

Cover Page

Detection of Pesticides in Fruits such as Strawberry plum, Apple, and Cape gooseberry using an Electronic Tongue and Nose

Abstract

Pesticides are highly toxic chemical compounds used to control pests (insects, weeds, fungi, among others) and diseases that attack crops. In addition, they are potentially dangerous for humans and can have an acute or chronic impact on health depending on the amount and channels of exposure.

The present investigation was based on the implementation of the electronic nose and tongue multisensory systems as instruments capable of detecting the presence of pesticides in fruits because they have been implemented in different fields of the industry as devices capable of classifying and discriminating different contaminants or assess the quality of food. The fruits used in this study were plum, strawberry, apple, and cape gooseberry which were contaminated with different pesticides such as *Amistar*, *Funlate*, *Across*, *Bricol*, *Curzate*, *Daconil* and *Preza* respectively. For this, solutions with a concentration of 10 ppm of the pesticides were prepared, which were applied to the fruit by means of spraying in the case of electronic nose. On the other hand, for the use of the electronic tongue, it was required to macerate the fruit and obtain an extract to add to the solution.

On the other hand, to the data acquired from the measurements made with the multisensory systems, classification methods were applied to evaluate the capacity of the devices to recognize and differentiate between samples of organic fruit and those with the presence of pesticides.

As outstanding results, both teams demonstrated the ability to discriminate and classify the samples studied despite the fact that in the case of the electronic tongue, a greater dispersion of the data is generated, and there is less overlap between each of the classes of data analyzed.

Keywords

Electronic nose, Electronic tongue, Data processing, Pesticides, and Fruits.

Deteccción de pesticidas en frutas como Fresa, Ciruela, Manzana, y Uchuva usando una Nariz y Lengua Electrónica

Yuliana Alexandra Nieto Puentes, Student^{1,2}, Dayan Diomedes Cárdenas Niño, M.Sc(C)^{1,2}

Jeniffer Katherine Carrillo Gómez, Ph.D^{1,2} y Cristhian Manuel Durán Acevedo, Ph.D¹

¹Grupo GISM, Universidad de Pamplona, Colombia, cmduran@unipamplona.edu.co.

²Grupo de ingeniería química, Universidad de Pamplona, Colombia. yuliana.nieto@unipamplona.edu.co, dayan.cardenas@unipamplona.edu.co, Jeniffer.carrillo@unipamplona.edu.co,

Resumen – Los plaguicidas son compuestos químicos altamente tóxicos utilizados para el control de plagas (insectos, malas hierbas, hongos, entre otros) y enfermedades que atacan a los cultivos. Además, son potencialmente peligrosos para el ser humano y pueden llegar a tener un impacto agudo o crónico en la salud de acuerdo a la cantidad y los canales de exposición.

La presente investigación se basó en la implementación de una lengua y nariz electrónica, usados para detectar la presencia de plaguicidas en las frutas debido a que se han implementado en los diferentes campos de la industria como dispositivos capaces de clasificar y discriminar diferentes contaminantes o evaluar la calidad de los alimentos. Las frutas usadas en este estudio fueron la ciruela, fresa, manzana y uchuva las cuales fueron contaminadas con diferentes plaguicidas como: Amistar, Funlate, Across, Bricol, Curzate, Daconil y Preza, respectivamente. Para ello se prepararon soluciones con una concentración de 10 ppm de los plaguicidas, los cuales fueron aplicados a la fruta por medio de aspersión para el caso de la nariz electrónica. Por otro lado, para el uso de la lengua electrónica se requirió macerar la fruta y obtener un extracto para adicionar a la solución. A los datos adquiridos se aplicaron métodos de clasificación para evaluar la capacidad de los dispositivos en reconocer y diferenciar entre muestras de fruta orgánica y con presencia de plaguicidas.

Como resultados destacados, ambos equipos demostraron la capacidad de discriminar y clasificar la muestras estudiadas a pesar que en la lengua electrónica se genera una mayor dispersión de los datos y se presentaron algunos solapamientos entre cada una de las clases de datos analizadas.

Palabras clave – Nariz electrónica, lengua electrónica, Procesamiento de datos, Plaguicidas, Frutas.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el campo de la agroindustria se ha venido incursionando la aplicación de herramientas que puedan detectar la presencia de compuestos tóxicos, como es el caso de los plaguicidas, que representan un riesgo para salud humana y que traen consigo efectos dañinos al sistema nervioso central e inmunológico, adicionalmente se les asocia con problemas pulmonares, cáncer, e infertilidad entre otros [1].

También tiene efectos adversos a corto y largo plazo en el medio ambiente incluidos los suelos, el agua superficial y subterránea además se ha comprobado que tiene efectos nocivos para los depredadores naturales de las plagas como lo son las poblaciones de abejas y los organismos acuáticos

[2] [3]. Los plaguicidas son implementados en los cultivos con el fin de generar mayor resistencia y combatir las plagas y enfermedades en los cultivos para lograr una vida útil, y productos de mejor calidad. A pesar que con frecuencia se detectan niveles que superan las normas establecidas por los entes reglamentarios [4], actualmente se usan agentes de control de plagas que pueden llegar a convertirse en un problema si no se toman en cuenta los canales adecuados para su monitoreo y vigilancia, ocasionando que a menudo queden trazas de plaguicidas en los alimentos sin ser identificadas dado que los métodos usados para su detección tienen un alto costo y difícil acceso entre los que se encuentra la cromatografía acoplada a masas [5], cromatografía de gases, cromatografía líquida [6], HPLC [7], espectrometría de Raman [8], espectrofotometría UV-VIS [9], entre otros. Estas técnicas se encuentran lejos de ser consideradas como opciones alcanzables para pequeños y medianos agricultores debido a sus altos costos y complejidad en la preparación de las muestras, ya que al ser métodos de alta sensibilidad cualquier tipo de error en su preparación o mal manejo de los equipos puede significar ruido de medición y comprometería los resultados obtenidos. A partir de esta problemática se ha generado la necesidad de buscar alternativas que tengan una mayor accesibilidad y disponibilidad; donde los sistemas sensoriales artificiales han empezado a generar una aprobación en el campo de investigación para su aplicación es esta área [10]. Es por esto que esta investigación se desarrolló con el fin de demostrar que los sistemas de percepción sensorial tienen la capacidad de clasificar y discriminar muestras de frutas contaminadas con plaguicidas y muestras libres de plaguicidas (fruta orgánica). Lo anterior puede beneficiar a los cultivadores para tener un mayor control de calidad de sus productos y de esta forma realizar una distribución más segura a los sitios de abastecimiento, como supermercados, tiendas, etc., evitando de esta forma el alto riesgo en la salud de las personas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Preparación de la muestra

