

## APLICACIÓN DE UNA LENGUA ELECTRÓNICA PARA LA CLASIFICACIÓN DE VINOS

### APPLICATION OF ELECTRONIC TONGUE FOR CLASSIFICATION OF WINES

**PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo, MSc. Aylen Lisset Jaimes Mogollón**  
**PhD. Oscar Eduardo Gualdron Guerrero**

#### Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: (+577) - 5685303, Fax: (+577) 5685303, Ext. 144.

E-mail: {cmduran@unipamplona.edu.co, lissetjaimes@gmail.com,  
oscar.gualdron@unipamplona.edu.co}

**Resumen:** En este artículo se presenta una aplicación sensorial basada en una lengua electrónica para la captación y clasificación de algunos tipos de vinos comerciales (espumoso, santa rita, uva moscatel, vino blanco), con el objetivo de demostrar que el equipo tiene la capacidad de discernir las diferentes clases.

**Palabras clave:** Lengua electrónica, PCA, sensores, vinos, extracción característica.

**Abstract:** This paper presents a sensory application based on an electronic tongue for the detection and classification of some types of commercial wines (sparkling wine, Santa Rita, Moscatel "sweet dessert wine", white wine), in order to show that the equipment has the ability to discern the different types of wines. Some algorithms for signal processing based on extraction techniques, features, and statistical methods such as principal component analysis (PCA) were implemented, to recognize patterns from a data set. The results obtained based on the experimental tests were 96.6% of variation in the data set, concluding that the sensory system is capable of discriminate the different types of wines.

**Keywords:** Electronic tongue, PCA, sensors, wines, extraction techniques.

## 1. INTRODUCCIÓN

A través de la historia y gracias a los sentidos, el ser humano encontró, en sus cinco órganos sensoriales, instrumentos naturales, para conocer y relacionarse con el mundo y su entorno. El estudio de ello ha sido una tarea ardua en la consecución y construcción de variedad de artefactos tecnológicos, a manera de herramientas que extienden y amplían las habilidades humanas (Arrieta, 2011).

La invención de la lengua electrónica y sus avances tecnológicos permite evolucionar en un sistema con fines sensoriales aplicados fundamentalmente al análisis de alimentos.

Las exigencias de la industria de la alimentación hacen necesario desarrollar métodos de análisis y control cada vez más precisos, eficaces y confiables, que permitan asegurar la calidad y potenciar la competitividad de este sector.

La lengua electrónica (LE) es un emulador de la lengua humana, su objetivo es trabajar bajo la misma filosofía de los paneles de catación. Estos dispositivos generan datos de la composición global de la matriz a través del sensado. Una de las ventajas de este equipo es que no requiere personal cualificado, es de bajo costo a comparación de los equipos estándar (por ejemplo, HPLC- *High-*

*performance liquid chromatography*), portabilidad y obtención de resultados de una forma más rápida.

La lengua humana no genera datos, la información se obtiene por la apreciación global, que un catador ofrece sobre las propiedades gustativas de la sustancia (Arrieta, 2011).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La realización de las pruebas con la lengua electrónica se fundamentó principalmente en la estructura y portabilidad del equipo utilizado “BIPOTENCIOSTATO modelo  $\mu$ STAT 200” de la empresa Dropsens, el cual permitió realizar un análisis electroquímico a través de electrodos serigrafiados.

### 2.1 Descripción general del equipo

En la figura 1 se presenta el esquema general de la lengua electrónica compuesta de: muestras, sensor, bipotenciostato, tratamiento de datos.

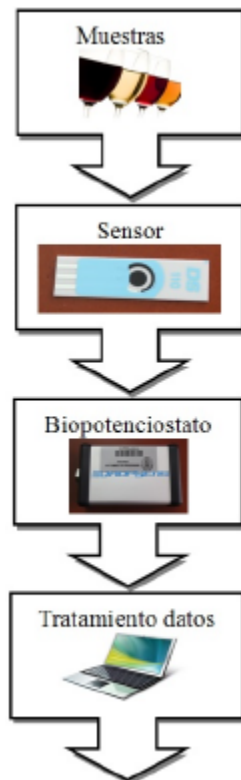


Fig. 1. Esquema general de la lengua Electrónica.  
Fuente: Autores.

