



Mini-lengua electrónica portátil controlada por un teléfono inteligente (Smartphone)

Álvaro A. Arrieta Almario, Oscar Fuentes Amin, Kevin Navas Oyola

RESUMEN / ABSTRACT

En la actualidad, los dispositivos de lengua electrónica desarrollados constituyen equipos de laboratorio los cuales no permiten completa movilidad y versatilidad de análisis in situ. En este trabajo se presenta el desarrollo de un novedoso sistema con una aplicación Android, responsable del reconocimiento de muestras de leche en una mini-lengua electrónica portátil controlada por un teléfono inteligente, el cual es capaz de aplicar el método estadístico multivariante de Análisis de Componentes Principales para discriminar y clasificar las muestras. Este sistema, cuenta con conexión *bluetooth*, a través de la cual recibe señales provenientes de un dispositivo multicanal de medidas electroquímicas, configurado en un chip gracias a la tecnología PSoC (del inglés Programmable System on Chip, o Sistema Programable en un Chip). La aplicación se realizó en el entorno de desarrollo Android Studio, donde fueron programadas funciones de obtención de señales provenientes del dispositivo de medidas electroquímicas y la aplicación del Análisis de Componentes Principales para la discriminación de muestras. Se observó la capacidad del sistema para ofrecer señales particulares que corresponden a las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de muestras de leche entera sin adulterar y adulteradas y de discriminarlas perfectamente.

Palabras claves: Lengua electrónica; Smartphone; PSoC; Leche

Currently, electronic tongue devices are developed as laboratory equipment, which do not allow full mobility and versatility of in situ analysis. This paper describes the development of a new system with an Android application, responsible of milk samples recognition in a portable mini-electronic tongue controlled by a smartphone, which is capable of applying multivariate statistical method of principal component analysis to discriminate and classify samples. This system has bluetooth connection, through which receives signals of the multichannel device of electrochemical measurements, configured on a chip, thanks to the PSoC technology (Programmable System on Chip). The Android application was made in the environment development Android Studio, where they were programmed functions for obtaining signals from the electrochemical device of measures and implementation of principal component analysis for discriminating of samples. It system capacity was observed to offer particular signals corresponding to the physicochemical and organoleptic of samples of whole milk unadulterated and adulterated and discriminate perfectly.

Key words: Electronic tongue; SmartPhone; PSoC; milk

Portable Electronic Tongue controlled by Smartphone

INTRODUCCIÓN

En la industria de alimentos, uno de los procesos más importantes es el control de calidad de sus productos, ya que el aspecto, el olor y el sabor son características determinantes para su aceptación. Tradicionalmente, uno de los métodos más rigurosos para evaluar la calidad organoléptica de un producto alimenticio es a través de un panel de cata, conformado por expertos capaces de evaluar algunas características de los alimentos haciendo uso de los órganos de los sentidos [1]. En los últimos años, ha comenzado a ser utilizada una nueva forma de evaluar la calidad de los alimentos a través del uso de dispositivos conocidos como narices y lenguas electrónicas [2-8]. Estos dispositivos emulan el funcionamiento del sistema biológico del gusto y el olfato, por lo que hasta hoy han sido de gran utilidad en el sector alimentario, sin embargo, su funcionamiento ha sido limitado a su uso en laboratorios.

Son varios los principios físicos de medida que han sido utilizados para el desarrollo de las lenguas electrónicas [3,8-11]. Sin embargo, los basados en técnicas electroquímicas han mostrado ser los de mayor desarrollo y han mostrado su éxito en diferentes aplicaciones [8,12]. En este sentido, podemos encontrar en la literatura información sobre algunos sistemas potenciométricos, los cuales utilizan electrodos de ion selectivo o electrodos no selectivos construidos con diversos tipos de materiales. Este tipo de sistemas están limitados a la detección de especies químicas cargadas (de carácter iónico), además son altamente sensibles al ruido electrónico y requieren un alto costo en cuanto a la instrumentación electrónica y adquisición de datos. Por otra parte, también existe literatura sobre el diseño de dispositivos de lenguas electrónicas voltamétricas, las cuales cuando son equipadas con sensores modificados con materiales electroactivos, presentan señales bien definidas y con rica información producto de la interacción del material electroactivo de los sensores y la matriz de las muestras o sustancias analizadas[7,8].