Para evaluar la capacidad que tienen los dispositivos para discriminar y clasificar diferentes tipos de plaguicidas en frutas, se tomaron muestras de fruta orgánica frente a muestras contaminadas con una solución de 10 ppm para

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

cada plaguicida de acuerdo a la fruta de estudio, según la Tabla 1.

En el caso de la lengua electrónica se agregó la solución del plaguicida en forma directa al extracto obtenido de la fruta por medio de la maceración, y para el caso de la nariz electrónica se aplicó por medio de aspersión.

TABLA I
IDENTIFICACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS DE ACUERDO A LA FRUTA DE ESTUDIO

Fruta	Plaguicida
Ciruela	<i>Amistar – Funlate</i>
Fresa	<i>Across – Bricol</i>
Manzana	<i>Amistar – Funlate</i>
Uchuva	<i>Bricol - Curzate – Daconil - Preza</i>

B. Lengua electrónica (E-tongue)

Para el desarrollo de la lengua electrónica se utilizó un Bi-potenciostato μ stat 200 portátil de la empresa dropsens y electrodos serigrafados de platino (Ref. DRP-550). Para el proceso de medición de las muestras se usó la técnica de voltametría cíclica la cual determina la densidad de la corriente producida por un electrodo de posición localizado en la zona de oxidación y reducción de la muestra.

C. Nariz electrónica (E-nose)

Para la detección de los plaguicidas se implementó una nariz electrónica compuesta de una matriz de 16 sensores de gases no selectivos de tipo Taguchi, los cuales pueden identificar compuestos como amoniaco, aminas, hidrogeno, monoclorodifluorometano, metano, gases volátiles, vapor de agua en alimentos, sulfuro de hidrogeno, hidrocarburos, monóxido de carbono, isobutano, etanol, alcohol, solventes orgánicos, tetrafluoroetano, entre otros.

D. Procesamiento de los datos

El análisis de datos fue realizado a partir de métodos de reconocimiento de patrones como el caso de Análisis de Componentes Principales (PCA), el cual se implementó para visualizar los datos en un plano de dos dimensiones en forma de clústeres, y así poder ver que tan repetitivos son las mediciones [11]. Así mismo, se utilizó un método supervisado llamado Análisis de Discriminación Lineal (LDA), el cual se utiliza para clasificar un conjunto de medidas, y así determinar una combinación lineal para separar dos o más clases [12].

El software usado para el procesamiento de los datos fue Matlab 2020b con la librería de Machine Learning Toolbox y el algoritmo PCA para la discriminación y la clasificación de los datos. Los tiempos de medición de la lengua electrónica fue de 1 minuto por muestra, y los de la nariz electrónica fueron 7 minutos de medición, y 5 minutos tanto de concentración y de limpieza. El tiempo total de medida con los dos equipos fue de aproximadamente 20 minutos.

III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El presente estudio consistió en determinar la capacidad que tiene la lengua y nariz electrónica para clasificar y discriminar muestras de fruta orgánica (Ciruela, Fresa, Manzana y Uchuva) con respecto a muestras contaminadas

con plaguicidas (*Amistar, Funlate, Across, Bricol, Curzate, Daconil, y Preza*), donde se aplicaron los métodos de PCA y LDA, a partir de cada una de las medidas adquiridas por ambos sistemas. Al final se lograron identificar y diferenciar la fruta con plaguicida con respecto a la fruta orgánica. A continuación, se describen los resultados de cada una de las frutas. Es importante aclarar que en el caso de la E-tongue se adquirieron 10 medidas por cada categoría, mientras que con la E-nose se adquirieron 7 medidas por cada una.

A. Ciruela

En primer lugar, la Fig. 1 ilustra el análisis PCA realizado con la E-tongue, donde se puede diferenciar entre las muestras de ciruela con presencia de los plaguicidas de *Amistar* y *Funlate* en comparación con la muestra de ciruela orgánica, alcanzando una varianza del 99.01% en el PC1. Por lo tanto, se ve observa una dispersión de las medidas de la ciruela orgánica; por otra parte, con las muestras de frutas y el plaguicida se tiene buena selectividad debido a que el proceso electroquímico favorece la identificación de los plaguicidas.

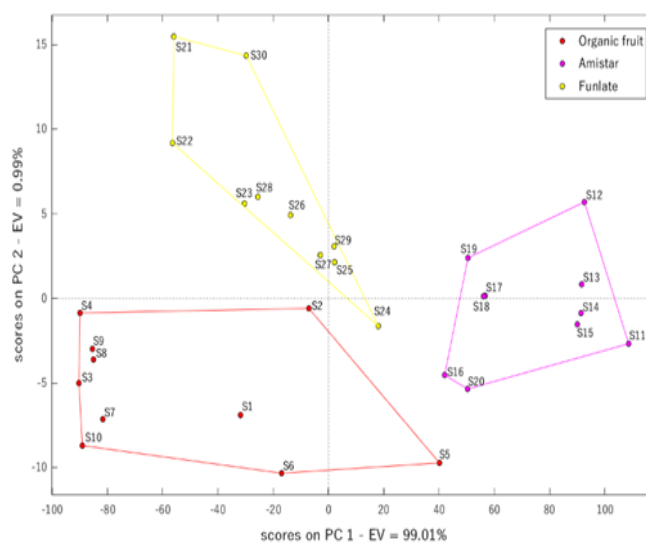


Fig. 1 Diagrama PCA de la ciruela orgánica y ciruela contaminada con *Amistar* y *Funlate* usando la E-tongue.

