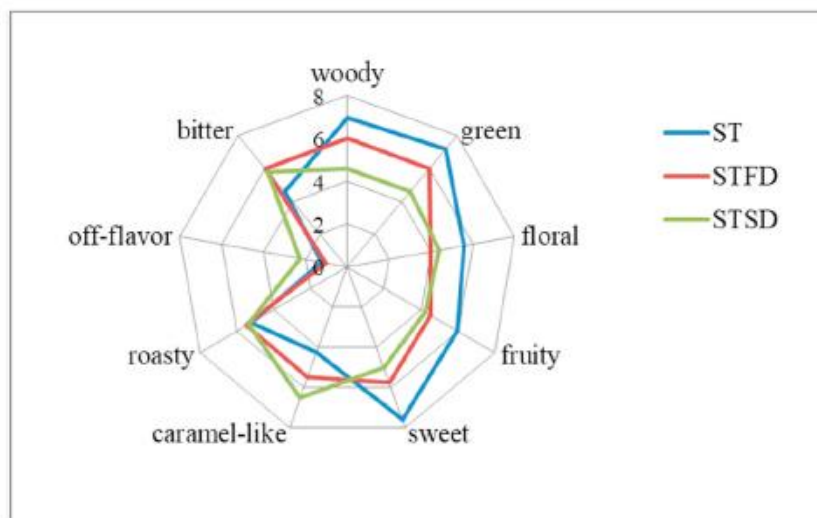
narices electrónicas para factores relacionados al procesamiento de alimentos que ayuden a la identificación en cada fases sobre el potencial del aroma de un alimento.

La nariz comercial FOX 3000-Alpha MOS se utilizó en cambio para el análisis de la volatilidad y sabor en los granos de café secos mediante el equipamiento con una matriz de sensores de semiconductores de oxido metálico adquiriendo una completa información sobre los compuestos volátiles presentes en el café dando así resultados cualitativos y cuantitativos lo cual **Dong et al., (2019)** indicó en su estudio que hubo diferencias significativas debido a la posible formación de nuevos compuestos volátiles durante el proceso de secado, sin embargo, los seis sensores fueron capaces de dar respuestas favorables en cuanto a la diferencia entre los aromas que produce el café.

Dentro de la aplicación de la nariz PEN3 en cambio se realizó el estudio de dos frutos y té dulce instantáneo usando para los tres casos 10 sensores semiconductores, en el caso de la aceituna su investigación se enfocó básicamente en la evaluación de la calidad del aceite de oliva, pero con una evaluación previa de la materia prima, es decir, del fruto pero luego de los análisis respectivos se procedió a medir de igual forma el aceite, teniendo en cada sensor selectividad influenciada en la detección, la temperatura del lugar de trabajo y la forma de cada sensor (**Yan et al., 2021**).

Mientras que en relación a plantas medicinales con el uso de la misma Nariz PEN3 se realizó acerca de las características químicas y sensoriales del té dulce instantáneo (*Lithocarpus litseifolius Chun*) (mezcla de hierbas muy consumido en la parte oriental del mundo) que contiene muchos compuestos bioactivos, equipado por los diez sensores químicos ya mencionados clasificados en (W1C, W5S, W3C, W6S, W5C, W1S, W1W, W2W, W3S), lo cual determinaron los compuestos aromáticos alifáticos, nitróxidos, amoníaco, aromáticos, hidrógeno, alcanos, componentes aromáticos, metano, sulfuro, etanol, aromáticos, sulfuros orgánicos y alcanos respectivamente; añadiendo 1g de

muestra de té en polvo hacia un vial de 20 ml para luego equilibrar a temperatura ambiente durante 1h, mientras que el tiempo de lavado de los sensores fue de 180s y cada muestra se determinó durante 60s, a una velocidad de inyección de muestra de 300 ml/min; los valores promedio entre 48s y 52s se usaron para análisis posteriores.