En la figura 2 se observa el equipo  $\mu$ STAT 200, provisto principalmente del potenciostato, cable de conexión USB y cable de los sensores.



Fig. 2. Biopotenciostato modelo  $\mu$ STAT 200  
Fuente: Autores.

Los sensores son electrodos serigrafiados fabricados con pastas de diferentes materiales como carbono, oro y plata, los cuales son utilizados para un gran abanico de aplicaciones. ([www.Dropsens.com](http://www.Dropsens.com)) (Tabla 1).

Tabla 1: Descripción de los electrodos serigrafiados.

Sensor	Referencia	Descripción
Electrodo Serigrafiado de Carbono.	DRP-C110	El electrodo de trabajo y el auxiliar son de carbono mientras que el electrodo de referencia es de plata, al igual que los contactos eléctricos.
Electrodos Serigrafiados de Oro.	DRP-220AT	El electrodo de trabajo y el auxiliar son de oro mientras que el electrodo de referencia es de plata, al igual que los contactos eléctricos.
Electrodos Serigrafiados de plata.	DRP-550	El electrodo de trabajo y el auxiliar son de platino mientras que el electrodo de referencia es de plata, al igual que los contactos eléctricos.

Un sensor químico es un dispositivo capaz de traducir la información química de una muestra en una señal eléctrica.

En la figura 3, se presenta un electrodo serigrafiado, el cual es una celda electroquímica típica formada por tres electrodos: electrodo de trabajo (W), electrodo de referencia (R) y electrodo auxiliar (A). En la superficie del electrodo de trabajo tendrá lugar el proceso electroquímico que

va a estudiar. Para ello se aplica una diferencia de potencial eléctrico entre (W) y (R) de modo que se pueda forzar procesos de oxidación o reducción.

La función del electrodo auxiliar es conseguir que la corriente eléctrica circule entre (W) y (A) evitando que pase por (R).

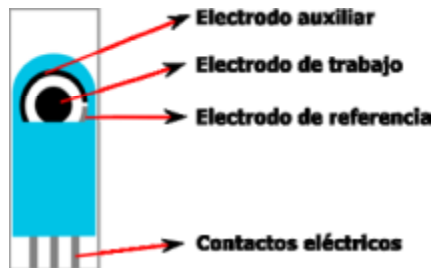


Fig. 3. Electrodo serigrafiado.

Fuente: Página web Dropsens.com

El software utilizado para la realización de las diferentes pruebas fue el siguiente:

- El *software DropView* para controlar el equipo (LE) y permitir el control experimental, así como la representación gráfica y análisis de resultados
- El *software Matlab* para el procesado de datos.

## 2.2 Métodos de procesamiento de datos

A continuación, se describen brevemente los métodos de pre-procesamiento y procesamiento de datos, los cuales fueron utilizados para el análisis y la clasificación de las medidas.

### 2.2.1 Pre-procesamiento de datos

En la etapa de pre-procesado, se empleó una técnica para realizar las funciones de normalización.

### 2.2.2 Centrado de datos

En esta normalización a cada una de las columnas (sensores) se resta su valor medio, es decir, toda medida es descrita por variables de media nula.

Inicialmente, este algoritmo fue desarrollado para extraer las características de los datos en términos de la variación de la respuesta del sensor.

Una vez los datos fueron pre-procesados, se generó un modelo de clasificación con el fin de proyectarlos en un plano bidimensional, y así de esta forma discriminar las diferentes sustancias (Park, 2005).

### 2.2.3 Procesamiento de datos

En esta etapa se empleó el análisis multivariado, el cual es un método que generalmente implica reducir la dimensionalidad del conjunto de datos. Es un proceso en el que las variables son correlacionadas y permiten que la información se presente en una dimensión más reducida (por ejemplo, sólo en dos componentes principales). Esta relación significa que las primeras dos dimensiones o las primeras dos nuevas variables capturan la mayoría de la información contenida en el conjunto de datos.