En la Fig.2 se presentan los resultados de la discriminación de los datos usando la E-nose, donde existe también una leve separación de las medidas para la ciruela orgánica, mientras que con las muestras contaminadas con plaguicidas se encontró que hay un grado de solapamiento para las muestras de ciruela con presencia de *Amistar* y *Funlate* (S18 y S19), a pesar que los puntos pertenecen a la misma categoría donde están claramente delimitados por regiones; debido a que con los datos adquiridos de puede discriminar las categorías entre sí, la variación de los datos obtuvo el 88.61 % para el PC1.

Con lo anterior se concluye que la lengua electrónica tiene mayor capacidad de discriminación, dado a que fue capaz de separar cada una de las categorías y siendo de alguna manera más selectiva.

Es importante resaltar que hubo buena sensibilidad en la respuesta de cada uno de los dispositivos, y aunque se generaron dispersiones en las medidas fue posible identificar cada uno de los clusters.

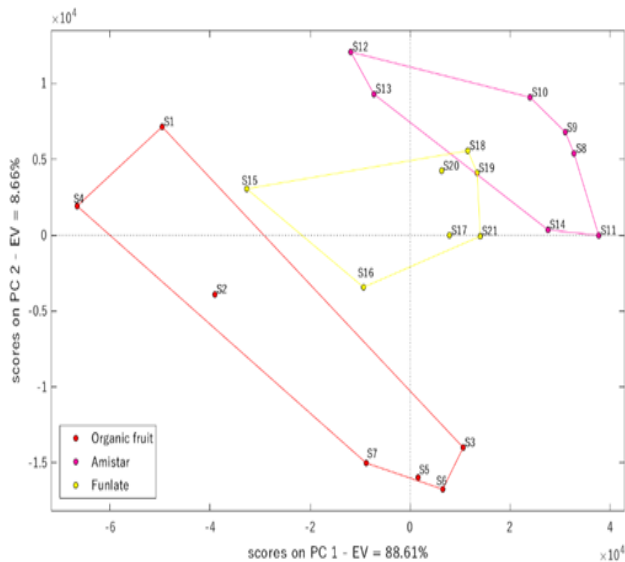


Fig. 2 Diagrama PCA de la ciruela orgánica y ciruela contaminada con *Amistar* y *Funlate* usando la E-nose.

Las Figuras 3 y 4 muestran el comportamiento de la matriz de confusión al aplicar el método de validación cruzada con el fin de obtener la exactitud del clasificador LDA; para tal fin se utilizó un K-Fold 5 como método de validación cruzada. Por lo tanto, en el procesamiento de los datos se obtuvo 90% de desempeño con la E-tongue (ver Fig. 3). Es importante aclarar que hubo dos muestras de ciruela orgánica clasificadas incorrectamente como muestras de ciruela contaminada con *Amistar* y *Funlate*. De la misma forma, una muestra de ciruela contaminada con *Funlate* se clasificó a través del método LDA con las muestras de *Amistar*. Por lo tanto, se confirma la discriminación realizada previamente con PCA.

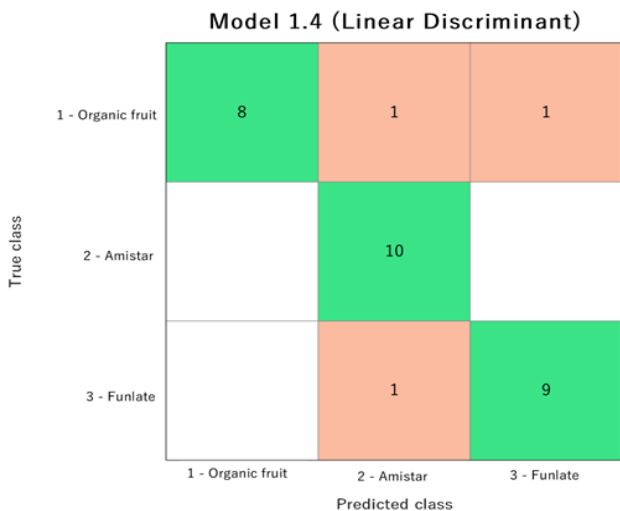


Fig. 3 Matriz de confusión para la Ciruela orgánica frente ciruela contaminada con *Amistar* y *Funlate* usando la LE.

La Fig. 4 indica la respuesta de la matriz de confusión de las mediciones realizadas con la E-nose, donde el mismo modo se aplicó el método validación cruzada. En esta prueba con el método LDA se alcanzó una tasa de acierto del 95.2 %. Tal y como se observa en el gráfico, una muestra de ciruela contaminada con *Amistar* se clasificó como ciruela orgánica.

