



**Asignatura**

Opción de grado

**Tema**

Aplicaciones de narices electrónicas en la industria frutícola

**Presenta**

Laura Jimena Galeano Diaz

ID. 451688

Marcela Lizeth Rodríguez Cadena

ID. 160336

**Docente**

William Javier Cuervo Bejarano

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Palabras clave:</b> detección de olores, toma de datos, análisis, compuestos volátiles, sensores, huella digital. ....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>Key words:</b> odor detection, data collection, analysis, volatile compounds, sensors, fingerprint. ....	4
<b>Glosario</b> .....	5
<b>Introducción</b> .....	6
<b>Estado del arte</b> .....	7
<b>Comparación del sistema olfativo humano con el sistema electrónico</b> .....	7
<b>Aplicaciones de las NE</b> .....	8
<b>Tipos de sensores</b> .....	9
<b>Procesamiento de señales y reconocimiento de patrones</b> .....	10
<b>Redes neuronales artificiales (ANN) en la clasificación de olores</b> .....	14
<b>Conclusiones</b> .....	18
<b>Literatura citada</b> .....	19

## **Resumen**

El aroma de los alimentos se analiza principalmente para determinar su calidad, usando diferentes técnicas sensoriales y cromatográficas con el fin de cuantificar la fracción volátil que lo compone, lo que permite crear una huella específica para cada tipo de alimento. No obstante, al proceso de cada técnica le falta rapidez analítica, en este caso surgieron las narices electrónicas o NE que si poseen ésta característica, lo que me permite identificar y clasificar alimentos en función de su similitud aromática, destacándose como usos principales: la detección y clasificación de olores ya sea en exposición de sustancias tóxicas, la confiabilidad y precisión en la toma de datos, además, realiza el análisis de las muestras en tiempo real, es de fácil transporte, entre otras. En este caso se habla de NE usadas en frutas, su funcionamiento inicia cuando se estimula por compuestos volátiles, esta cuenta con un arreglo de sensores electroquímicos que crean una huella digital del alimento y luego se analizan los datos obtenidos por medio de métodos estadísticos, esto logra realizar un control de calidad, al igual que una caracterización y una clasificación por estado de madurez. El siguiente artículo hace una revisión bibliográfica acerca de la historia, desarrollo y funcionamiento de las narices electrónicas (NE) en general y para determinar los grados de madurez de las frutas, revisando conceptos relacionados con el olfato y la biomimesis, además nombra los principales campos en donde se han aplicado los sistemas de olfato electrónico.

**Palabras clave:** detección de olores, toma de datos, análisis, compuestos volátiles, sensores, huella digital.

## **Abstract**

The aroma of food is analyzed mainly to determine its quality, using different sensory and chromatographic techniques in order to quantify the volatile fraction of a food, which allows to create a specific footprint for each type of food. However, the process of each technique lacks analytical speed, in this case the electronic noses or NE arose that if they have this characteristic, which allows me to identify and classify foods according to their aromatic similarity, highlighting as main uses: the detection and classification of odors either in exposure of toxic substances, reliability and accuracy in data collection, in addition, performs the analysis of samples in real time, it is easy to transport, among others. In this case we talk about NE used in fruits, its operation starts when it is stimulated by volatile compounds, it has an array of electrochemical sensors that create a fingerprint of the food and then the data obtained through statistical methods is analyzed, this It manages to perform a quality control, as well as a characterization and classification by state of maturity. The following article makes a bibliographic review about the history, development and functioning of electronic noses (NE) in general and to determine the degrees of ripeness of fruits, reviewing concepts related to smell and biomimesis, also names the main fields where electronic smell systems have been applied.

**Key words:** odor detection, data collection, analysis, volatile compounds, sensors, fingerprint.

## Glosario

**Algoritmo:** conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer cálculos para hallar respuestas a alguna variable. Parten de un conjunto de datos ordenados con una estructura de  $n$  filas por  $n$  columnas, donde se supone que se realizaron  $x$  tratamientos y se han descrito  $x$  variables, donde cada fila corresponde a una descripción del experimento y cada columna a una variable concreta (Kleinberg *et al.*, 2010)

**Análisis multivariante:** es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta datos que resulten de observar un número menor a 1 de variables estadísticas sobre una muestra de  $n$  individuos (Cuadras, 2004).

**Análisis sensorial:** es una herramienta utilizada para determinar qué calidad tiene una fruta desde el punto de vista organoléptico, que presenta el gusto y el sabor, atributos valorados por el consumidor (Echeverría *et al.*, 2008).

**Biomimesis:** imitar a la naturaleza a la hora de construir los sistemas productivos humanos, con el fin de hacerlos compatibles con la biosfera (Riechmann *et al.*, 2002)

**Calidad:** Es referente al atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. De esta forma el objeto es superior a otro por uno o varios atributos apreciados objetiva o subjetivamente (López, 2003).

**Compuesto orgánico volátil:** es toda sustancia excepto el metano que contenga átomos de carbono e hidrógeno (que pueden estar sustituidos por otros átomos como halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno, fósforo, con excepción de los óxidos de carbono y los carbonatos). Dichos compuestos se hallarán en estado gaseoso o de vapor, en condiciones normales de presión y de temperatura (Jiménez, 2006).

**Cromatografía de gases:** esta técnica se basa en la separación de una mezcla por medio de sus componentes con el fin de que atraviesen la fase estacionaria por medio del flujo de la fase móvil, a su vez la fase estacionaria quiere ralentizar el paso de los componentes. Cuando los compuestos de la mezcla traspasa por el sistema, estos son separados según su afinidad con la fase estacionaria (Parrales *et al.*, 2012).

**Nutracéutico:** es cualquier ingrediente de los alimentos que realiza acción benéfica en la salud de quienes lo ingieren (Guzmán *et al.*, 2009).

**Quimiometría:** disciplina que aplica métodos matemáticos y estadísticos para el diseño de experimentos de medición con el fin de evaluar los datos químico-analíticos (Miller *et al.*, 2002).