**Figura 10.** Gráfico araña para el análisis sensorial descriptivo de los atributos de sabor del té dulce (ST), el té dulce liofilizado (STFD) y el té secado por aspersión (STSD)

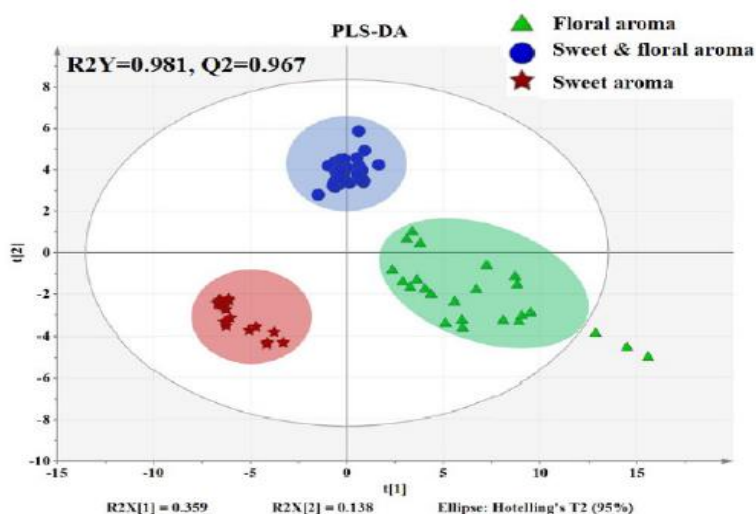
**Fuente:** (Yang et al., 2022).

De acuerdo con los análisis que se han realizado en este estudio las puntuaciones sensoriales del té dulce fueron leñoso (7), verde (7.2), floral (5.6), afrutado (6), dulce (7.6), acaramelado (4.3), tostado (5.2), mal sabor (1.2) y amargo (4.6), mientras que las puntuaciones amaderadas (5.5), tostado (5.5), mal sabor (1.0) y amargo (5.8). El análisis PCA se empleó para las diferencias entre las características volátiles de los té dulce e instantáneos (Yang et al., 2022).

Por último, dentro de la revisión bibliográfica también se analizó la nariz electrónica por cromatografía de gases Heracles II-Alpha MOS usado en el té negro y jugo de maracuyá. En el caso del té se realizó acerca de la caracterización de los compuestos volátiles que

emite con diferentes tipos de aroma en el cual se utilizó el dispositivo mencionado en conjunto con cromatografía de gases en el que fue capaz de monitorear la información de huellas dactilares en tiempo real, que están calibrados por alcano normal, así que los compuestos volátiles pudieron identificarse mediante comparación de los índices de retención con los de la base de datos ArochemBase de nariz electrónica y cromatografía de gases (CG).

Esta estuvo integrada por dos columnas cromatográficas de diferentes polaridades colocadas en paralelo y asociadas con dos FID generando dos cromatogramas, proporcionando una mayor información a una nariz electrónica tradicional (Yang et al., 2022).



**Figura 11 .** Las huellas dactilares representativas de los diferentes téis negros de aroma floral, dulce y dulce-floral obtenidos de las columnas MXT5 y MXT-1701

Como se observa en la Figura 11 se puede observar que cada pico corresponde a un compuesto volátil específico y se relaciona con la columna cromatográfica y la temperatura analítica, lo cual las áreas de los picos representan el nivel de los contenidos del compuesto (Liu et al., 2022).

Del mismo modo con respecto al jugo de maracuyá en esta investigación se basó en la interacción que tiene la taumatina como proteína dulce en la adición al jugo, así que para la parte experimental se tomó diferentes concentraciones dando los perfiles de aroma muy similares pero en relación a los valores de respuesta existió diferencias para cada sensor, sin embargo, acorde con **Xiao et al., (2022)** las adiciones de esa proteína en diferentes concentraciones mostraron en la nariz electrónica que la taumatina, tiene diferentes efectos sobre el aroma en el jugo de maracuyá.