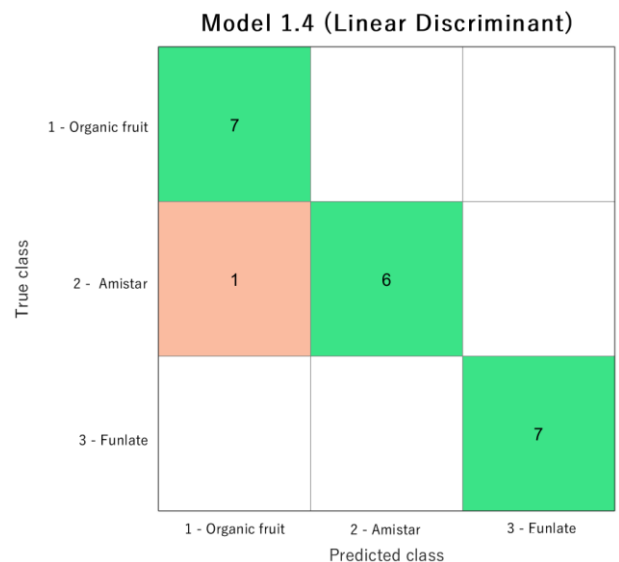


Fig. 4 Matriz de confusión para la ciruela orgánica y ciruela contaminada con *Amistar* y *Funlate* usando la E-nose.

B. Fresa

Para el análisis de la muestra orgánica y las muestras contaminadas con *Across* y *Bricol*, se aplicó el algoritmo de PCA; donde la E-tongue obtuvo una varianza del 100 % de los datos para la suma de los dos PCs. Además, se puede ver como las muestras analizadas se clasifican satisfactoriamente con una muy leve dispersión de los datos de cada una de las categorías evaluadas (ver Fig.5).

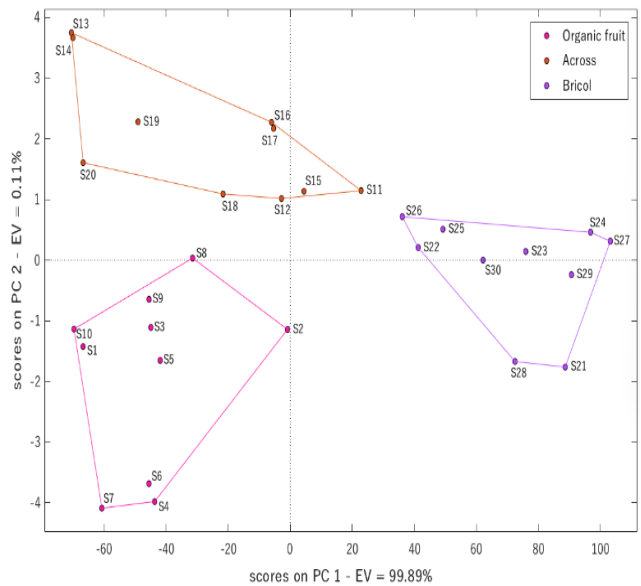


Fig. 5 Diagrama PCA de la fresa orgánica y fresa contaminada con *Across* y *Bricol* usando la E-tongue.

Así mismo, se hizo el mismo procedimiento con la E-tongue con el fin de evaluar los datos adquiridos empleando el PCA (ver Fig. 6), y del mismo modo se obtiene que las muestras se pueden clasificar y discriminar con una varianza total del 96.3%; sin embargo, igualmente se genera una leve separación de las muestras ya sea debido al protocolo usado en la medición o por la variación por dilución de los compuestos de los plaguicidas durante la secuencia de los ensayos.

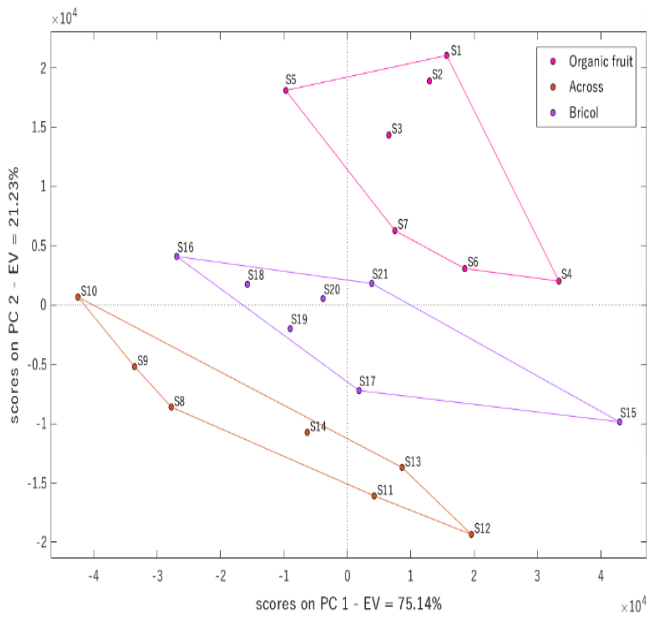


Fig. 6 Diagrama PCA de la fresa orgánica y fresa contaminada con *Across* y *Bricol* usando la E-tongue.

A través del método LDA y aplicando validación cruzada con un K-Fold igual a 5 para las mediciones realizadas, este alcanzó una exactitud del 93.3 % acuerdo a la matriz de confusión (ver Fig. 7).

Este indica que una de las medidas de la fresa orgánica realizadas con la E-tongue fue mal clasificada con una medida del plaguicida *Across*; de la misma forma una muestra de fresa contaminada con *Across* se clasificó como una muestra contaminada con *Bricol*.

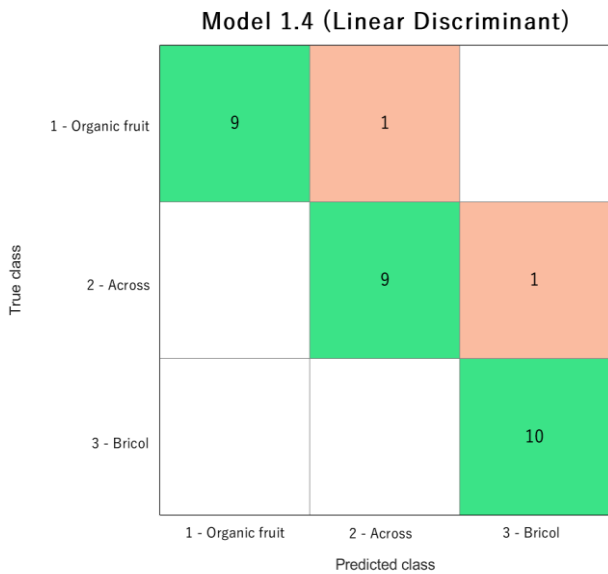


Fig. 7 Matriz de confusión para la fresa orgánica y fresa contaminada con *Across* y *Bricol* usando E-tongue.