### 2.2.4 Análisis PCA

El método estadístico de reconocimiento de patrones PCA es una técnica de uso frecuente ya que se basa en el análisis multivariado; es un algoritmo lineal no supervisado en el que se proyectan los datos de varios sensores en un plano de dos dimensiones (Cadima, 2004).

El método PCA determina los componentes que mejor representan los datos de acuerdo con el error mínimo cuadrado. También su principal función en la aplicación con la Lengua Electrónica fue discriminar el conjunto de medidas en un número determinado de clusters, mediante la observación de los vectores eigenvalue que corresponde a los eigenvectors generados por el algoritmo.

El algoritmo PCA se ejecuta con una interfaz de usuario dando la posibilidad de seleccionar los sensores y las categorías que se muestran en forma gráfica, lo que permite obtener las agrupaciones deseadas en forma rápida.

### 2.2.5 Conjunto de medidas

En la figura 4 se observa los 4 tipos de vinos comerciales (Vino uva moscatel, vino blanco, vino espumoso y vino Santa Rita), que fueron usados para la aplicación.



Fig. 4. Muestras de vinos.

Fuente: Autor del proyecto.

La idea fue recopilar una serie de muestras comerciales, con el fin de compararlas con los resultados de la lengua electrónica y observar si el equipo podía distinguirlas.

### 2.3 Protocolo de medición

En la figura 5 se observa el montaje experimental para la realización de las diferentes pruebas.



Fig. 5. Montaje experimental.

Fuente: Autor del proyecto.

Para realizar las medidas se utilizó 0.1 ml de cada tipo de vino vertiéndolo sobre la superficie de trabajo del electrodo, tal y como se observa en la figura 6.



Fig. 6. Sensor y muestra.

Fuente: Autor del proyecto.

Para el protocolo en la adquisición de las medidas se configuró el software Dropview con los siguientes parámetros:

Valor de inicio: 0.0 v  
Paso: 0.005  
Muestreo: 0.05  
No. de vueltas: 1  
Zona de amplitud: -1 v a 1 v

Se adquirieron seis medidas por cada muestra, con los tres tipos de sensores (carbono, oro, plata), para un total de 72 señales.

Para cada sustancia se utilizaron tres tipos de sensores diferentes, obteniendo de cada uno seis muestras, con un tiempo de reposo entre cada medida de un minuto. El tiempo total de cada medida fue de aproximadamente 75 segundos.

En la figura 7 se presenta una imagen de las señales adquiridas por cada sensor del vino espumoso. Para cada tipo de vino se realizaron las mismas muestras con los tres tipos de sensores, tal y como se ilustra en la figura 8.

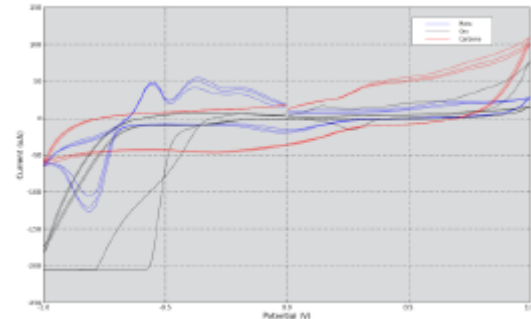


Fig. 7. Señales de vino espumoso, registradas con los tres tipos de sensores serigrafiados.

Fuente: Autor del proyecto.

Se deduce según la gráfica que el sensor con mejor respuesta es el “Serigrafiado de carbono”.

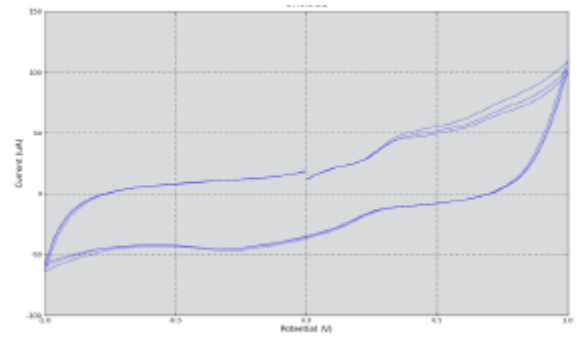


Fig. 8. Señales registradas de vino espumoso, sensadas con el electrodo serigrafiado carbono.