La voltametría cíclica es una técnica electroquímica ampliamente utilizada para el análisis de sustancias debido a su alta sensibilidad y rica información proporcionada. Esta técnica consiste en suministrar una rampa de potencial a una sustancia mientras registra las corrientes que fluyen por ésta debido a la reacción producida, donde la gráfica de corrientes resultantes frente al potencial suministrado ofrece una curva conocida como voltamograma [13]. Los potencióstatos realizan esta función a través de tres electrodos conocidos como referencia, auxiliar y de trabajo, los cuales entran en contacto con la sustancia que se desea analizar. De acuerdo al material del electrodo de trabajo y las características fisicoquímicas de la sustancia analizada, el resultado obtenido se muestra como un patrón característico que puede ser relacionado con el sabor. Basado en este funcionamiento, una lengua electrónica realiza este proceso utilizando más de un electrodo de trabajo y así obtener una “huella dactilar” del sabor de la sustancia en estudio. Una vez registrados los datos de corriente provenientes de la voltametría cíclica, el proceso de reconocimiento de sabores es finalizado por un equipo de cómputo, responsable de aplicar métodos estadísticos multivariantes, con el fin de discriminar y clasificar sustancias de acuerdo a su sabor. El Análisis de componentes principales es uno de los métodos que ha dado buenos resultados en este sentido, es una técnica estadística capaz de discriminar muestras a través del reconocimiento de patrones y ha sido usado en algunos desarrollos de lengua electrónica [14,15].

Los equipos desarrollados y reportados hasta la fecha en donde se aplican este tipo de técnicas de medida, son dispositivos de gran tamaño que no permiten la portabilidad y el análisis de muestras in situ. En este estado de las cosas, la tecnología PSoC (Sistema programable en un chip), en conjunto con la plataforma Android, se muestran como una alternativa para el desarrollo de una lengua electrónica portátil. Los PSoCs son microcontroladores que en su interior contienen toda una serie de bloques análogos y digitales que pueden ser reconfigurados por software, esta característica los hace diferentes al resto de familias de microprocesadores en el mercado [16]. Gracias a estas prestaciones, los PSoCs pueden realizar las funciones necesarias para la aplicación de lengua electrónica en un mismo chip, conociendo de antemano que estos microcontroladores han sido de gran utilidad en desarrollos donde se requiere hacer tratamiento de señales análogas [13-21]. Por su parte, el constante crecimiento tecnológico de la industria de celulares y la aparición de sistemas operativos libres como Android, también se muestran como una buena herramienta para desarrollos donde se requieren sistemas de procesamiento de datos, algunas aplicaciones basadas en celulares se pueden encontrar en la literatura [22-25]. En consecuencia, en el presente artículo se muestra el desarrollo de una aplicación Android como etapa de procesamiento de datos de una lengua electrónica, dotada con el método estadístico Análisis de Componentes Principales y capaz de conectarse vía *bluetooth* con un potencióstato multicanal desarrollado a base de la tecnología PSoC, y la aplicación de este sistema en el reconocimiento y discriminación de muestras de leche cruda adulterada.

2.- MÉTODOS Y EXPERIMENTACIÓN

Basado en el funcionamiento del sistema gustativo biológico, el desarrollo de la lengua electrónica se llevó a cabo en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapa 1. Red de sensores

Para adquirir señales de las muestras se aplicó voltametría cíclica. Esta técnica requiere en principio de tres electrodos, uno auxiliar, uno de referencia y uno de trabajo, a través de los cuales se suministra una rampa de potencial a la sustancia analizada mientras se leen las corrientes que se generan en la reacción, de manera que para obtener la mayor información posible se agregan más electrodos de trabajo con diferentes propiedades químicas. En la figura 1 se muestra la red de sensores configurada para esta aplicación. Para su elaboración se utilizó un electrodo comercial AC9C de BVT Technologies; con electrodo de referencia de Ag/AgCl (R) y 8 electrodos de platino, de los cuales se utilizó uno como contra electrodo (C) y los 7 (W1 hasta W7) restantes fueron modificados con polipirrol dopado con 7 contraiones diferentes y que han mostrado su buen desempeño como sensores [8].