Mientras que con la E-nose aplicado el análisis LDA se obtuvo una exactitud del 95.2 %, lo cual indica que hay una mejor clasificación, ya que solo un dato de la muestra contaminada con *Across*, se clasificó como fruta orgánica (Ver Fig. 8).

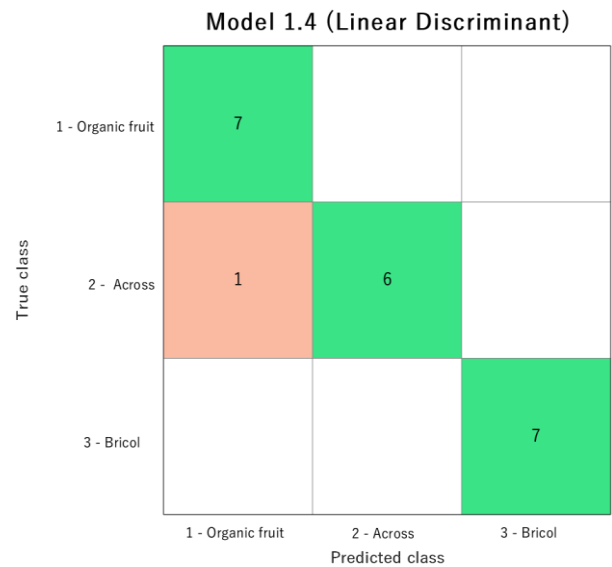


Fig. 8 Matriz de confusión para la Fresa orgánica y Fresa contaminada con *Across* y *Bricol* usando la E-nose.

C. Manzana

Para el análisis de los datos con la E-tongue, las muestras de manzana orgánica y las contaminada con *Amistar* y *Funlate* fueron evaluados con el método de PCA, donde se determinó una variación del 97.89 % al respecto al PC1; además de acuerdo con los resultados de la Fig. 9, ocurre un solapamiento entre los datos de las muestras de manzana orgánica y la muestra contaminada con *Funlate*; aunque estos se encuentran definidos por regiones en las cuales los datos tienen una ligera dispersión entre ellos.

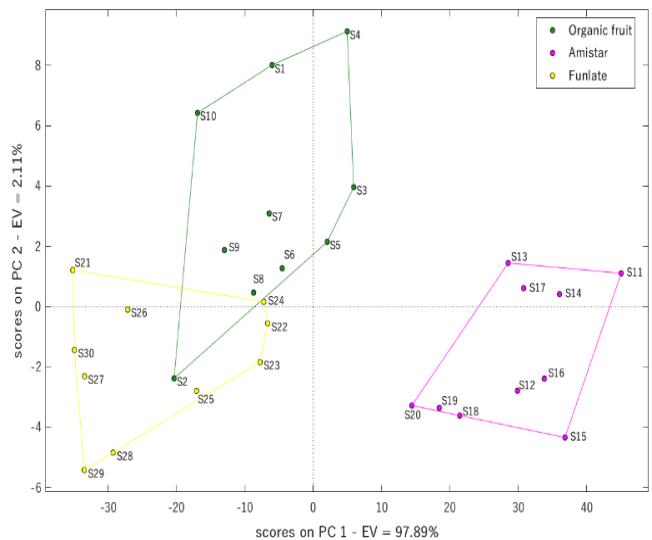


Fig. 9 Diagrama PCA de la manzana orgánica y manzana contaminada con *Amistar* y *Funlate* usando la E-tongue.

La Fig.10 ilustra la discriminación del análisis PCA para los datos adquiridos con la E-nose, donde el algoritmo separa las muestras contaminadas de la orgánica en clases correctamente, alcanzando una varianza del 97.64 %. Adicionalmente, se presenta una separación en los datos del *Amistar*. Por otra parte, para la muestra orgánica y la de *Funlate* el proceso electroquímico favoreció su selectividad aplicando el sistema de percepción multisensorial.

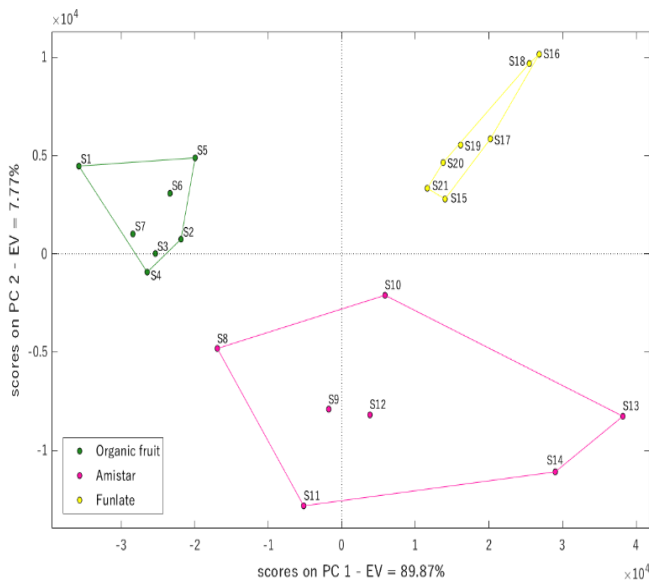


Fig. 10 Diagrama PCA de la manzana orgánica y manzana contaminada con Amistar y Funlate usando la E-nose.