## Introducción

La agricultura en Colombia destaca en consolidar los retos del sector frutícola en una oferta estable, continua y de alta calidad, el cual atiende las necesidades del consumidor final y de la industria (Ordoñez *et al.*, 2009). En respuesta a las exigencias del mercado, a través de la imposición de lineamientos en términos de calidad de los productos alimenticios, la calidad de las frutas integra rasgos, características y propiedades que hacen que estas sean calificadas como superiores o inferiores (Llamazares *et al.*, 2001). Dependiendo de la oferta y la demanda existen cuatro criterios fundamentales para la calidad de los alimentos: la calidad comercial (normalización y establecimiento de categorías extra, primera, segunda); la calidad sanitaria o microbiológica (límites máximos de residuos); la calidad nutricional (contenido en nutrientes) y la calidad sensorial u organoléptica (color, sabor, aroma, textura, firmeza) (Orfali, 2007).

De acuerdo con los estándares de calidad, los productos alimenticios deben cumplir con normas técnicas (NTC 5975 o NTC 1291) para poder ser comercializados y consumidos con el fin de no poner en riesgo la salud del consumidor. Como consecuencia, se han implementado e integrado diferentes técnicas en cada una de las etapas de la cadena productiva, desde la producción, la poscosecha, el almacenamiento, el procesamiento industrial y la distribución, hasta llegar al consumo final. Cada técnica es diferente dependiendo del producto alimenticio y de lo que se quiere evaluar, el objetivo de estas es hacer posible el control de la calidad e incluso calcular el tiempo de vida útil de dichos productos. Existen técnicas destructivas y no destructivas para determinar la calidad organoléptica de las frutas, las destructivas como refractómetros y penetrómetros; las no destructivas como análisis hiperespectral, rayos x basados en imágenes, visión artificial y narices electrónicas.

Las narices electrónicas (NE) son técnicas de análisis que determinan, reconocen e identifican patrones de sustancias químicas volátiles (aroma) que son únicos en cada tipo de alimento, su principal ventaja es que son técnicas no destructivas y muy eficientes las cuales han incrementado su uso en los últimos años debido a su importancia y confiabilidad dentro de la industria agroalimentaria e incluso en otros campos de acción. Las NE tienen ventajas técnicas y económicas frente a otros métodos para la determinación del aroma como la cromatografía de gases o el análisis sensorial (López *et al.*, 2017). Los datos adquiridos por las NE son confiables y obtenidos en tiempo real cercano, otra de las ventajas que las hace tan importantes en diferentes industrias comerciales como la agroalimentaria, la seguridad nacional, protección ambiental, diagnósticos biomédicos, investigaciones y desarrollo de productos (Wilson *et al.*, 2009).

El modelo de NE se remonta entre las décadas de 1960 a 1980, en donde Europa y Asia fueron perfeccionando tecnologías con matrices de sensores olfativos (Gutiérrez *et al.*, 2001). Luego de varias investigaciones y trabajos surge el concepto de NE como un sistema inteligente que asimila un grupo de sensores químicos acompañado por un sistema de reconocimiento de patrones que comprende el análisis de aromas simples y complejos (Gardner *et al.*, 2000). Los sistemas de olfato electrónico son fundamentados por la biomimesis, estos recrean la función de la nariz humana al momento de percibir olores (Quicazán *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo es describir el papel de las narices electrónicas en el campo agroalimentario para identificar las ventajas y desventajas del uso de éstas en la producción frutícola (Moreno *et al.*, 2009).

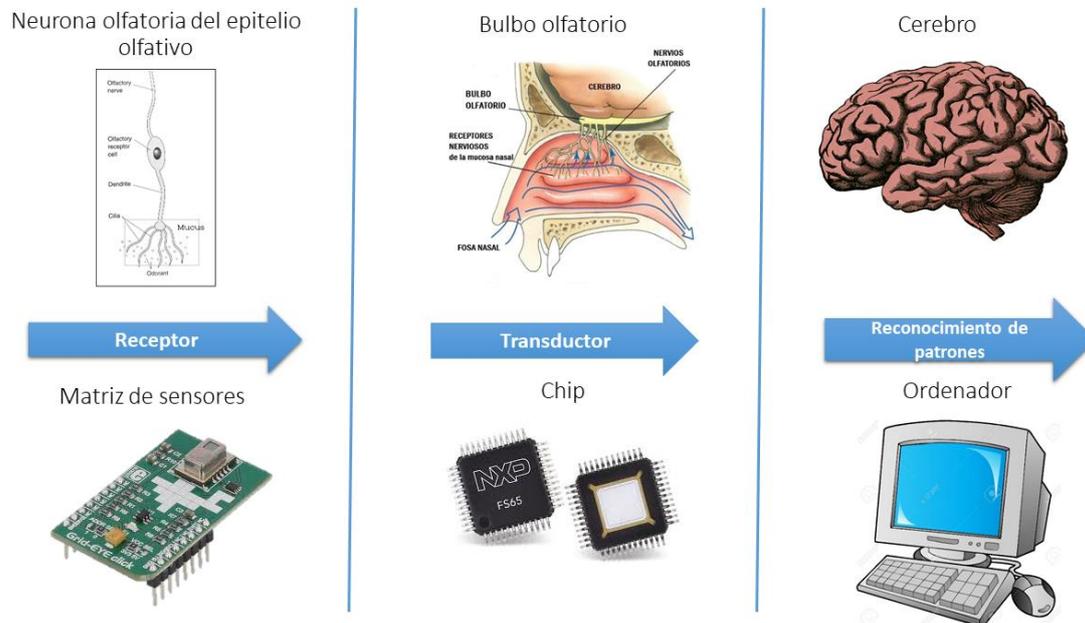
### **Estado del arte**

Las NE son técnicas biomiméticas basadas en el sistema olfativo humano y están constituidas por componentes de olfato, de acumulación de señal y de evaluación. Su funcionamiento es práctico y consiste en obtener señales de olor a través de sensores que procesan la muestra para que esta pueda ser analizada por medio de técnicas de reconocimiento de patrones. Las narices electrónicas tienen diversos usos (Zhao *et al.*, 2012), éstos modelos se usan en la agroindustria principalmente para la determinación de la calidad de abonos orgánicos, la detección de la adulteración y la falsificación de los productos, la predicción de la acidez y la solubilidad de sólidos, la detección de descomposición durante el almacenamiento de productos, la determinación de la vida útil de productos hortofrutícolas, la evaluación de los índices de madurez de las frutas la evaluación de bebidas alcohólicas, la supervisión de operaciones básicas en industria agroalimentaria (Correa *et al.*, 2015), el análisis del posible deterioro de productos alimenticios y la caracterización de ingredientes (Chavarrias, 2010).

