

Vigilancia de la calidad del agua potable mediante el uso de lenguas electrónicas

Monitoring of drinking water quality through the use of electronic tongues

ARRIETA, Alvaro A.¹
MÁRQUEZ, Said A.²
CONSUEGRA, Adolfo.³

Resumen

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la vida, su potabilidad es determinante en el desarrollo socioeconómico y la salud pública. Dado que el uso de lenguas electrónicas en el análisis de calidad del agua ha adquirido gran importancia, en este documento se hace una discusión sobre el desarrollo de esta tecnología, sus aplicaciones y sus capacidades como herramienta analítica emergente, con énfasis en el monitoreo y evaluación de la calidad del agua potable.

Palabras clave: Lengua electrónica, agua, electroquímica

Abstract

Water is a fundamental resource for the development of life, its drinkability is decisive in socioeconomic development and public health. Since the use of electronic tongues in the analysis of water quality has become very important, this paper discusses the development of this technology, its applications and its capabilities as an emerging analytical tool, with emphasis on monitoring and evaluation of the quality of drinking water.

Key words: Electronic tongue, water, electrochemistry

1. Introducción

En las últimas décadas ha habido una creciente preocupación por la calidad del agua potable debido a su relación con la ocurrencia de diversas enfermedades emergentes y reemergentes, principalmente en países en vía de desarrollo. Por lo tanto, garantizar el acceso a agua potable es fundamental para mejorar las condiciones de salud de la población y evitar la trasmisión de enfermedades. Por otra parte, el suministro de agua potable sana, limpia y apetecible es un requisito fundamental de los organismos de vigilancia y control del agua potable en todo el mundo. Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable (WHO., 2008) se utilizan como base para las normas de la directiva sobre agua potable (DWD) (EU Directive 98/33/EC.,1998). Es por ello, que “la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (VCACH) es una estrategia que tiene

¹ Departamento de Biología y Química. Universidad de Sucre. Grupo de Investigación DEIMAV – Desarrollo e Innovación en Materiales Avanzados. alvaro.arrieta@unisucre.edu.co

² Departamento de Biología y Química. Universidad de Sucre. Grupo de Investigación DEIMAV – Desarrollo e Innovación en Materiales Avanzados. said.marquez@unisucre.edu.co

³ Departamento de Biología y Química. Universidad de Sucre. Grupo de Investigación CRHIA – Conservación del Recurso Hídrico y Alimentos. adolfo.consuegra@unisucre.edu.co

como objetivo garantizar el acceso de la población a la calidad del agua compatible con las normas de potabilidad de la World Health Organization" (WHO., 2011). Estos estándares internacionales han motivado el surgimiento y la búsqueda de tecnologías innovadoras para la evaluación de la calidad de este recurso.

Aunque se han logrado avances significativos en tecnologías para vigilar la calidad del agua potable. Los informes preparados a través de la Coalición Mundial de Investigación del Agua (GWRC) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) coinciden en que, aunque muchas de las tecnologías emergentes son prometedoras, todavía están a algunos años de ser desplegadas a gran escala (Storey. M., 2011). En este sentido, la tecnología de las lenguas electrónicas es una de las más prometedoras, sobre todo las basadas en redes de sensores electroquímicos. Por ello, resulta evidente la necesidad de documentar el desarrollo y aplicación de estos sistemas analíticos basados en sensores electroquímicos en la evaluación de la calidad del agua potable. Existe una extensa información técnica sobre los distintos tipos de sistemas de lenguas electrónicas y sus aplicaciones, algunas de las cuales abordan la evaluación de la calidad del agua potable. Hasta el momento, muchos artículos de revisión sobre lenguas electrónicas han sido publicados (Krantz-Rülcker C et al., 2001; Vlasov et al., 2005; Anand et al., 2007; Winqvist., 2008; Ghasemi-Varnamkhasti, et al., 2010; Kobayashi et al., 2010; Mimendia et al., 2010; Riul Jr et al., 2010; Tahara, Yu et al., 2013; Cetó, et al., 2016; Zhenbo Wei, et al., 2018). Sin embargo, los trabajos centrados en la aplicación de estos sistemas en la evaluación de la calidad del agua potable son muy escasos. Por lo que esta contribución se constituya en un aporte importante sobre los sistemas de lenguas electrónicas como herramienta analítica emergente en el monitoreo de la calidad del agua potable.