En el siguiente análisis se observa la dificultad que presenta el método LDA en clasificar y separar dos grupos específicos, donde el primero es el grupo control conformado por la fruta orgánica, y el segundo el grupo que corresponde a la fruta con el plaguicida *Funlate* añadido de forma intensional (ver Fig.11).

El mayor solapamiento se dio hacia el grupo control donde fueron dos las medidas del grupo del plaguicida *Funlate* las que generaron medidas no clasificadas, mientras que, del otro lado, el grupo control solo genero una medida errónea con *Funlate*. Sin embargo, el grupo número 2 (fruta con el plaguicida *Amistar* añadido) clasificó en 10/10 las medidas de su grupo, logrando una plena identificación de este producto en la manzana, lo cual ayuda a realizar un buen modelo para su posterior identificación en las mediciones de la manzana a partir del cultivo. Debido a lo anterior se logra una exactitud del 90 % al aplicar la validación cruzada con un K-Fold de 5 para las mediciones realizadas con la E-tongue.

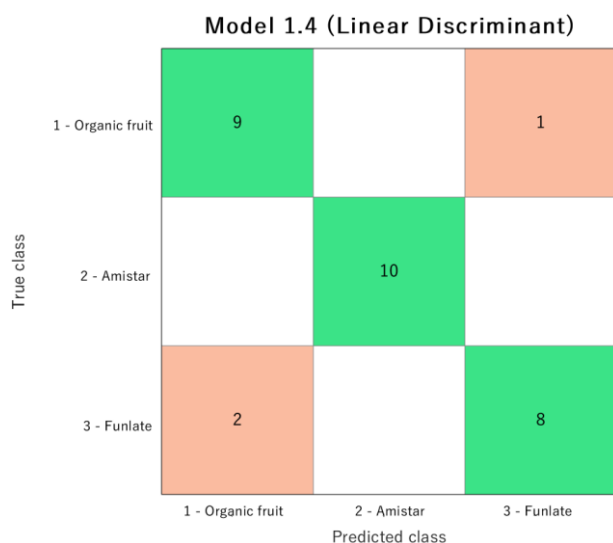


Fig. 11 Matriz de confusión para la manzana orgánica y manzana contaminada con Amistar y Funlate usando la E-tongue.

Por consiguiente, del mismo modo en la Fig. 12 se lleva a cabo la validación cruzada, donde en los resultados de las

mediciones de la E-nose, una medida de manzana orgánica se clasificó como si fuese *de Funlate*; de la misma manera una medición de *Amistar* se clasificó como orgánica. Dado a lo anterior, la exactitud del método LDA fue de 90.5 % de acierto con la respuesta de la E-nose.

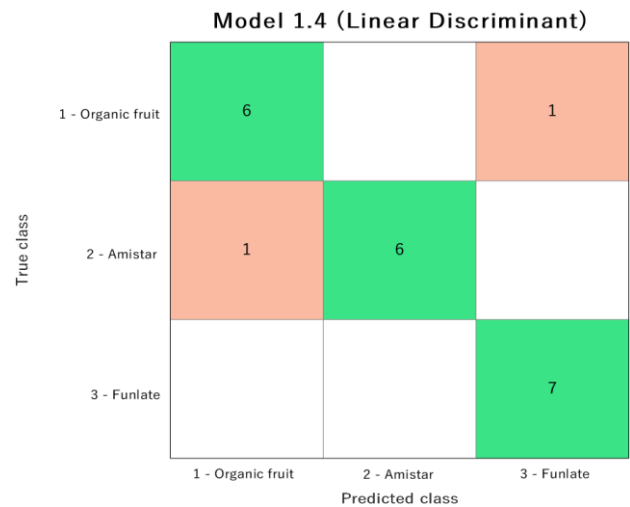


Fig. 12 Matriz de confusión para la manzana orgánica y manzana contaminada con Amistar y Funlate usando la E-nose.

D. Uchuva

Finalmente se analizaron las muestras de uchuva orgánica y la contaminada con *Bricol*, *Curzate*, *Daconil* y *Preza*. Inicialmente las mediciones se realizaron con la E-tongue, y con los resultados se realizó el análisis PCA. En la Fig. 13 se indica que las categorías se discriminaron correctamente, obteniéndose así una varianza del 99.77 % en el PC1.

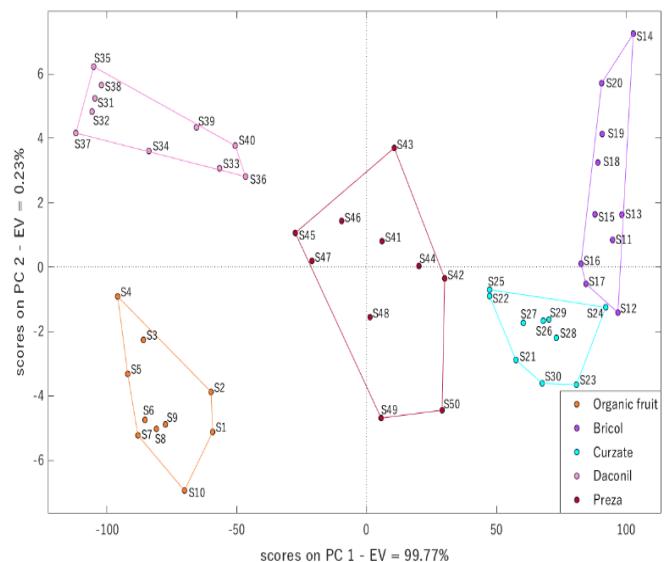


Fig. 13 Análisis PCA de la uchuva orgánica y uchuva contaminada con Bricol, Curzate, Daconil y Preza usando la E-tongue.