Figura 1
Red de sensores

Etapa 2. Equipo multicanal de medidas electroquímicas

Este equipo se desarrolló basado en la tecnología PSoC, por lo que en su mayoría los bloques análogos y digitales necesarios para la lengua electrónica se configuraron dentro de un mismo chip. Se usó la tarjeta FREESOC que en su interior contiene un chip PSoC5 LP, esta tarjeta fue programada en un software conocido como PSoCCreator, donde se desarrollaron las funciones de control referentes a la voltametría cíclica y la comunicación vía *bluetooth* con el Smartphone. En la figura 2 se observa un esquema general del equipo desarrollado.

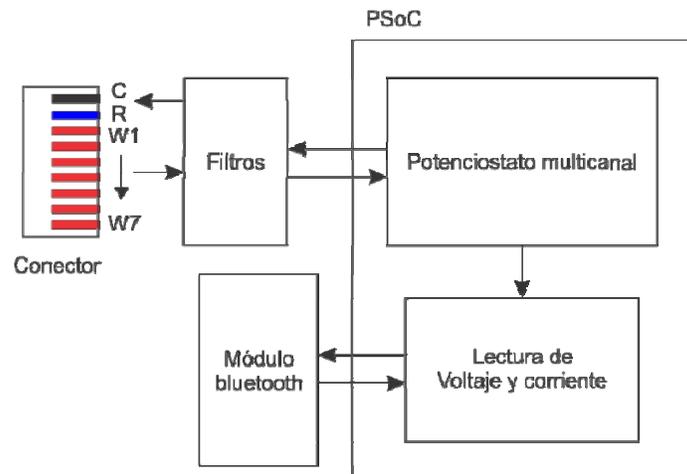


Figura 2
Esquema del equipo multicanal de medidas electroquímicas

El dispositivo mostrado en la figura 2, contiene un conector de nueve pines para acoplarse con la red de sensores de la figura 1, una etapa de filtrado para reducir el ruido eléctrico y garantizar mejores medidas, un potenciómetro multicanal para

aplicar la voltimetría cíclica a través de los siete electrodos de trabajo, un bloque para la lectura de los voltajes y corrientes resultantes de la voltimetría cíclica y finalmente un módulo de comunicación *bluetooth* para transmitir las señales adquiridas a la siguiente etapa.

Etapa 3. Software para reconocimiento y discriminación de muestras

Esta etapa es una de las más importantes de la lengua electrónica, se basó en el método estadístico conocido como análisis de componentes principales, el cual es preciso para representar n observaciones de p objetos, haciendo una reducción considerable de los datos y conservando la mayor información posible, con el fin de encontrar diferencias entre los objetos en estudio. El método utilizado para el reconocimiento de sabores puede resumirse en los siguientes pasos:

- En primer lugar se construyó una matriz (S) conformada por vectores de corriente provenientes de la aplicación de la voltimetría cíclica, la cual genera 240 valores y los envía por *bluetooth* al Smartphone. Cada vector forma una fila de la matriz, de manera que cada fila corresponde a una muestra en estudio. En la ecuación 1 se observa la matriz de datos construida.

$$S = \begin{bmatrix} i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1n} \\ i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ i_{p1} & i_{p2} & \dots & i_{pn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

- Luego de tener la matriz S constituida, se obtuvo la media de cada vector fila y a cada uno se le restó la media correspondiente, como se muestra en la ecuación 2, con lo cual se generó una nueva matriz (D) llamada desviación estándar, que se muestra en la ecuación 3.

$$d_{ij} = i_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n i_{ij} \quad (2)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{p1} & d_{p2} & \dots & d_{pn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Seguidamente se generó una matriz de covarianza (C) cuadrada de $n \times n$ a partir de la matriz D, como se muestra en la ecuación 4.