2. Sistemas experimentales de lengua electrónicas

Los primeros enfoques comienzan con las investigaciones realizadas por Otto y Thomas, no antes de 1985 (Otto and Thomas., 1985), desarrollan un "sistema para análisis en líquidos" basado en un sistema con matrices de sensores usando electrodos selectivos a iones (ISEs), disponibles comercialmente. A partir de estos sistemas multisensores, emprenden a diseñar y presentar numerosos dispositivos de este tipo, rotulados como "lenguas electrónicas".

Uno de los primeros precedentes en el campo de las lenguas electrónicas se dio con Toko en 1985, quien presenta la primera versión como sistemas de análisis multisensor (red de sensores), el cual llamó sensores de sabor. Esta es una tendencia diferente, bioinspirada, en el sentido del gusto; consiste en desarrollar un conjunto de sensores inspirados en las papilas de la lengua humana. Toko et al., patentan este sensor del sabor en 1989 y desarrollan sensores de membrana de lípidos/polímeros (Toko., 1989), cuyo objetivo consistió en determinar los sabores básicos: dulce, salado, ácido, amargo y umami (sabor propio del glutamato sódico, o llamado sabroso en el Japón) (Vlasov et al., 2002). En 1992, a Toko y colaboradores le publican el que se considera el primer artículo sobre lenguas electrónicas (Toko et al., 1992).

Legin y colaboradores diseñan una segunda versión de lengua electrónica conformada por un conjunto de electrodos selectivos en estado sólido desarrollados a base de vidrio calcógeno (Legin et al., 1997; Vlasov et al., 2000; Labrador., 2009).

Mientras, que en 1995 Vlasov y colaboradores proponen una lengua electrónica (Vlasov et al., 1997) como un sensor utilizado para analizar soluciones utilizando las matrices de sensores no específicos y el reconocimiento del patrón (Vlasov et al., 2005., Winqvist., 2008). Winqvist y Lundström, por su parte informaron de una lengua electrónica voltamperométrica en 1997 (Winqvist et al., 1997). Desde este momento el término "lengua electrónica" es utilizado formalmente, definido como "instrumento analítico que incluye una matriz de sensores químicos de respuesta no específica y cruzada, combinada con herramientas quimiométricas para el procesamiento de la información". Posteriormente la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), define: "la lengua electrónica como un instrumento analítico que comprende una matriz de sensores químicos

de respuesta poco selectiva y que utiliza procedimientos matemáticos avanzados para el procesamiento de la señal basados en el reconocimiento de patrones y/o calibración multivariante para procesamiento de datos"(Vlasov et al.,2005).

Entre los métodos multivariantes más importantes para el análisis estadístico de datos obtenidos mediante lengua electrónica se encuentran el análisis de componentes principales (PCA), regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) y el proceso de control estadístico multivariante (MSPC) (Fuentes., 2017).En primera aproximación, el PCA se considera una técnica exploratoria y de pretratamiento de los datos (reducción de dimensiones), que contribuyen a explicar su mayor varianza como paso previo a la obtención del modelo de calibración (Palacios, J.M., 2003).

En términos generales, las lenguas electrónicas emulan o imitan el sistema gustativo humano; descrito en detalle en Lindemann., 1996; Ha et al., 2015, por ello también se les suele llamar dispositivos analíticos bioinspirados o biomiméticos, "que determinan atributos del líquido analizado" (Comina et al., 2009). La similitud se manifiesta en cada una de sus etapas a saber. La similitud se manifiesta en cada una de sus etapas a saber.