### **Comparación del sistema olfativo humano con el sistema electrónico**

El sentido del olfato inspiró a los científicos a crear un dispositivo electrónico que combina una serie de sensores químicos de selección y un motor de reconocimiento de patrones para reconocer olores (Raman *et al.*, 2005). Sin embargo, para realizar un modelo de sistemas de olfato electrónico para la discriminación de olores, es necesario utilizar el enfoque de la nariz humana; pero esto no es sencillo, ya que deben comprenderse tres enfoques básicos: el código olfativo, el conocimiento limitado del sistema biológico y la sensibilidad de la nariz humana (Pelosi *et al.*, 2018). Mientras que la nariz humana está compuesta por cerca de 40 millones de células receptoras olfativas, en las narices electrónicas sólo se encuentran entre

4 y 32 sensores (Paredes *et al.*, 2016). Las células receptoras son reemplazadas por sensores electroquímicos en donde las moléculas del olor son adsorbidas y se convierten en una señal eléctrica de voltaje, y, por medio de la codificación neuronal, se reconoce el olor enfatizando en el reconocimiento de patrones.



**Figura 1.** Sistema olfativo electrónico en comparación con sistema olfativo humano. Adaptado de: Fuentes *et al.* (2011).

### Aplicaciones de las NE

Las NE no solo se encuentran presentes en la determinación de calidad de productos agroindustriales, también se usan en campos como la medicina y la seguridad nacional, además, son muy frecuentes en el sector ambiental donde los principales usos son la capacidad de detectar, percibir o monitorear la calidad del agua y determinar la mezcla de gases en la atmósfera (Capelli *et al.*, 2014). Las NE también son usadas para determinar la calidad de abonos agrícolas al relacionar los procesos biológicos y químicos que ocurren en el material orgánico con el olor que este produce para conocer el punto exacto de este para aplicarlo a las plantas evitando su toxicidad (López *et al.*, 2015).

En la agricultura, el aroma de los alimentos ha sido analizado tradicionalmente por medio de análisis sensoriales o técnicas cromatográficas como la espectrometría de masas o la ionización de llama y por medio de estas técnicas se han podido conocer los componentes que constituyen las fracciones volátiles de cada alimento. De igual manera, se han integrado

otras técnicas como la detección con olfatometría que han complementado otros métodos al cuantificar los componentes volátiles, además, de identificar aromas en los alimentos (Busto, 2010). La invención de diversos tipos tecnológicos como las NE son basados en diferentes principios y mecanismos de detección electrónica de aroma (EAD), estos se dividen en dos grupos: los que son utilizados para el desarrollo comercial y los que son utilizados para el desarrollo industrial (Wilson *et al.*, 2009), lo que ha tenido diferentes aplicaciones en la agricultura, como la aplicación de la NE para determinar la calidad de los productos agrícolas y su aplicación en el análisis de diferentes mermeladas (Zhao *et al.*, 2012), la detección de podredumbre en el almacenamiento de papa, al igual que sus posibles aplicaciones para el diagnóstico de enfermedades y plagas de las plantas, entre otras aplicaciones que contribuyen al desarrollo de la agricultura (Schaller *et al.*, 1997).

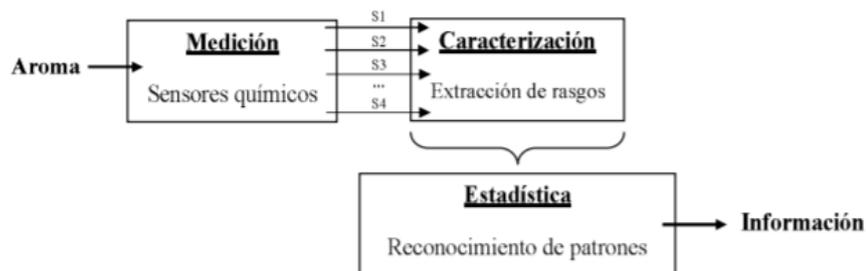
### **Tipos de sensores**

Son pequeños dispositivos fabricados con sensibilidad química para detección de compuestos volátiles (Moreno, 2016). Los sensores más utilizados según Holinski y Walt (2010) son: sensores de onda acústica, sensores electroquímicos y sensores de gas amperométricos. Los sensores de onda acústica tienen la capacidad proveniente de cristales anisotrópicos (los cuales tienen dos índices de refracción de la luz en función de vibración, entre ellos el cuarzo y la calcita) para generar dipolos eléctricos, de esta manera cambia la masa por la absorción del gas al provocar un cambio de la frecuencia a la exposición del vapor (Zohora *et al.*, 2013). Los sensores ópticos son un conjunto de dispositivos de fibra óptica que se enfoca en la identificación de olores por medio de los lados o las puntas de la fibra óptica (2 mm de diámetro) y se encuentran recubiertas con un tinte fluorescente encapsulado en un polímero (Sujata *et al.*, 2012). Por último se encuentra los sensores de gas amperométricos, se basan en el cambio de la conductancia del óxido en la interacción con un gas y el cambio suele ser proporcional a la concentración del gas; hay dos tipos de sensores de óxido de metal de tipo n (óxido de zinc, dióxido de estaño, dióxido de titanio u óxido de hierro (III)) que responden a gases reductores y tipo p (óxido de níquel, óxido de cobalto) que responden a gases oxidantes (García y Aparicio, 2002). El sensor tipo n funciona cuando el oxígeno en el aire reacciona con la superficie del sensor y atrapa los electrones libres en la superficie o en los límites de grano de los granos de óxido (Wojnowski *et al.*, 2017).

## Procesamiento de señales y reconocimiento de patrones

La industria alimenticia tiene varios campos que usan NE, especialmente la frutícola, donde uno de los mayores usos es para la determinación del grado de madurez de una forma rápida y confiable, que busca ofrecer un producto de excelente calidad y presentación al consumidor dependiendo de las exigencias en el mercado (Mena, 2010).