$$C = D' * D \quad (4)$$

- Luego de esto se extrajeron los vectores y valores propios de la matriz C, con lo cual se generaron dos matrices, una llamada v que contiene los vectores propios de C en forma de columna y una llamada λ diagonal que contiene los valores propios de C.
- Los vectores de v correspondientes a los valores propios más grandes, contienen la mayor información de la matriz S, a los cuales se les llama componentes principales, por lo tanto es posible eliminar el resto de vectores y de esta forma representar la información inicial a partir de un grupo reducido de datos.
- El siguiente paso es un producto punto entre los dos componentes principales y los vectores originales de la matriz S correspondientes a las muestras. Así se forman p valores correspondientes al producto punto entre las muestras y el primer componente principal y p valores correspondientes al producto punto entre las muestras y el segundo componente principal, teniendo en cuenta que p es el número de muestras en estudio.

- Finalmente a cada muestra le corresponden unos componentes principales que resumen toda la información, siendo las primeras componentes las que contienen mayor información, así es posible ubicar en un gráfico 2D o 3D los puntos obtenidos. La disposición espacial de los puntos da como resultado la agrupación y discriminación de los mismos de acuerdo al parecido que exista entre los vectores originales de S.

De acuerdo al algoritmo mostrado anteriormente, se desarrolló una aplicación Android capaz de conectarse vía *bluetooth* con el dispositivo, controlar la aplicación de la voltametría cíclica y finalmente ejecutar el análisis de componentes principales para el reconocimiento de sabores. Esta aplicación se desarrolló en el entorno de programación Android Studio, en el cual se diseñaron tres actividades, una para darle nombre a la muestra en estudio, la siguiente para controlar la aplicación de la voltametría cíclica en conjunto con el equipo desarrollado y la última para aplicar el análisis de componentes principales y mostrar el reconocimiento de sabores. Además se usó la librería *hellochart* con la que fue posible dotar a la aplicación de interactividad con el usuario, así se puede obtener información adicional de las sustancias analizadas al tocar zonas dinámicas de la pantalla.

3.- RESULTADOS

Montaje del dispositivo completo (mini-lengua electrónica)

La lengua electrónica contiene un sistema de sensores compuesto por siete electrodos de trabajo, uno de referencia y uno auxiliar, los cuales son conectados al dispositivo desarrollado a través de un cable de nueve conductores. El dispositivo está basado en la tecnología PSoC, por lo que en su mayoría se encuentra configurado en un mismo chip, permitiendo reducir el tamaño del sistema. Para el funcionamiento, el dispositivo sólo requiere ser conectado por un puerto USB a un cargador portátil que le suministre 5V, este equipo cuenta con una conexión *bluetooth*, la cual tiene un alcance de 5 a 10m, para la comunicación con la aplicación Android desarrollada e instalada en un Smartphone Samsung Galaxy Note 3, esta última encargada de la ejecución de los comandos necesarios para poner en marcha el proceso de análisis de muestras.

Aplicación Android

El diseño de la aplicación Android desarrollada para el análisis gustativo de muestras de leche se muestra en la figura 3. Como se puede notar, la aplicación contiene tres actividades o *Layout*. La primera de estas, mostrada en la figura 3A, es una ventana de configuración, en la que hay un campo de texto editable donde se debe colocar el nombre de la sustancia que se desea analizar, un botón llamado “TRY” para establecer la conexión *bluetooth* con el circuito y dar paso a la siguiente actividad, un botón llamado “PCA” que conduce a la tercera actividad y un botón llamado “RESET” que borra todos los datos que se encuentren guardados.