#### **3.4 Aplicación de dispositivos electrónicos como soporte al análisis sensorial en frutas y vegetales**

**Tabla 12.** *Aplicaciones de dispositivos electrónicos en frutas y vegetales en análisis sensorial*

<b>Tipo de dispositivo</b>	<b>Fruta/vegetal</b>	<b>Característica sensorial</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
<b>Nariz electrónica comercial</b>	Tomate Cherry	<b>Frescura:</b> (fresco, aceptable, rancio, dañado)	Para este análisis se usó PCA logrando distinguir la frescura de los tomates en los días de almacenamiento ya que los cambios de aceptabilidad de este vegetal se relacionan directamente con el tiempo de almacenamiento en frío. Sin embargo, en estudios pasados se ha demostrado que las puntuaciones sensoriales con respecto a esta variable se deben a degradación en el aroma, color, sabor y hasta textura debido a los cambios químicos en azúcares y compuestos volátiles	(Feng et al., 2018)
<b>Lengua potenciométrica</b>	Pasta de aceituna	<b>Cinco sensaciones gustativas:</b> (dulce, amargo, ácido y umami) y extractos acuosos alcohólicos	Mediante las membranas sensoras se logró determinar respuestas logarítmicas de tipo cuantitativas relacionadas entre señales potenciométricas y la concentración de los compuestos químicos que dan la atribución sensorial positivo y negativo para el aceite y pasta de aceituna	(Marx et al., 2021)
<b>Lengua potenciométrica Astree-Alpha MOS</b>	Néctar de arándano	<b>Por puntaje bajos:</b> (sabor, olor, aroma y color)	La interacción que tuvo los compuestos en la muestra y la parte reversible de los sensores generó un potencial entre las membranas que miden los sensores y el electrodo,	(Režek Jambrak et al., 2017)

			teniendo alta correlación con los atributos sensoriales específicos logrando la predicción de estos, lo cual los que son similares tienen correlación positiva mientras que los diferentes tienen correlación negativa. Sin embargo, en este estudio la diferencia de detección también se explica por la dependencia de varios azúcares presentes como fructosa.
<b>Lengua Astree I-Alpha MOS</b>	Albaricoques	<b>Sabores detectados:</b> (agrio, salado, amargo, sabroso y dulce)	La sensibilidad cruzada y la selectividad que tienen esos sensores ayudan a la detección considerando que debe ser una matriz líquida dando la percepción global del sabor (Tian et al., 2013)
<b>Lengua potenciométrica</b>	Fruto del olivo	<b>Sabores básicos:</b> Acido: ácido cítrico Amargo: cafeína Salado: cloruro de sodio Dulce acuoso: sacarosa	En este estudio dio señales satisfactorias mediante soluciones estándar de sabor imitando cada tipo de sabor básico agregado siendo una herramienta de sensores de sabor útil para el análisis de este fruto con respecto a diferentes compuestos polares responsables del sabor del producto final de este alimento. (Rodríguez et al., 2019)
<b>Nariz electrónica</b>	Ajo	<b>Basado en sensores de aroma por métodos diferentes:</b> Lecho liofilizado Liofilización atmosférica Secado al vacío	Las respuestas que brindaron los sensores dependieron solo de la concentración de las moléculas encargadas del olor, dado que los perfiles de aroma fueron diferentes (Makarichian et al., 2021)

		Periodos de Prealmacenamiento	pero las muestras secas si pudo ser analizado por el dispositivo
<b>Nariz electrónica</b>	Granos de café	<b>Parámetros:</b> Mediana de defectos Afrutado mediano	Hubo diferencias en cuanto a las características sensoriales de las distintas aceitunas lo que indica que la incorporación de la nariz es útil para detectar defectos antes de que el producto final sea procesado y tener una clasificación en función de la calidad del producto que se vaya a producir. (Martínez Gila et al., 2020)
<b>Lengua Astree II- Alpha MOS</b>	Hierbas medicinales	<b>Sabores específicos:</b> Salado, umami y agrio	La respuesta que tuvo el sensor hacia este tipo de plantas fue destacable para estudios con diferentes tipos de agua, es así como este dispositivo es útil para la clasificación del sabor de las plantas con elección en estándares y concentraciones de muestras importantes. (Kumar et al., 2021)