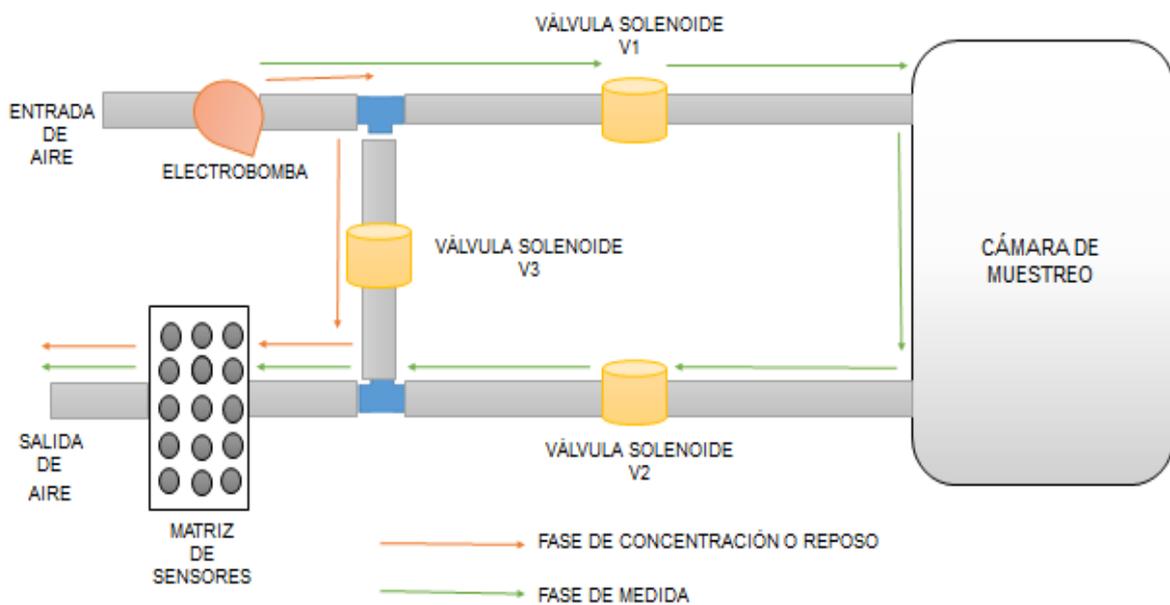
Las NE están conformadas por una serie de sensores de gas que interactúan con una amplia gama de productos químicos (Sayeed *et al.*, 2011). El software se encuentra constituido por un algoritmo de extracción de características que procesa las salidas del sensor, extrae y selecciona información útil y reconoce patrones (Yan *et al.*, 2015). Los sistemas de olfato electrónico toman la muestra y convierten los olores en datos matemáticos, esas cifras pasan a un ordenador que analiza la información obtenida a través de los sensores químicos, para obtener una respuesta deseada se debe añadir un software de análisis multivariante que funciona por medio del ordenador el cual minimiza los ruidos generados por el sensor (Brezmes *et al.*, 2001). El procesamiento de señales y el reconocimiento de patrones en las NE se realiza a través de la quimiometría utilizando métodos estadísticos como regresiones y análisis multivariados, cumpliendo con tres principios: ningún dato es redundante, se debe evitar a toda costa el ruido y es la encargada de buscar las variables ocultas (Otto *et al.*, 2016; Zuriarrain, 2010).



**Figura 2.** Componentes del sistema de NE (Thuen *et al.*, 2003)

Las NE están constituidas por el componente olfativo, el componente de acumulación de señal y el componente de evaluación (Figura 3). El componente olfativo está compuesto por un conductor de olor, el cual se constituye por una bomba de aire con un tubo de acumulación que concentra el olor. El componente de acumulación de señal convierte la señal del sensor y gestiona las señales además de reducir el ruido. Después de esto, las señales se convierten de forma analógica a digital a través de un convertidor A/D. Por último, el componente de evaluación es el encargado de analizar las señales recibidas y las compara con la base de datos existente, que puede usar un sistema nervioso artificial para distinguir los olores

(Nimsuk *et al.*, 2016). Su funcionamiento es simple (Hodgins y Simmonds, 1995) y requiere introducir información de la muestra a analizar como: 1) el número de identificación de la prueba, 2) la clase específica del producto de prueba, 3) las manchas que especifiquen cualquier impureza en la muestra, 4) los efectos que describen el resultado de una mancha o cantidad de manchas, 5) los comentarios para la información que el operador desee registrar, 6) el método que define los sensores que se van a utilizar y 7) la duración específica para la clase a muestrear.



**Figura 3.** Elementos que componen la NE. Adaptado de: Durán (2014).

Cuando se obtienen las señales de los sensores de la NE, se implementan técnicas de procesamiento para analizar los datos que luego son interpretados de acuerdo a la aplicación. Para construir modelos confiables de predicción, identificación o clasificación, se deben usar adecuadamente las técnicas de reconocimiento de patrones, que consoliden que las señales obtenidas de los sensores puedan ser analizadas (Gutiérrez, 2011). Existen técnicas como el análisis de componentes principales (PCA) o mínimos cuadrados parciales (PLS) y algoritmos de inteligencia artificial (IA), que son utilizadas para analizar los datos mediante un ordenador programado que controla el proceso a conveniencia (Brezmes *et al.*, 2001). Dependiendo de sus características, los algoritmos usan técnicas multivariantes discriminándolos como algoritmos de clasificación o cuantificación en función de su naturaleza (binaria o analógica); algoritmos lineales o no lineales dependiendo de sus operaciones; algoritmos paramétricos o no paramétricos en función de si se hacen suposiciones iniciales sobre el proceso utilizado (Tabla 1). En algunos trabajos realizados en diferentes países, para determinar el grado de

madurez de algunas frutas usan NE que emplean distintas técnicas con estadística multivariable (Durán *et al.*, 2014).