Fuente: Autor del proyecto.

Las figuras 9, 10 y 11 se ilustran las respuestas de las señales comparativas entre los tres sensores con los cuatro tipos de vinos

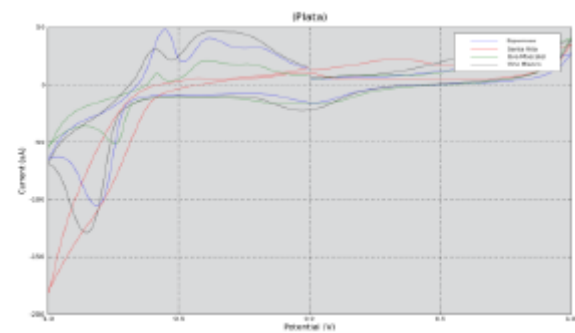


Fig. 9. Señales comparativas sensor serigrafiado de plata.

Fuente: Autor del proyecto.

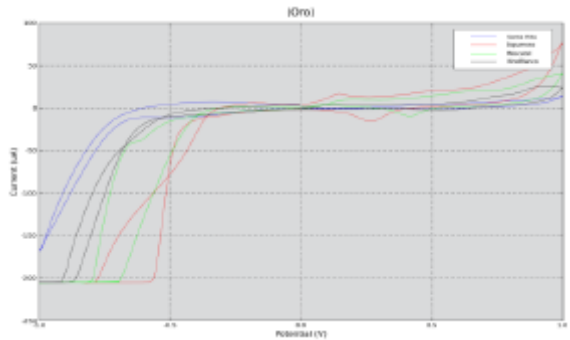


Fig. 10. Señales comparativas sensor serigrafado de oro.

Fuente: Autor del proyecto.

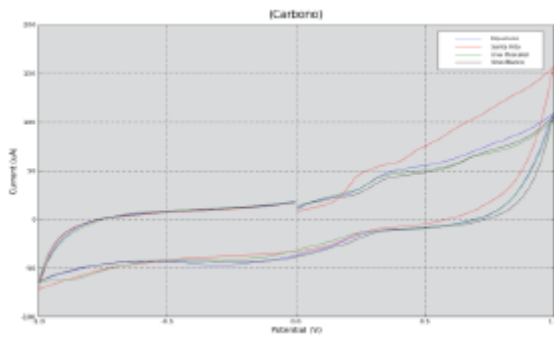


Fig. 11. Señales comparativas sensor serigrafado de carbono.

Fuente: Autor del proyecto.

En las señales observamos la respuesta de las pruebas en las cuales se trabajó la voltametría cíclica, seleccionada para esta aplicación por ser un método de análisis electroanalítico; consiste en que la diferencia de potencial aplicada al electrodo de trabajo varía linealmente entre un valor inicial ( $E_i$ , potencial inicial) y un valor límite ( $E_{v1}$ , primer potencial de giro). En este punto el sentido del barrido de potencial cambia hasta que el potencial vuelve al potencial inicial. (Bagotsky, 2005). Durante el experimento se registra la corriente eléctrica que circula por la celda electroquímica.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la interfaz gráfica de usuario del software Dropview, se adquirieron los datos en tiempo real y se lograron clasificar las categorías mediante el algoritmo PCA el cual fue implementado en MATLAB.

Durante el desarrollo de las pruebas se concluyó que para este tipo de sustancia el sensor que mejor da una respuesta es el de carbono, ya que la señal no se satura y presenta una mejor repetitividad.

Se obtuvo una matriz de  $24 \times 780$  partir de 4 categorías la cual permitió aplicar la técnica PCA, para su posterior análisis.

En la figura 12 se ilustra el resultado la técnica PCA a un conjunto de datos adquiridos, el cual determina claramente la discriminación de los cuatro tipos de vino.