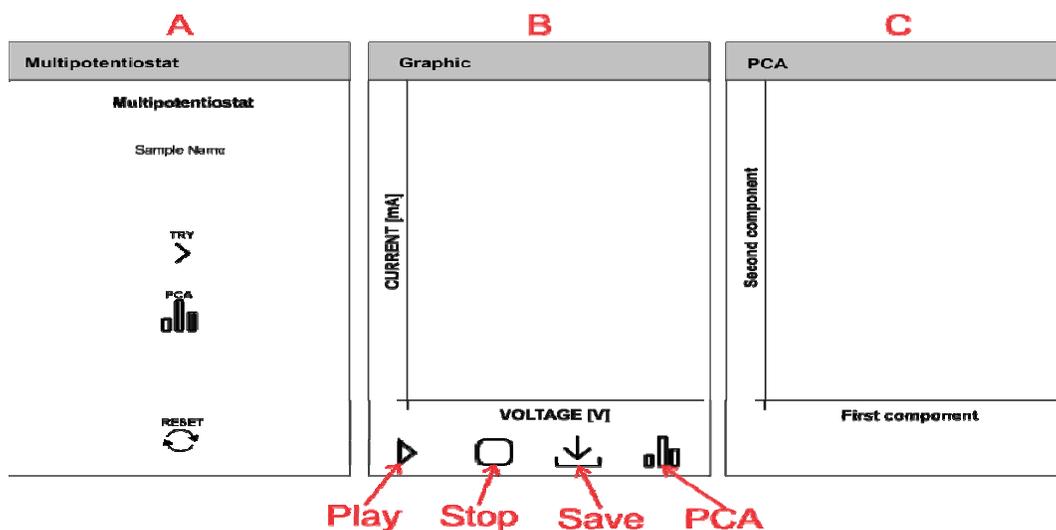


Figura 3

Aplicación Android para lengua electrónica A) Ventana de configuración, B) Ventana de control y C) Ventana de resultados

La segunda pantalla, mostrada en la figura 3B, ejecuta el proceso de obtención de los datos provenientes del circuito, en esta actividad se encuentra un espacio para graficar los voltamogramas con coordenadas de corriente respecto a voltaje, dos botones con el icono de “PLAY” y “DETENER” respectivamente, responsables de dar el mando para iniciar o detener la aplicación de voltametría cíclica a cada sensor de forma automática, un botón con el símbolo “GUARDAR” que guarda en una base de datos las corrientes y voltajes obtenidos en el proceso y un botón en forma de barras, el cual se muestra en la primera actividad haciendo referencia a la ejecución del algoritmo de PCA, que da paso a la tercera actividad donde se ejecuta el análisis de componentes principales.

La tercera actividad de este software, mostrada en la figura 3C, contiene un espacio de dos coordenadas para graficar los dos componentes principales, en esta ventana se muestra el resultado final de la lengua electrónica, donde es posible observar en forma de puntos agrupados la discriminación de muestras según sus propiedades gustativas.

Aplicación de la voltametría cíclica

La aplicación de esta técnica juega un papel importante para la obtención de información de la lengua electrónica, ya que a partir de esta se generan patrones únicos correspondientes a las particularidades fisicoquímicas y organolépticas de las muestras analizadas y su interacción con los sensores o electrodos electroactivos. En la figura 4 se muestran siete voltamogramas obtenidos en una muestra de leche entera y siete obtenidos en una muestra de la misma sustancia adulterada con agua.

Para obtener los voltamogramas, el software envió un comando vía *bluetooth* al equipo de medidas electroquímicas, el cual generó una rampa de potencial y la suministró a la sustancia. El equipo además registró las corrientes de cada electrodo de trabajo producidas durante la reacción y las transmitió vía *bluetooth* al Smartphone, donde finalmente el software se encargó de realizar la gráfica de estos datos. Las curvas de cada electrodo de trabajo se diferencian por sus colores, cada una se presenta con amplitudes y patrones únicos de acuerdo al material de cada sensor de trabajo y las propiedades fisicoquímicas de la muestra analizada, de esta forma se obtiene una huella dactilar de cada muestra que mediante el tratamiento estadístico de análisis de componentes principales permiten su discriminación y clasificación. En la figura 4A se muestran los voltamogramas obtenidos en una muestra de leche entera, mientras que los de la figura 4B corresponden a la misma muestra de leche adulterada con agua, donde se pueden notar ciertas diferencias en las curvas por causa de las particularidades en la composición química de cada muestra analizada. De esta manera, se puede decir que el sistema es capaz de responder con patrones diferentes ante sustancias con diferencias fisicoquímicas, lo cual es vital para que la siguiente etapa encargada del reconocimiento y discriminación de sabores. Para poner a prueba el dispositivo, éste fue enfrentado a un grupo de muestras de leche adulterada, para ello se prepararon 9 muestras de leche cruda; tres muestras se dejaron sin adulterar, tres se adulteraron con D-sorbitol y tres fueron adulteradas con ácido bórico (tabla 1).