**Tabla 1.** Técnicas empleadas para determinar los grados de madurez de frutas.

<b>TECNICA</b>	<b>ALGORITMO</b>	<b>PARAMÉTRICA</b>	<b>APLICACIÓN</b>
PCA	Lineal	No	Clasificación
PLS	Lineal	Sí	Cuantificación
Fuzzy Art	Neuronal	No	Clasificación
Fuzzy Artmap	Neuronal	No	Clasificación
Feedforward- Backpropagation ANN	Neuronal	No	Clasificación/Cuantificación

Para la determinación de la madurez de la fruta usando las NE, el tipo de técnica de estadística multivariable que se emplee debe cumplir con dos funciones: en primer lugar debe clasificar las muestras dependiendo del estado de maduración (subjetivamente) (Brezmes *et al.*, 2001) y en segundo lugar, debe estimar por medio de los indicadores de calidad el valor presente en la muestra obtenida a partir de los sensores. Pueden usarse técnicas de cuantificación de redes neuronales *Feedforward* o PLS, las técnicas relacionan las señales obtenidas a partir de los sensores (generadas por los compuestos volátiles del producto a analizar) con condiciones fisicoquímicas en las muestras analizadas de la fruta (Correa *et al.*, 2015). De igual manera, se deben tomar en consideración que las técnicas de reconocimiento de patrones requieren que la extracción de la muestra suministrada por los sensores sea relevante, ya que por medio de esta depende el éxito del análisis de los datos. Deben decidirse los parámetros que se van a extraer de cada sensor para que puedan utilizarse en el reconocimiento de patrones. Todas las variables no aportan información útil, hay algunas que aportan ruido por lo que es necesario escoger cuidadosamente las variables de los diferentes algoritmos que se van a utilizar (Rojo, 2001). Para analizar los datos recolectados

por las NE, se ha empleado el programa MATLAB ® con el fin de extraer las variables de interés.

Las NE arrojan resultados estadísticos de las muestras tomadas acerca del grado de madurez de las frutas, principalmente las climatéricas y gracias a esto se pueden clasificar teniendo en cuenta el análisis del perfil aromático de la fruta, lo que se considera un parámetro de gran importancia en la calidad organoléptica debido a que el aroma está relacionado con las características de sabor, teniendo como ventaja una técnica no destructiva, es decir que no llega a generar daños mecánicos o físicos en el exocarpo de la fruta (Correa, 2003). La maduración de las frutas en general se puede determinar bajo condiciones ambientales o controladas. La concentración de volátiles provoca en los sensores una respuesta que mide el avance del estado de maduración de las muestras, las técnicas de reconocimiento de patrones clasifican la fruta en verde, madura, sobremadura. Existen grandes diferencias entre la clasificación que se da por una NE a una que realiza subjetivamente un operario (Cardozo *et al.*, 2011).

Las respuestas a las señales generadas por los sensores no tienen un estándar para la técnica de reconocimiento de patrones, esto depende del tipo de datos que se tienen y del tipo de resultado que se pretende obtener. Es importante entender los datos que se van a analizar usando las NE y en que unidades deben expresarse. Es necesario entender la relación entre el conjunto de variables independientes (salidas del sensor) con el conjunto de variables dependientes (concentración de componentes y clases de olores), todo esto con el fin de seleccionar un algoritmo que sea apropiado para usarse en el reconocimiento de patrones usando el análisis multivariable (Rubio *et al.*, 2016). Los sensores representan el cambio de algún tipo de parámetro físico en tiempos de respuesta, este valor va cambiando de acuerdo a los estímulos de los compuestos ya que cada tipo de sensor es específico para un tipo de compuesto u olor, donde se genera una matriz de datos de  $m$  filas (número de muestras) por  $n$  columnas (número de sensores), siempre deben buscarse modelos confiables ya sea para la predicción, clasificación o identificación.

Para las mediciones con las NE, las propiedades que más se emplean son conductividades, ppm, potenciales o masas que van cambiando al variar la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) que interactúan con los sensores (Correa, 2003) y donde se emplea la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:**

$$E \left( \frac{ppm}{h} \right) = \frac{e \left( \frac{\mu g}{kg_{fruta}} \cdot h \right) \cdot mkg_{fruta}}{V_{aire}(l) \cdot \delta_{aire} \left( \frac{g}{l} \right)}$$

dónde:

$E$ : Expresa la emisión de volátiles en ppm/h

$e$ : Datos de emisión de compuestos orgánicos volátiles para frutas que se miden en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  fruta por h

$m_{\text{fruta}}$ : Masa de la muestra que se está analizando (kg)

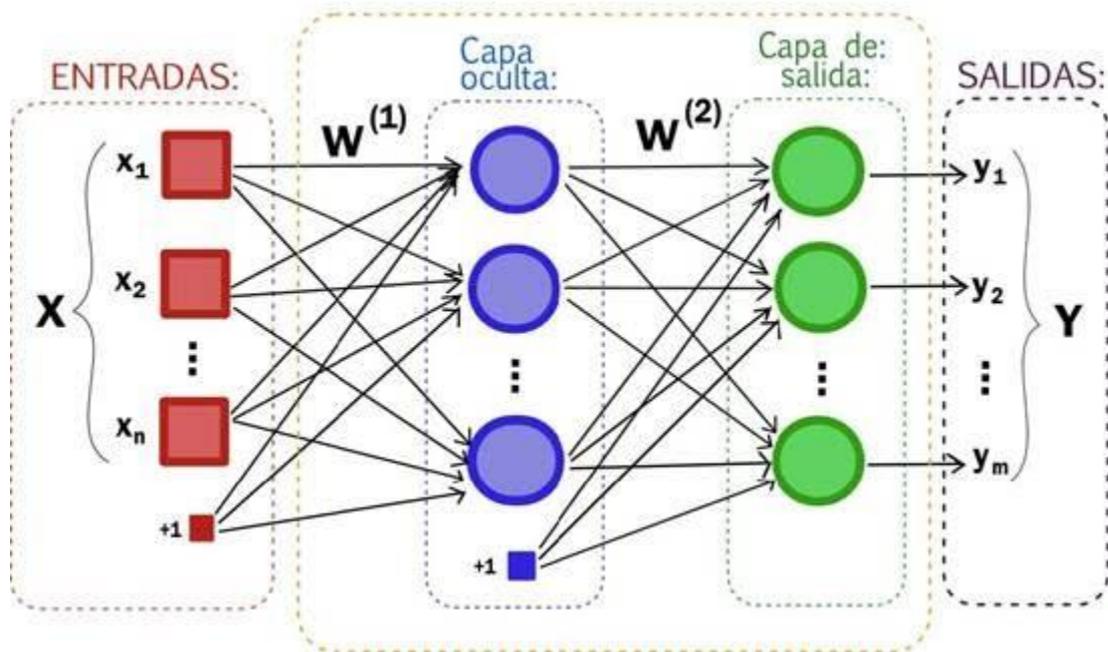
$V_{\text{aire}}$ : Volumen del recipiente