De la misma forma se tomaron las medidas realizadas por la E-nose, y se aplicó el método de análisis PCA obteniendo una varianza del 92.1 % del PC1. Por otro lado, se puede ver en la Fig. 14, que el PCA permitió separar la fruta orgánica de la fruta con plaguicidas, donde se solaparon las muestras de uchuva contaminada con *Curzate*, *Preza* y *Daconil*. Lo anterior es debido a que los ingredientes activos que

compones a estos plaguicidas compartes grupos funcionales y los sensores no son capaces de discriminarlos.

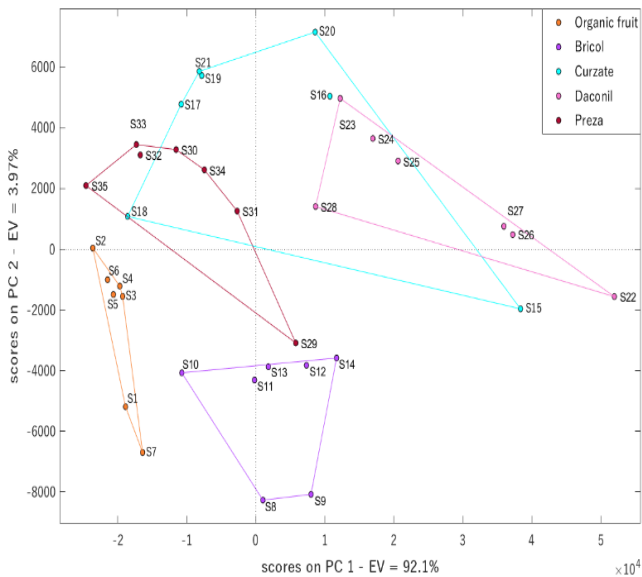


Fig. 14 Diagrama PCA de la Uchuva orgánica y Uchuva contaminada con Bricol, Curzate, Daconil y Preza usando la E-nose.

Al evaluar la discriminación de datos a partir de PCA, con la E-tongue, se aplicó el método LDA con la validación cruzada K-Fold igual a 5, el cual obtuvo una exactitud del 94%. Lo anterior confirma lo mostrado con la matriz de confusión (ver Fig. 15), ya que una de las mediciones de Bricol se confunde como si fuese de Curzate, y de la misma forma pasa con una medida de Curzate que fue mal clasificada con Bricol. La clasificación con LDA confirma lo proyectado en el PCA.

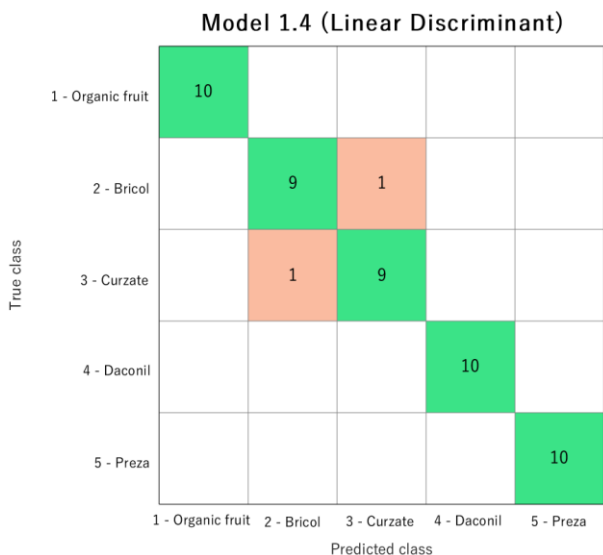


Fig. 15 Matriz de confusión en la uchuva orgánica frente Uchuva contaminada con Bricol, Curzate, Daconil y Preza usando la E-tongue.

En adición, con la E-nose se logró una exactitud del 88.6 % de acierto, al llevar a cabo la validación cruzada (K-Fold = 5) con el método de LDA y al analizar los datos con la matriz de confusión (ver Fig. 16). Por lo tanto, se identificó que una de las medidas de Bricol se confunde con

una de uchuva orgánica, una medida de Curzate con Daconil y dos medidas de Daconil con Curzate y Preza.

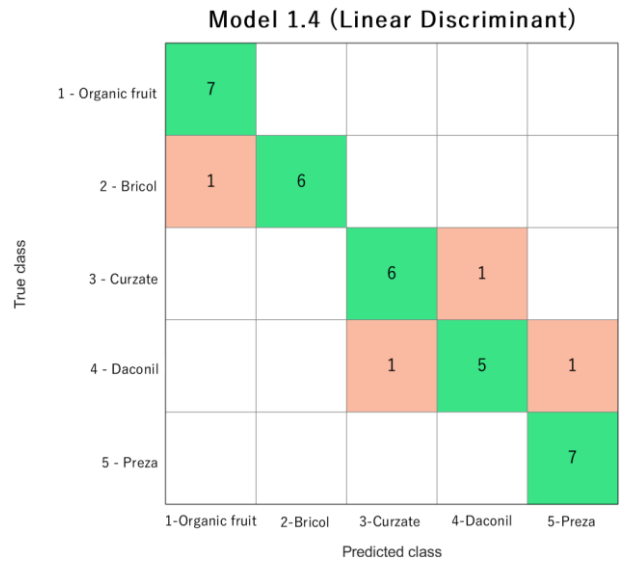


Fig. 16 Matriz de confusión para la Uchuva orgánica y Uchuva contaminada con Bricol, Curzate, Daconil y Preza usando la E-nose.

En la de la Tabla 2 se ilustran los resultados la matriz de confusión a partir del método de clasificación LDA, donde las mediciones con las cuatro frutas usando ambos dispositivos dieron buenos resultados, los cuales van acorde a las gráficas PCA, y con los porcentajes de exactitud calculados por LDA. La E-tongue clasificó las muestras de los plaguicidas en las cuatro frutas, logrando valores de exactitud superiores al 90% en todos los casos. Por otro lado, la nariz electrónica obtuvo porcentajes superiores en la detección de plaguicidas del 95 %, y solamente obtuvo un 88.6% de acierto en la clasificación de la uchuva. Por lo tanto, se puede decir que tanto la lengua electrónica y la nariz electrónica tienen buena exactitud en la clasificación de plaguicidas en frutas, donde el electrodo de platino (DRP-550), usado en la lengua electrónica favorece el proceso electroquímico de los compuestos presentes en los plaguicidas de estudio.

lo que indica que es posible usar este tipo de tecnología para el control de calidad de este tipo de productos alimenticios.