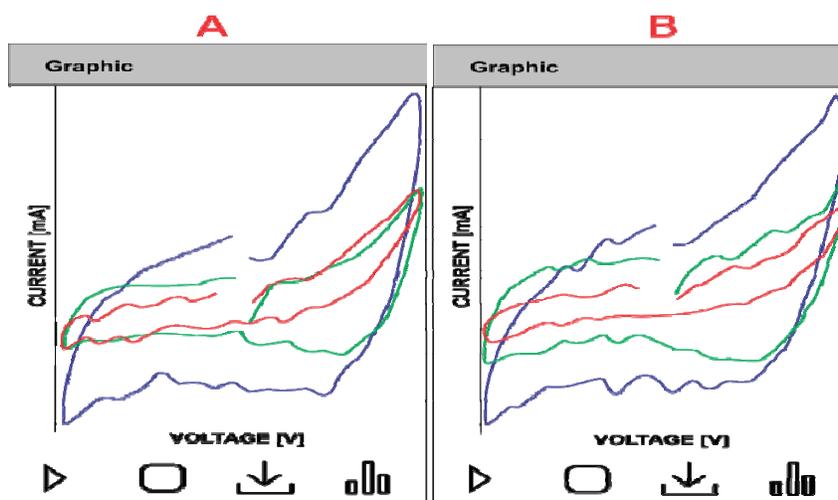


Figura 4
Voltamogramas obtenidos en leche, A) leche entera, B) leche entera adulterada

Análisis de componentes principales

Para poder discriminar las muestras, se registraron las señales voltamétricas de cada una de ellas y se guardaron en una base de datos. Con los datos de las señales registradas, la aplicación Android forma una matriz. Luego, la aplicación realizó el análisis de componentes principales a partir de la activación del comando PCA en la interfaz gráfica en el teléfono móvil. El resultado de este análisis es presentado en la figura 5.

Tabla 1
Muestras guardadas en la base de datos

Nombre	Muestra
Lech-1	Leche cruda (1 réplica)
Lech-2	Leche cruda (2 réplica)
Lech-3	Leche cruda (3 réplica)
LechSor-1	Leche cruda adulterada con D-sorbitol (1 réplica)
LechSor-2	Leche cruda adulterada con D-sorbitol (2 réplica)
LechSor-3	Leche cruda adulterada con D-sorbitol (3 réplica)
LechAbo-1	Leche cruda adulterada con Ácido bórico (1 réplica)
LechAbo-2	Leche cruda adulterada con Ácido bórico (3 réplica)
LechAbo-3	Leche cruda adulterada con Ácido bórico (3 réplica)

La figura 5 corresponde al análisis de componentes principales de las muestras en estudio, esta gráfica es un plano XY con ejes sin magnitudes, los ejes horizontal y vertical corresponden a la primera y segunda componente principal del análisis hecho. En la misma figura, se puede observar que la distancia entre dos puntos de un mismo color es mucho menor a la distancia entre dos puntos de colores diferentes. Para entender la respuesta, la aplicación le asignó un color a cada punto de acuerdo al nombre que se le colocó a las medidas en la primera pantalla, de forma que al mostrar el resultado final se pudieron hacer las correspondencias necesarias para conocer cada tipo de leche según el color de los puntos. Adicionalmente la aplicación permite observar el nombre de una muestra de forma dinámica al tocar cualquier punto, en la misma figura se puede apreciar que al tocar un punto la aplicación muestra un texto con el nombre de esa muestra, en este caso “Samplenameis: LechAbo-2”, este punto corresponde a la segunda réplica hecha sobre leche cruda adulterada con ácido bórico. Este resultado muestra la capacidad de la lengua electrónica desarrollada para discriminar el sabor de la leche cruda frente a leche adulterada, lo cual es vital en la industria de lácteos a la hora de valorar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas.