$\delta_{\text{aire}}$ : Densidad del aire

Las técnicas del muestreo son muy importantes además del reconocimiento de patrones ya que estas influyen en la calidad de los resultados. Los componentes volátiles pueden ser conducidos hacia la matriz de sensores por medio de dos métodos: Espacio de cabeza estático (*Static Head Space* o SHS) que consiste en tomar la muestra en un recipiente cerrado donde el muestreo del espacio de cabeza se toma luego de alcanzar el equilibrio entre la matriz del alimento y la fase gaseosa de este; y el espacio de cabeza dinámico (*Dynamic Head Space* o DHS) y el método de purga y trampa (*Purge and Trap* o P&T) en donde los compuestos volátiles se purgan con una corriente de gas inerte y se concentran en un material adsorbente donde debido al calor son desorbidas y transportadas hasta la matriz de sensores. Lo que diferencia las técnicas de DHS y P&T es que en este último el gas inerte pasa a través de la muestra mientras que en el DHS solo el espacio que está libre es purgado con el gas (Gutiérrez, 2011)

### **Redes neuronales artificiales (ANN) en la clasificación de olores**

La importancia de las redes neuronales artificiales (ANN) se basa en que son las estructuras del procesamiento de la información que combinan modelos estadísticos y matemáticos para el reconocimiento de patrones y procesamiento de datos, por medio de la extracción de la información que luego será analizada en tiempo real, es decir que trata una cantidad de datos que contienen una relación matemática no lineal. La etapa de entrenamiento de una red neuronal es la fase inicial para su uso, cuyo objetivo es entrenarla para identificar diferentes características de las muestras. Las ANN están compuestas por un modelo simple regido por una neurona que recibe una entrada de datos de las variables escogidas generando una señal de salida, en el caso de las redes complejas, éstas involucran a varias neuronas conectadas entre sí (Correa, 2003). Deben crearse entonces las matrices de entrada y salida especificando los parámetros que incluyen el número de capas que se usarán para la disminución de los errores y el número de neuronas por capa, por último se selecciona el algoritmo que quiera usarse para el análisis de los datos, estos trascienden por cada capa oculta hasta generar un análisis final (Mendoza *et al.*, 2019).



**Figura 4.** Esquema del funcionamiento de una red neuronal (Mendoza *et al.*, 2019).

La ANN se entrena con el objetivo de asignar un dato de entrada a una clase establecida por medio de la clasificación. Los datos que entran a las neuronas a ser clasificados se asocian con los datos almacenados, por lo que la ANN genera un agrupamiento o clasificación dependiendo de los patrones de reconocimiento de cada dato. La diferencia entre el valor calculado por la ANN y el valor estimado (generado de la huella del COV) debe ser mínima de acuerdo con un valor de significancia establecido, en caso contrario, la ANN devuelve el proceso y empieza de nuevo a analizar los datos para disminuir el ruido y generar nuevamente una salida.

### **Uso de narices electrónicas en la industria agroalimentaria Colombia**

Las NE en Colombia se han implementado desde el año 2006 aproximadamente con los resultados de varios estudios realizados por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) en convenio con el Instituto Italo Americano (LILA), donde alcanzaron los mejores resultados para detectar la adulteración de vinos y para asegurar la calidad de los alimentos, lo que ha contribuido hasta ahora a mejorar los procesos de producción, calidad e higiene de la industria agroalimentaria. Sus estudios se basaron en usar 10 sensores perceptivos a diferentes compuestos volátiles de donde obtuvieron una huella olfativa que caracterizó los diferentes olores y gracias a esto se logró clasificar y monitorear diferentes productos alimenticios. En la industria agroalimentaria, actualmente el objetivo principal de las NE es contribuir con el control de la calidad de los productos alimenticios evaluando sus propiedades organolépticas y microbiológicas., tales como la detección de contaminantes y sabores

desagradables, evaluación de la vida útil, estimación de la frescura y adulteración e incluso en la estandarización de la calidad en todo el proceso de producción de un alimento (Gutiérrez, 2011).

A partir de la aparición de la primera NE en Colombia, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia ha implementado varios proyectos en donde se aplican los sistemas de olfato electrónico principalmente en los rasgos característicos del café. Además, han realizado proyectos de investigación en la catalogación de productos apícolas, por medio de la selección de indicadores fisicoquímicos en donde se identifican características volátiles y no volátiles de la miel, el polen y los propóleos; varias de estas investigaciones han determinado la importancia de la NE como una herramienta útil para la clasificación de productos colombianos (Quicazán *et al.*, 2011).

En el año 2011, el ICTA junto con la Universidad Nacional de Colombia publicaron un trabajo de investigación sobre la evaluación de la calidad de productos lácteos por medio de una NE, en el cual lograron la detección de microorganismos en la leche además de la detección de aromas indeseados, el control de la fermentación de la leche, la estimación del tiempo de vida útil de la leche y varios tipos de queso, además de la clasificación de quesos en función del tiempo de maduración (Gutiérrez, 2011). En el 2016, la Revista Colombiana de Química publicó un artículo sobre la implementación y evaluación de las NE para la detección de alcoholes lineales en donde desarrollaron su propio sistema de olfato electrónico con 4 sensores con muestras de vapor de alcoholes (metanol, etanol, n-butanol y 1-octanol) y usando el método PCA lograron diferenciar cada uno de los alcoholes entre sí por lo que concluyeron que se pudo clasificar cada una de las muestras correctamente. (Paredes *et al.*, 2016). Otro aporte contributivo al uso de NE en Colombia es el del uso de narices electrónicas para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura del Grupo de Investigación en Sistemas Multisensoriales y reconocimiento de patrones de la Universidad de Pamplona donde desarrollaron una NE para monitorear el proceso de maduración de *C. betacea* Sendt y usando 16 sensores y la técnica de PCA lograron clasificar las muestras en tres índices de madurez: verde, maduro y sobremaduro, además compararon los resultados obtenidos con las pruebas fisicoquímicas y sensoriales (acidez, pH, sólidos solubles totales) realizadas por medio de métodos destructivos, donde la NE logró un acierto de 99,8% en la exactitud de resultados (Durán *et al.*, 2014). En el 2017 se construyó una NE en un recipiente hermético que mide los gases del suelo por lo que el sistema ha venido usándose como herramienta de control y manejo de suelos, además, que resultó ser un sistema más económico comparado con el químico (Pineda *et al.*, 2017).