**Fuente:** (Faconda, 2022)



Por consiguiente más allá de todas las técnicas empleadas en los distintos estudios, estos dispositivos (nariz y lengua electrónica ) han permitido la obtención de análisis con rapidez, eficiencia y veracidad en cuanto a resultados de análisis sensorial de la materia prima de algún producto o de la calidad que deben cumplir, mediante el desarrollo de las distintas clases de sensores químicos mediante determinación ya sea cualitativa o cuantitativa de los compuestos bioactivos y volátiles encontrando relación con la calidad sensorial del producto alimenticio (**Zahirifar et al., 2019**).

## **CAPÍTULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- El uso de sensores como aplicación al análisis sensorial en frutas, vegetales y plantas medicinales ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas a nivel de laboratorio, de manera que se ha basado en equipos electrónicos considerando las tres partes fundamentales como: series, receptores y transductores para establecer la interacción de los compuestos y propiedades que tienen este tipo de alimentos, pues en definitiva los métodos de sensores electroquímicos tiene gran estabilidad, detección, sensibilidad y buena medición en relación a frutas y vegetales logrando discriminar e identificar las muestras en estudio.

- Los sensores electroquímicos más usados dentro del sector agroindustrial fueron la lengua electrónica de tipo potenciométrico con sensores MOS (semiconductores de óxido de metal) y sensores de sabor permitiendo que las evaluaciones sean cuantitativas y cualitativas sobre las sensaciones gustativas que se experimentaron, debido a que estas lenguas son más sencillas en cuanto al rendimiento y eficiencia que presentaron una vez finalizados los estudios, por otro lado, dentro de los sensores más usados esta la nariz electrónica de tipo FOX 4000 y PEN3 con estudios en frutas y plantas como: durazno, aceituna, banano, residuos de té, parte floral del durazno y té dulce instantáneo respectivamente, de igual forma usando sensores tipo MOS y lo más sencillos de óxido de metal que van generalmente entre 10 a 14 dentro de una matriz teniendo una detección rápida, sin embargo, en la mayoría de los estudios realizados se trabajaron con este dispositivo otras técnicas entre las más conocidas fueron cromatografía de gases y espectrometría de masas logrando ampliar las aplicaciones en cuanto a la determinación de las propiedades relacionadas con la calidad de frutas, vegetales y plantas medicinales.
- La capacidad que la nariz y lengua electrónica ofrecen al apoyo en el análisis sensorial de frutas, vegetales y ciertas plantas medicinales se basan en el uso de sensores semiconductores de óxido metálico permitiendo el estudio de compuestos volátiles de una matriz original y el uso de voltamperometría en conjunto con sensores electroquímicos no específicos que responden a muestras de compuestos químicos de tipo líquido en lugar de uno solo en particular respectivamente; teniendo un desempeño mayor en frutas y verduras con estudios preliminares donde ayudan al soporte de las características organolépticas que estos alimentos poseen logrando ser de ayuda a paneles de expertos en cuanto al análisis de las características organolépticas evitando saturar los sentidos del humano y que sea de mayor precisión al obtener alimentos de mejor calidad.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de sensores para el análisis no solo sensorial sino también fisicoquímico para diferentes tipos de alimentos, puesto que actualmente se considera una herramienta rápida y de ayuda para paneles de expertos dando resultados más confiables, considerando que las sensaciones gustativas biológicas pueden llegar a saturarse y necesitan de mucho entrenamiento.
- Se sugiere que se desarrolle y se amplie mejor el conocimiento acerca del origen que tienen estos dispositivos electrónicos y la facilidad que hoy en día pueden ser instalados con fundamentos basados en química y análisis instrumental, logrando un mejor desempeño a futuras investigaciones para que en el sector agroindustrial y en empresas de cualquier tipo de tecnología alimentaria puedan ser usados brindando una calidad segura del producto.
- Se recomienda considerar las desventajas que los sensores electroquímicos poseen, puesto que a pesar de la facilidad que puede brindar a los análisis, en la mayoría se utiliza altas temperaturas lo que ocasionaría desestabilidad en algunos alimentos sensibles a este parámetro al igual que la humedad y otros factores que deberán tomarse en cuenta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Arias, D. (2019). *Caracterización fisicoquímica y sensorial de nabiza y grelo (Brassica rapa L.)* [Tesis Doctoral]. Universidad Santiago de Compostela.
- Baldeón, E. (2015). *Desarrollo de la técnica de lengua electrónica voltamétrica para la determinación de la capacidad antioxidante total de extractos de plantas y frutas peruanas* [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Brezmes, J., & Llobet, E. (2016). Electronic Noses for Monitoring the Quality of Fruit. In *Electronic Noses and Tongues in Food Science* (pp. 49–58). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00006-8>
- Cayllahue, R. (2020). *Estudio de la nariz electrónica en la industria alimentaria* [Tesis de grado]. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones.
- Chen, H., Zhang, M., & Guo, Z. (2019). Discrimination of fresh-cut broccoli freshness by volatiles using electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, *148*, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.019>
- Chen, H.-Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2018). Evaluation of the freshness of fresh-cut green bell pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*) using electronic nose. *LWT*, *87*, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.052>
- Custodio, A., Bragós, R., & Pallás Ramón. (1999, December). Sensores inteligentes: Una historia con futuro. *UPE*, 2–3.
- Diezma, B., & Correa, E. (2015). Biosensors and Advanced Optical and Vision Systems to Quality Evaluation of Ready-to-eat Products. *Agrociencia Uruguay*, *22*(1). <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.1.2>
- Dong, W., Hu, R., Long, Y., Li, H., Zhang, Y., Zhu, K., & Chu, Z. (2019). Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, *272*, 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.068>