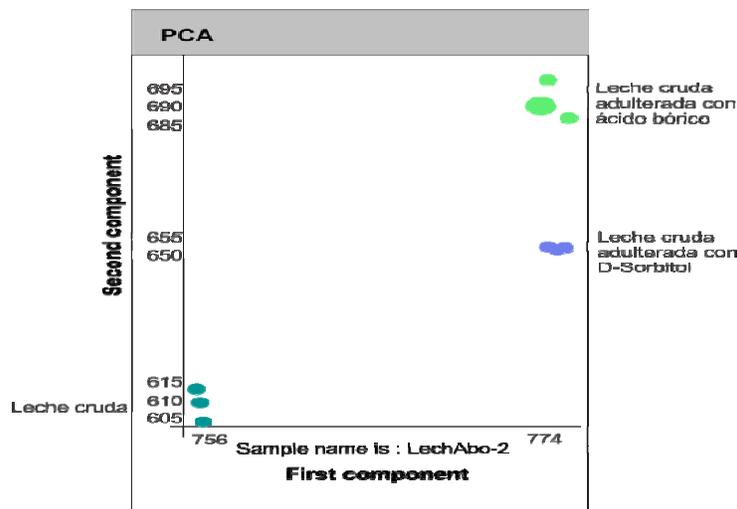


Figura 5.

Análisis de componentes principales en muestras de leche adulterada

4.- CONCLUSIONES

La tecnología PSoC permitió integrar todo un sistema multicanal de medidas electroquímicas en un mismo chip, lo cual redujo el tamaño del prototipo convirtiéndolo en la primera mini-lengua electrónica desarrollada a partir de esta tecnología. Haciendo posible la utilización de este equipo en el sector lechero, donde muchas veces se requiere hacer análisis de la leche cruda in situ.

La integración de este prototipo con un teléfono inteligente (Smartphone) Android también brinda facilidades para hacer el análisis de leche cruda en campo, ya que los cálculos que generalmente son hechos por equipos de cómputo en un laboratorio, en este caso son hechos por el dispositivo móvil, logrando además una reducción considerable del tiempo empleado para realizar este proceso. Todo el análisis tarda menos de cinco minutos por muestra y se puede de manera rápida discriminar distintos tipos de muestra de leche. Una vez realizados los registros de las muestras, la misma aplicación permite realizar el análisis de componentes principales para visualizar los resultados de manera inmediata.

El método estadístico para el reconocimiento de muestras basado en el análisis de componentes principales, es una herramienta vital para lograr la discriminación de los diferentes tipos de muestras de leche, ya que el sistema fue capaz de encontrar las diferencias entre los grupos de muestras en estudio y así ofrecer un resultado claro respecto a las propiedades gustativas de las sustancias analizadas. Lo cual convierte a este desarrollo en una herramienta tecnológica esencial para su aplicación in situ, cumpliendo los requerimientos por la industria de lácteos para evaluar la calidad de leche cruda en campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero brindado por Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias (contrato 0401-2013; código 1425-569-34740) y la Universidad Pontificia Bolivariana-seccional Montería

REFERENCIAS

1. Lindemann B. "Taste reception" en *Physiological Reviews*, 1996;76(3):719-766.
2. Jiang S, Wang J. "Internal quality detection of Chinese pecans (*Carya cathayensis*) during storage using electronic nose responses combined with physicochemical methods" en *Postharvest Biology and Technology*, 2016;118:17-25.
3. Mohtasebi S, Sanaeifar A, Ghasemi-Varnamkhasti M, Ahmadi H. "Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties" en *Measurement*, 2016;82:105-114.
4. Güney S, Atasoy A. "Study of fish species discrimination via electronic nose" en *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015;119:83-91.
5. Prieto-Simón B, Cetó X, Voelcker N. "Bioelectronic tongues: New trends and applications in water and food analysis" en *Biosensors and Bioelectronics*, 2016;79:608-626.
6. Lee C, Phat C, Moon B. "Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system" en *Food Chemistry*, 2016;192:1068-1077.
7. Blanco C, De la Fuente R, Caballero I, Rodríguez-Mendez M. "Beer discrimination using a portable electronic tongue based on screen-printed electrodes" en *Journal of Food Engineering*, 2015;157:57-62.
8. Arrieta A, Rodríguez-Mendez M, De Saja J. "Aplicación de una lengua electrónica voltamétrica para la clasificación de vinos y estudio de correlación con la caracterización química y sensorial" en *Química Nova*, 2010;33(4):787-793.
9. Goodey PA, McDevitt JT. "Multishell microspheres with integrated chromatographic and detection layers for use in array sensors" en *J. Am. Chem. Soc.*, 2003;125(10):2870-2875.
10. Borngräber R, Hartmann J, Lucklum R, Rösler S, Hauptmann P. "Detection of ionic compounds in water with a new polycarbon acid coated quartz crystal resonator" en *Sensors and Actuators B*, 2000;65(1):273-276.
11. Ezaki S, Liyama S. "Detection of interactions between lipid/polymer membranes and taste substances by quartz resonator" en *Sensor and Materials*, 2001;13(2):119-127.