TABLA II
PORCENTAJES DE EXACTITUD DEL MÉTODO LDA PARA LA LENGUA Y NARIZ ELECTRÓNICA CON VALIDACIÓN CRUZADA CON K-FOLD = 5.

Porcentaje de exactitud (%)	Lengua electrónica			
	Ciruela	Fresa	Manzana	Uchuva
	90	93.3	90	94
	Nariz electrónica			
	Ciruela	Fresa	Manzana	Uchuva
	95.2	95.2	90.5	88.6

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados presentados en este estudio con cada uno de los dispositivos y el método de clasificación, se puede concluir que los sistemas de percepción sensorial lengua y nariz electrónica acoplados con los métodos de reconocimiento de patrones de análisis de componentes

principales y discriminación lineal, son adecuados para ser usados como un sistema cualitativo capaz de identificar y clasificar las sustancias tóxicas presentes en la fruta producida en la región boyacense y norte santandereana de Colombia.

En los análisis desarrollados, la lengua electrónica fue el instrumento de medida que demostró tener mejores exactitudes, debido a que el sensor de platino promueve la reacción electroquímica que se da por la técnica voltamperometría la cual favorece la identificación de los compuestos activos, propios de cada uno de los plaguicidas.

Al comparar los resultados de la nariz electrónica con respecto a los de la lengua electrónica, se presentaron porcentajes de discriminación y clasificación más bajos, ya que, al ser un instrumento de medición desarrollado para el análisis de compuestos volátiles de muestras gaseosas, las concentraciones de acetonas y ésteres, tienen un alto contenido de compuestos volátiles que son fácilmente detectados por la matriz de olores.

Por otro lado, la nariz electrónica no logró clasificar y discriminar por completo los diferentes grupos funcionales de los compuestos activos causando mayores solapamientos entre muestras al momento de realizar las mediciones.

Como trabajo futuro, se podría dar continuidad a este tipo de estudios, donde se realice un mayor conjunto de medidas con estos plaguicidas con el fin de verificar la eficiencia de estos tipos de sistemas sensoriales; así mismo, se pueda validar los resultados usando técnicas analíticas como la Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas (GC-MS) para identificar dichos compuestos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al grupo de investigación en sistemas multisensoriales y reconocimiento de patrones de la Universidad de Pamplona (Pamplona, Colombia) por el apoyo de sus instalaciones en el presente estudio.

REFERENCIAS

- [1] Bustamante S, Segales D, Zurita L, Fernández M, Torrico S, and Jarro R, "Uso inadecuado de plaguicidas y sus consecuencias en la salud de la población de La Villa, Punata, Cochabamba, Bolivia, 2013," *Gac Med Bol*, vol. 37, no. 1, pp. 11–14, 2014, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-29662014000100003.
- [2] D. Asela, M. Del Puerto Rodríguez, D. Susana, S. Tamayo, L. Daniel, and E. Palacio Estrada, "Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud," *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, no. 3, pp. 372–387, 2014, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [3] A. Watts, "Photo credits," in *Modern Construction Handbook*, 2016, pp. 501–501.
- [4] L. Fernando, C. Serna, G. B. Bernal, and S. General, "ALEJANDRO GAVIRIA URIBE Ministro de Salud y Protección Social Carmen Eugenia Dávila Viceministro de Protección Social," 2016.
- [5] V. M. Cutillas Juárez, A. Rodríguez Fernández-Alba, and C. M. Ferrer Amate, "Análisis de plaguicidas en fruta y verdura mediante cromatografía de fluidos supercríticos acoplada a espectrometría de masas," Universidad de Almería, 2022.
- [6] A. Agüera López, "Métodos multiresiduos de análisis de pesticidas en frutas y hortalizas. Métodos de identificación," 1995, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=121786&info=resumen&idioma=SPA>.

- [7] J. J. Dangond Araujo and J. A. Guerrero Dallos, "Metodología par la determinacion de residuos d fungicidas benzimidazolicos enn fresa y lechuga por hplc-dad," *Rev. Colomb. Química*, vol. 35, no. 1, pp. 67–79, 2006, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042006000100007.
- [8] R. Sato Berrú, C. Gutierrez Medina, J. Medina Valtierra, and C. Reyes Frausto, "Aplicación de la espectroscopia raman para la caracterización de pesticidas orgánicos," *Int. Contam. Ambient.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [9] V. M., . Y. M., and . E., "Adaptación de una técnica espectrofotométrica para la detección de residuos de plaguicidas en muestras de suelo y agua," *Interiencia*, vol. 46, pp. 156–161, 2021, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/339/33967692004/html/>.
- [10] B. Bhagat, T. K. Sinha, N. Mukherjee, and K. Mukherjee, "Sensors and electronic noses for the production of agricultural crops," *Nanotechnology-Based E-noses*, pp. 257–280, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-91157-3.00015-5.
- [11] J. Alquicira, "Análisis de componentes principales (PCA) – Conogasi," 2017. <https://conogasi.org/articulos/analisis-de-componentes-principales-pca/> (accessed Feb. 27, 2023).
- [12] D. Ballabio and V. Consonni, "Classification tools in chemistry. Part 1: Linear models. PLS-DA," *Analytical Methods*, vol. 5, no. 16. The Royal Society of Chemistry, pp. 3790–3798, Jul. 26, 2013, doi: 10.1039/c3ay40582f.