- Dou, T.-X., Shi, J.-F., Li, Y., Bi, F.-C., Gao, H.-J., Hu, C.-H., Li, C.-Y., Yang, Q.-S., Deng, G.-M., Sheng, O., He, W.-D., Yi, G.-J., & Dong, T. (2020). Influence of harvest season on volatile aroma constituents of two banana cultivars by electronic nose and HS-SPME coupled with GC-MS. *Scientia Horticulturae*, *265*, 109214. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109214>
- Feng, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2018). A novel method using MOS electronic nose and ELM for predicting postharvest quality of cherry tomato fruit treated with high pressure argon. *Computers and Electronics in Agriculture*, *154*, 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.032>
- Galeano, L., & Rodríguez, M. (2020). *Aplicaciones de narices electrónicas en la industria frutícola* [Tesis de pregrado]. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Gudiño, A., Jalomo, J., & Ochoa, R. (2021). Diseño de una nariz electrónica con redes neuronales artificiales para determinar la maduración de frutos. *Revista de Difusión Científica, Ingeniería y Tecnologías*, *15*(3), 65–76.
- Guilherme, R., Rodrigues, N., Marx, Í. M. G., Dias, L. G., Veloso, A. C. A., Ramos, A. C., Peres, A. M., & Pereira, J. A. (2020). Sweet peppers discrimination according to agronomic production mode and maturation stage using a chemical-sensory approach and an electronic tongue. *Microchemical Journal*, *157*, 105034. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105034>
- Huang, L., Meng, L., Zhu, N., & Wu, D. (2017). A primary study on forecasting the days before decay of peach fruit using near-infrared spectroscopy and electronic nose techniques. *Postharvest Biology and Technology*, *133*, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.07.014>
- INCAP. (2020, March 3). *Análisis Sensorial para control de calidad de los alimentos*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
- Jiménez, C., Muñoz, F., Brato, A., & Domínguez, C. (2022, October 30). Lenguas electrónicas: sensores químicos aplicados a la medida del sabor y al control de calidad de los alimentos. *Instituto de Microelectrónica de Barcelona*.