12. Peris M, Escuder-Gilabert L. “On-line monitoring of food fermentation processes using electronic noses and electronic tongues: A review” en *AnalyticaChimicaActa*, 2013;804(4):29-36.
13. González J. *Técnicas y métodos de laboratorio clínico*, Masson, S.A. 2da Edición. Barcelona, España, 2005.
14. Lu L, Hu X, Tian S, Deng S, Zhu Z. “Visualized attribute analysis approach for characterization and quantification of rice taste flavor using electronic tongue” en *Analytica Chimica Acta*, 2016;919(5):11-19.
15. González A, Cetó X, Del Valle M. “Electronic tongue for nitro and peroxide explosive sensing” en *Talanta*, 2016;153(1):340–346.
16. Mar M, Sullam B, Blom E. “An architecture for a configurable mixed-signal device” en *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2003;38(3):565-568.
17. Arrieta A, Fuentes O, Palencia M. “Android and PSoC Technology Applied to Electronic Tongue Development” en *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2015;10(7):782-788.
18. Cabrera J, Velasco J. “Implementación de Filtros Análogos Usando PSoCs/FPAAs” en *Revista Colombiana de Física*, 2008;40(2):399-401.
19. Cabrera J, Velasco J. “Diseño e Implementación de un Sistema Embebido para el Procesamiento de Señales Ultrasónicas” en *Revista Colombiana de Física*, 2011;43(1):100-104.
20. Arrieta A, Fuentes O. “Lengua electrónica portátil para el análisis de leche cruda basada en tecnología PSoC (Programmable System on Chip) y Android” en *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2016;24(3):445-453.
21. Ballesteros K, Navas K, Arrieta A, Fuentes O. “Sistema electrónico basado en tecnología PSoC para la caracterización electroquímica de materiales mediante la técnica de voltametría cíclica” en *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, 2016;1(27):86-90.
22. Dantu V, Vempati J, Srivilliputhur S. “Non-invasive blood glucose monitor based on spectroscopy using a smartphone”, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 36th Annual International Conference of the IEEE. Chicago, Estados Unidos. 2014.
23. Lopez N, Curto V, Erenas M, Benito-López F, Diamond D, Palma A, Capitan L. “Smartphone-based simultaneous pH and nitrite colorimetric determination for paper microfluidic devices” en *Analytical chemistry*, 2014;86(19):9554–9562.
24. López-Ruiz N, Martínez-Olmos A, Pérez de Vargas-Sansalvador IM, Fernández-Ramos MD, Carvajal MA, Capitan-Vallvey LF, Palma AJ. “Determination of O₂ using colour sensing from image processing with mobile devices” en *Sensors and Actuators B*, 2012;171:938-94.
25. Lee Y, Cho S. “Activity recognition with android phone using mixture-of-experts co-trained with labeled and unlabeled data” en *Neurocomputing*, 2014;126:106-115.
26. BVT Technologies, Hoja técnica de sensores referencia AC9, http://www.bvt.cz/_ftp/Senzory%20new/AC9Cn.pdf.

AUTORES

Alvaro Arrieta Almario, Lic. En Química y Biología, PhD., Departamento de Biología y Química-Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia, alvaro.arrieta@unisucre.edu.co.

Oscar Fuentes Amin, Ing. Electrónico, Grupo de investigaciones DANM – Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia, oscar.fuentes.amin@gmail.com

Kevin Navas Oyola, Ing. Electrónico, Grupo de investigaciones DANM – Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia, knavas@naver.com