Además del uso en la industria agroalimentaria, las NE son usadas en el campo de la medicina para distinguir cierto tipo de enfermedades en humanos, aunque no se ha implementado tan abiertamente como en el caso de las NE empleadas para evaluar la calidad de los productos alimenticios en el país (Durán *et al.*, 2012) se incluyen también varios usos en la seguridad nacional de los aeropuertos y para fines ambientales que incluyen la evaluación de la contaminación acuática, subterránea y del aire.

## **Conclusiones**

La emisión de volátiles en las frutas se relaciona directamente con sus propiedades organolépticas, aquellas que tienen mayor densidad aromática serán calificadas con calidades óptimas incluyendo obviamente sus demás características como color, tamaño, sabor y firmeza que son evaluadas con otras técnicas, es así como las NE juegan un importante papel en la determinación de la calidad de productos frutícolas determinando si sus niveles de algún tipo de compuesto volátil es adecuado o no, tanto en la precosecha como en la poscosecha. Existen tres elementos principales que son bases fundamentales para las NE: cuenta con un sistema que extrae el aroma y los compuestos volátiles, para transportarlos hasta la matriz sensorial, la transformación de los datos obtenidos a partir de las señales de los sensores, y el sistema que reconoce, identifica y clasifica el aroma de las muestras tomadas.

Los sistemas olfativos electrónicos o NE tienen grandes ventajas frente a otras técnicas convencionales como la cromatografía de gases y espectrometría de masas (Muñoz, 2011), debido a que es una técnica que no ocasiona daños al producto (no destructivo), obtiene resultados en tiempo real en cuestión de minutos, se adapta a varios tipos de productos frutícolas y a diferentes cantidades de compuestos volátiles y los datos son analizados fácilmente arrojando resultados confiables (Slaughter, 2009).

Teniendo en cuenta lo nombrado anteriormente, y de acuerdo con las opiniones de diferentes autores, podría concluirse que las NE empleadas en la industria agroalimentaria presentan ventajas como la eficiencia en el análisis al ser no destructivo, el análisis de las muestras en tiempo real cercano, la selección y clasificación de los productos tienen menos pérdidas y cumplen con los estándares exigidos por el mercado, los despachos se pueden cumplir en tiempos cortos y se reducen las devoluciones de productos por clasificación errónea y por último este método de análisis suele ser más económico frente a los análisis de laboratorio convencionales. Sin embargo, en el caso local este tipo de tecnologías han sido poco utilizadas obedeciendo principalmente a que algunos productores que tienden a rechazar la implementación de estas técnicas debido al desconocimiento de su uso y a los costos de inversión y capacitación del personal, adicionalmente, la investigación en este campo es escasa.

## Literatura citada

- Brezmes, J. 2001. Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. [Chapter 2].
- Brezmes, J. 2001. Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. [Chapter 4].
- Busto, O. 2010. La nariz electrónica: una nueva herramienta para analizar el aroma. Disponible en: [http://www.acenologia.com/cienciaytecnologia/nariz\\_electronica-3cienc0411.htm](http://www.acenologia.com/cienciaytecnologia/nariz_electronica-3cienc0411.htm). (Consultado el 29 de abril de 2019).
- Capelli, L. Y S. Sironi. 2014. Electronic noses for environmental monitoring applications, journal Sensors, 14, 33-90. Doi:10.3390/s141119979
- Cardozo, C., J. Cartagena y G. Correa. 2011. Determinación de Compuestos Volátiles en Frutos de Guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita), durante la Maduración, por Nariz Electrónica y Cromatografía de Gases Acoplada a Espectroscopía de Masas. Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín. 66, 7117 -7128.
- Chavarrias, M. 2010. Nariz electrónica para detectar el mejor aroma. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridadalimentaria/cienciaytecnologia/2010/01/13/190397.php>. (Consultado el 29 de abril de 2019).
- Correa, E. 2003. Desarrollo de una aplicación a la detección de aromas para un NE del tipo microbalanzas de cristal de cuarzo (QCM) para su adaptación a la determinación de calidad en frutas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Correa, E., P. Barreiro, M. Ruíz, y C. Chamorro. 2015. Nariz Electrónica. ¿Herramienta para la calidad en la industria agroalimentaria? Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Cuadras, C. 2004. Análisis multivariantes. Eunibar. Barcelona, España.
- Durán, C., O. Gualdrón y M. Hernández. 2014. Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Sendt*), revista ELSEVIER, 15, 321-492. Doi:10.1016/S1405-7746(14)70346-4
- Durán, C., A. Velázquez y O. Gualdrón. 2012. Implementación de una nariz electrónica para detectar pacientes con EPOC desde el aliento exhalado. Revista Ingeniería y desarrollo, 30, 2-6.
- Echeverría, G., J. Graell, L. López y I. Lara. 2008. la calidad organoléptica de la fruta. Revista Horticultura Internacional. 61, 26-30.
- Fuentes, A., M. Fresno, H. Santander y S. Valenzuela. 2011. Sensopercepción olfatoria: una revisión. Revista Médica de Chile. 139, 1-8.
- García, D. y R. Aparicio. 2002. Sensor: From biosensors to the electronic nose. Sensors. 53, 223-247.
- Gardner, J. Y P. Bartlett. 2000. A brief history of electronic noses. Revista Elsevier. 18,210-211. [https://doi.org/10.1016/0925-4005\(94\)87085-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(94)87085-3).
- Gutiérrez, L. 2011. Evaluación de la calidad de productos lácteos por medio de la nariz electrónica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN). 6, 1-7.
- Gutiérrez, R. 2001. The how and why of electronic noses. Revista IEEE Spectrum. 35,22-31.
- Guzmán, A., E. Hernández, E. Ortega, R. Romero y J. Silencio. 2009. Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber. Revista Mexicana de Pediatría. 76, 136-145.
- Hodgins, D. Y D. Simmonds. 1995. The electronic NOSE and its application to manufacture of food products. Journal automatic Chemistry. 31, 1-6.
- Holinsky, A. Y L. Waltl. 2010. Chemical sensors for electronic nose systems. Sensors array and screening seminar. Sensors. 24,181-198.
- Jiménez, J. 2006. Análisis de la problemática de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en un centro de refino. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Kleinberg, J. Y E. Tardos. 2010. Algorithm Design. Pearson, Boston.