- Kantor, D. B., Hitka, G., Fekete, A., & Balla, C. (2008). Electronic tongue for sensing taste changes with apricots during storage. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *131*(1), 43–47. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.003>
- Kumar, D., Singh, A., & Jayasundar, R. (2021). Challenges in using Electronic tongue to study rasa of plants: II. Impact of solvent and concentration on sensor response and taste ranking. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, *12*(2), 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2020.12.010>
- Kumar, S., & Ghosh, A. (2020). A Feature Extraction Method Using Linear Model Identification of Voltammetric Electronic Tongue. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *69*(11). <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2994604>
- Lewis, S. (2015). Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches. *Health Promotion Practice*, *16*(4), 473–475.
- Liu, H.-Y., Liu, Y., Li, M.-Y., Mai, Y.-H., Guo, H., Wadood, S. A., Raza, A., Wang, Y., Zhang, J.-Y., Li, H.-B., & Gan, R.-Y. (2022). The chemical, sensory, and volatile characteristics of instant sweet tea (*Lithocarpus litseifolius* [Hance] Chun) using electronic nose and GC-MS-based metabolomics analysis. *LWT*, *163*, 113518. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113518>
- López, C., & Rodríguez, J. L. (2016). Regeneración óptima de los alimentos. In C. Lara (Ed.), *Parainfo* (Primera, pp. 53–54).
- Makarichian, A., Amiri Chayjan, R., Ahmadi, E., & Mohtasebi, S. S. (2021). Assessment the influence of different drying methods and pre-storage periods on garlic (*Allium Sativum* L.) aroma using electronic nose. *Food and Bioproducts Processing*, *127*, 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.016>
- Martínez Gila, D. M., Gámez García, J., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Gómez Ortega, J. (2020). Fast tool based on electronic nose to predict olive fruit quality after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, *160*, 111058. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111058>

- Martínez, J. (2016). *Lengua electrónica como instrumento catador de cafés especiales* [Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible]. 3er Congreso Internacional AmITIC .
- Martín-Vertedor, D., Rodrigues, N., Marx, Í. M. G., Veloso, A. C. A., Peres, A. M., & Pereira, J. A. (2020). Impact of thermal sterilization on the physicochemical-sensory characteristics of Californian-style black olives and its assessment using an electronic tongue. *Food Control*, *117*, 107369. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107369>
- Moreno - Barón, L. (2016). *Avances en Lenguas Electrónicas Voltamperométricas y su aplicación en la multideterminación de compuestos presentes en muestras complejas* [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Moreno, I., Caballero, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009). La Nariz Electrónica: Estado del Arte. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, *6*(3), 76–91.
- Peñarrubia, J. (2020). *Diseño de una nariz electrónica para el control de calidad de frutas y alimentos* [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Pérez, A. (2020). *Desarrollo y aplicación de sensores y biosensores electroquímicos para la determinación de contaminantes medioambientales y agroalimentarios* [Tesis Doctoral]. Universidad de Burgos.
- Planelles, P. (2016). *Inclusión de personas con discapacidad física* [Trabajo de fin de grado]. Universidad Miguel Hernández.
- Quicazán, M., Díaz, A., & Zuluaga, C. (2011). La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria. *VITAE*, *18*(2), 209–217.
- Režek Jambrak, A., Šimunek, M., Zeko, A., Herceg, Z., & Vukušić, T. (2017). Antioxidant, quality and electronic tongue sensory parameters of thermosonicated