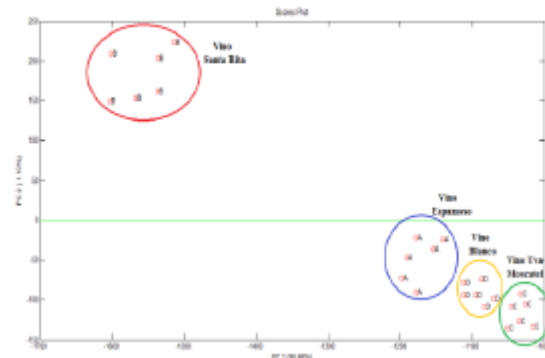


Fig. 12. Gráfica PCA con un total de varianza del 96,66%, LE

Fuente: Autor del proyecto.

En total se obtuvo un 96.66% de varianza capturada en el conjunto de datos al momento de la selección de los dos primeros componentes principales (scores). Este resultado demostró la buena repetitividad y selectividad del equipo al momento de la realización de las diferentes pruebas.

### 4. CONCLUSIONES

En este estudio se determinó la efectividad del equipo Dropsens, “ $\mu$ STAT 200” al momento de detectar cada una de las muestras de varios tipos de vino comerciales.

Es necesario resaltar que una lengua electrónica no solo está compuesta por un biopotenciostato sino por un conjunto de subsistemas tales como: sensores, un equipo de adquisición y diferentes métodos de reconocimiento de patrones para el análisis de los compuestos volátiles.

Durante la adquisición de las medidas, uno de los principales inconvenientes fue la falta de repetitividad de los sensores, ya que notamos que, al hacer reacción química de la capa activa del sensor con la sustancia volátil, este generaba cambios en la respuesta del mismo para una próxima muestra, por lo que se ajustaron los tiempos de recuperación de cada electrodo.

Una de las ventajas del equipo es la portabilidad, ya que el sistema permite ser fácilmente transportado y acondicionado a los lugares donde se requiera realizar nuevas muestras.

Aunque en este trabajo no se realizaron comparaciones directamente con un panel de expertos o un equipo estándar, los resultados obtenidos demostraron la viabilidad de una legua electrónica para ser aplicada al análisis de diferentes tipos de muestras; por lo que para un futuro trabajo es de gran importancia realizar comparaciones con otros tipos de métodos (HPLC).

## 5. RECONOCIMIENTO

Los autores reconocen y agradecen las contribuciones del Grupo de Investigación Sistemas Multisensoriales y Reconocimiento de Patrones de la Universidad de Pamplona.

## REFERENCIAS

- Arrieta, A. (2011). "Desarrollo de una red de sensores inteligentes basados en polímeros conductores para el análisis sensorial del café" Discrete Event Fuzzy Airport Control". Revista Universitas científica, No. 22.
- Park, S. (2005). J. H. Na, J. Y. Choi, "PCA-based feature extraction using class information Myoung, Systems", Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on, Vol. 1, pp. 341-345.

- Bagotsky, V.S. (2005). *Fundamentals of Electrochemistry*. Wiley, N. Jersey, second edition.
- Cadima, J. (2004). Computational aspects of algorithms for variables selection in the context of principal components, *Computational Statics & Data Analysis*, Vol. 47, No. 2, pp. 225-236.
- Ciosek, P. and Wroblewski, W. (2008). Miniaturized electronic tongue with an integrated reference microelectrode for the recognition of milk samples, *Talanta*, Vol. 76, No. 3, pp. 548-556.
- Collings, V. (1974). Human taste response as a function of locus of stimulation on the tongue and soft palate, *Perception & Psychophysics*, Vol.16, No. 1, pp. 169-174
- Durán, C.; Gualdrón, O. y Carvajal, A. (2011). Herramienta de adquisición, análisis y procesamiento de Datos para sistemas multisensoriales y espectrometría de Masas. *Revista Colombiana de Tecnologías De Avanzada*, Vol. 1, No. 17, pp. 16-23.
- Gutes, A.; Cespedes, F. and Del Valle, M. (2007). Electronic tongues in flow analysis, *Analytica Chemical Acta, Anal Chem Acta*, (1-2), pp. 90-96.
- Peres, A. M.; Dias, L. G.; Ana, C. A.; Veloso, S. G.; Meirinho, J.; Sa, Morais, A. S. C. and Machado. (2011). An electronic tongue for gliadins semi-quantitative detection in foodstuffs, *Talanta*, Vol. 83, pp. 857-864.