- Llamazares, A. Y A. Martínez. 2001. El análisis sensorial como método para evaluar la calidad final de las frutas. *Informaciones técnicas*. 94, 1-8.
- López, A. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*. 151.
- López, P., D. Calderón, R. Triviño y A. Arcentales. 2017. Electronic nose prototype for explosive detection. En: IEEE (eds.). CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON). 2017, octubre 18-20, Pucón, Chile. DOI: 10.1109 / CHILECON.2017.8229657
- López, R., I. Giráldez, A. Palma y J. Díaz. 2015. Nariz electrónica mide la calidad de los compuestos orgánicos por el olor. Disponible en: [https://www.agenciasinc.es/Noticias/Una-nariz-electronica-mide-la-calidad-de-los-abonos-organicos-por-el-olor\\_](https://www.agenciasinc.es/Noticias/Una-nariz-electronica-mide-la-calidad-de-los-abonos-organicos-por-el-olor_) (Consultado el 13 de noviembre de 2019).
- Mena, N. 2010. Determinación de índices de madurez para la cosecha y conservación al ambiente del Arazá (*Eugenia stipitata*) y Borojó (*Borojoa patinol*). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Mendoza, I. Marquetti, H. 2019. Redes neuronales artificiales: factores que determinan la cosecha de caña en la industria azucarera. Cuba.
- Miller, J. Y J. Miller. 2002. *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. 4. Prentice hall, Madrid.
- Moreno, I., R. Caballero, R. Galán, F. Matía y A. Jiménez. 2009. La nariz electrónica: estado del arte, revista RIAI, 6 (3), 76-91. <https://doi.org/10.4995/riai>.
- Moreno, I. Y J. Serracín. 2016. Matriz de sensores: Fundamento de la nariz electrónica. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.
- Muñoz, L. 2011. Aplicación de la cromatografía de gases-olfatometría en la caracterización del aroma del vinagre de vino, de los pistachos y del aceite de oliva. Universitat Rovira I Virgili. Cataluña, España.
- Nimsuk, N. Y W. Chamsonngkram. 2016. Development of a wireless electronic nose capable of measuring odors both in open and closed systems. *Journal Procedia Computer Science*, 86, 192-195. Doi: 10.1016/j.procs.2016.05.060.
- Ordoñez, M., H. Pabon, A. Mauricio, A. Figueroa, M. Lopera, J. Homez, R. Probst, Y. Paez, G. Moreno, C. Bustamante y F. Pinzón. 2009. Guía ambiental Hortofrutícola de Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Asociación Hortifrutícola de Colombia. <https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.60393>
- Orfali, J. 2007. Evaluación de la calidad de duraznos y nectarinas *Prunus persica* mediante métodos sensoriales y analíticos durante la etapa de maduración en el árbol. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Otto, M. 2016. *Cheometrics: statistics and computer and computer application in analytical chemistry*. 3. Wiley-VCH, Alemania.
- Paredes, A., M. Sun, G. Picasso, E. Doig y G. Comina. 2016. Implementación de una nariz electrónica para la detección de alcoholes lineales. *Revista Colombiana de Química*, 45 (2), 12-18. <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.60393>
- Parrales, A., M. Reyes y W. Pine. 2012. *Cromatografía del gas natural*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Pelosi, P., J. Zhu y W. Knoll. 2018. From gas sensors to biometric artificial noses. *Chemosensor*. Austrian Institute of Technology GmbH, Austria. Doi: 10.3390/chemosensors6030032
- Pineda, D. Y J. Pérez. 2017. Nariz electrónica que mide gases del suelo. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/ciencia/el-invento-colombiano-capaz-de-medir-gases-del-suelo-articulo-685612>. (Consultado el 29 de abril de 2019).
- Quicazán, M., A. Díaz y C. Zuluaga. 2011. La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria. *Revista de la facultad de química farmacéutica*, 18 (2), 209-217.
- Raman, B. 2005. Sensor based machine with neuromorphic models of the olfactory systems. A&M University, Texas.

- Riechmann, J. 2002. Biomimesis: un concepto clave para pensar la sustentabilidad. *Revista El ecologista*, 36.
- Rojo, S. 2001. Diseño y realización de una nariz electrónica para la discriminación de aceites. Universidad Rovira i Virgili. Tarragona, España.
- Rubio J.J., Hernández J.A., Ávila F.J., Stein J.M. 2016. Meléndez A. Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XVII (número 2), abril-junio 2016: 211-222.
- Sayed, A. Y M. Suhail. 2011. Electronic Nose. *Advances in Medical Informatics, advance in medical informatics*, 1 (1), 6-9.
- Schaller, E., J. Bosset y F. Escher. 1997. Electronic Noses and their Application in the Food Industry. *Food Science and technology*, 31 (4), 44-48. <https://doi.org/10.1006/fstl.1998.0376>.
- Slaughter, D. 2009. Evaluación de métodos no destructivos para la detección de la madurez en mangos. University of California. California.
- Sujata, G., N. Dhivya, K. Ayyadurai y D. Thyagarajan. 2012. Advances in electronic - nose technologies. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2 (4), 154-146.
- Thuen, C. 2003. Sensing odour with E-nose. Universidad de Oslo. Noruega.
- Wilson, A. Y M. Baietto. 2009 Applications and advances in Electronic-Nose technologies. *Revista Sensors*, 9 (7), 99-148. Doi:10.3390/s90705099
- Wojnoswki, W., T. Majchrzak, T. Dymerski, J. Gebicki y J. Namiènsnik. 2017. Portable electronic nose based on electrochemical sensors for food quality assessment. *Sensors*, 17. Doi:10.3390/s17122715
- Yan, J., X. Guo, S. Duan, P. Jia, L. Wang, C. Peng y S. Zhang. 2015. Electronic nose feature extraction methods: College of electronics and information engineering, *journal Sensors*, 15 (11), 804-831. Doi:10.3390/s151127804
- Zhao, D. Y. Zhang, D. Kong, Q. Chen y H. Lin. 2012. Research on recognition system of agriculture products Gas sensor array and its application, *revista ELSEVIER*, 29, 2252-2256. Doi:10.1016/j.proeng.2012.01.297
- Zohora, S., A. Khan, A. Srivastava y N. Hundewale. 2013. Chemical sensors employed in electronic noses: a review. *International journal of soft computing and engineering. International Journal of soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 3 (5).
- Zurriarrain, J. 2010. Aplicación de la Quimiometría para el aprovechamiento analítico de reactivos generales. Revisión de la incertidumbre instrumental y del límite de detección multivariante. Universidad del País Vasco. España.