- blueberry nectar. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 202–211.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.015>
- Sanaeifar, A., Li, X., He, Y., Huang, Z., & Zhan, Z. (2021a). A data fusion approach on confocal Raman microspectroscopy and electronic nose for quantitative evaluation of pesticide residue in tea. *Biosystems Engineering*, 210, 206–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.08.016>
- Sanaeifar, A., Li, X., He, Y., Huang, Z., & Zhan, Z. (2021b). A data fusion approach on confocal Raman microspectroscopy and electronic nose for quantitative evaluation of pesticide residue in tea. *Biosystems Engineering*, 210, 206–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.08.016>
- Santos, D. M., Cardoso, R. M., Migliorini, F. L., Facure, M. H. M., Mercante, L. A., Mattoso, L. H. C., & Correa, D. S. (2022). Advances in 3D printed sensors for food analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 154, 116672.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116672>
- Severiano - Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Interdisciplina*, 7(19), 47–68. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-57052019000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-57052019000300004&script=sci_arttext)
- Silva-Carrillo, C., Félix-Navarro, R. M., Pérez Sicaños, S., Trujillo-Navarrete, B., Paraguay-Delgado, F., Lin-Ho, S. W., & Reynoso-Soto, E. A. (2020). Electrokinetic Carbohydrates Sensor by Streaming Potential with 3MPBA-PtNPs-CNTs Composite Material. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(4), 046516.  
<https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab788c>
- Śliwińska, M., Wiśniewska, P., Dymerski, T., Wardencki, W., & Namieśnik, J. (2021). Advances in Electronic Noses and Tongues for Food Authenticity Testing. In *Advances in Food Authenticity Testing* (pp. 201–225). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100220-9.00008-4>



- Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.06.003>
- Tian, X., Wang, J., & Zhang, X. (2013). Discrimination of preserved licorice apricot using electronic tongue. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3–4), 743–751. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.12.034>
- Vahdatiyekta, P., Zniber, M., Bobacka, J., & Huynh, T.-P. (2022). A review on conjugated polymer-based electronic tongues. *Analytica Chimica Acta*, 340114. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340114>
- Vallejo, J. (2022). *El aporte de la agroecología a la Seguridad Alimentaria a partir del año 2015 en el Ecuador* [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato.
- Vargas, J., & Flórez, A. (2020). *Desarrollo de Nariz Electrónica para la calidad en los procesos cítricos de transformación del cacao* [EXPOTECH]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Xiao, Z., Jiang, X., & Niu, Y. (2022). Study on the interaction of sweet protein (thaumatin) with key aroma compounds in passion fruit juice using electronic nose, ultraviolet spectrum, thermodynamics, and molecular docking. *LWT*, 162, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113463>
- Yan, J., Zhang, M., Peng, B., Su, Z., Xu, Z., Cai, Z., Yang, J., Ma, R., Yu, M., & Shen, Z. (2021). Predicting chilling requirement of peach floral buds using electronic nose. *Scientia Horticulturae*, 290, 110517. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110517>
- Yang, Y., Zhu, H., Chen, J., Xie, J., Shen, S., Deng, Y., Zhu, J., Yuan, H., & Jiang, Y. (2022). Characterization of the key aroma compounds in black teas with different aroma types by using gas chromatography electronic nose, gas chromatography-ion mobility spectrometry, and odor activity value analysis. *LWT*, 163, 113492. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113492>

- zahirifar, F., Rahimnejad, M., Abdulkareem, R. A., & Najafpour, G. (2019). Determination of Diazinon in fruit samples using electrochemical sensor based on carbon nanotubes modified carbon paste electrode. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101245>
- Zhu, D., Ren, X., Wei, L., Cao, X., Ge, Y., Liu, H., & Li, J. (2020). Collaborative analysis on difference of apple fruits flavour using electronic nose and electronic tongue. *Scientia Horticulturae*, 260, 108879. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108879>
- Zohora, S. E., Khan, A. M., & Hundewale, N. (2013). Chemical Sensors Employed in Electronic Noses: A Review. *Research Gate*, 177–184. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-31600-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31600-5_18)