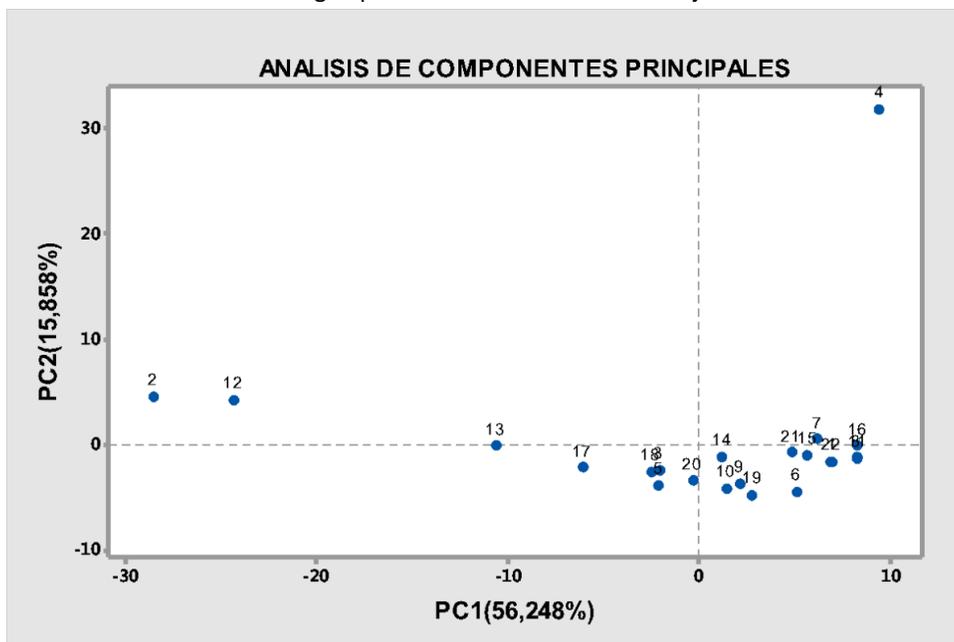
La primera etapa es una red de sensores inespecíficos, las que toman información de una sustancia, esta labor es cumplida biológicamente por las células gustativas de la lengua humana. Una segunda etapa comprende la adquisición y tratamiento de las señales, lo cual equivale en el sistema biológico a la función cumplida por el tálamo, que toma los pulsos eléctricos generados en la lengua y los transmite al cerebro. En el cerebro las neuronas procesan la información de la memoria y asocian el nuevo producto a un sabor conocido que equivale al trabajo que realiza un ordenador (procesamiento de datos), mediante "herramientas quimiométricas multivaracional, hace un análisis de los datos para reconocer patrones de medidas o realiza clasificaciones por analogía con análisis previos" (Labrador et al., 2009).

Con base a la analogía anterior, las lenguas electrónicas, como equipo, fundamentalmente se desarrollan en tres bloques: la red de sensores inespecíficos; equipo multicanal de adquisición de señales; sistema de procesado de datos (sistema de cómputo), permiten aplicaciones cualitativas y cuantitativas en medios líquidos. Para su diseño se siguen básicamente dos técnicas electroquímicas: potenciometría y voltametría; técnicas bien conocidas e importantes en la química analítica (Ouyang et al., 2013; Newman et al., 2014; Shirmardi et al., 2016; Ozdemir et al., 2017; Urmila et al., 2017; Zhenbo et al., 2018). La principal diferencia entre ambos enfoques es que en la potenciometría el potencial entre dos electrodos se controla sin flujo de corriente mientras que en voltametría se aplica un potencial al electrodo de trabajo y se mide la corriente de las especies oxidadas o reducidas (Winqvist., 2008). Sus ventajas y limitaciones son abordados por Holmin et al., 2004 (Riul et al., 2010). En términos de lengua electrónica, los "sensores" son parte fundamental en el funcionamiento de tales sistemas. Los sensores más empleados en los sistemas de lenguas electrónicas son los electroquímicos o con transducción electroquímica (es decir, potenciométricos, voltamétricos, o impedimétricos) (del Valle., 2008; Riul et al., 2010). Según el informe de la IUPAC, la sensibilidad cruzada es la capacidad de un sensor para responder de forma reproducible a varios analitos diferentes en la solución (Vlasov et al., 2005).

Para mejorar las aplicaciones analíticas de los sensores electroquímicos, que conforman las lenguas electrónicas se han desarrollado nuevos avances con matrices de sensores formados por electrodos modificados químicamente con sustancias electroactivas (polímeros conductores, complejos de ftalocianina y perileno entre otros) y sofisticadas técnicas de procesamiento de datos para interpretar los resultados. En la literatura especializada se han hecho buenos aportes (Krantz-Rulcker et al., 2001; Arrieta et al., 2003,2004,2005, 2006; 2009 Martina et al., 2007;Tagliazucchi et al., 2008; Comina., 2010; Gay Martín et al., 2012; Campos et al., 2013; Manzoli et al 2014; Cetó et al., 2015; Rodríguez 2016; Nag et al., 2018).Por ejemplo, en(Mahato and Adhikari., 2017), se implementa un sistema para el monitoreo de la calidad del agua potable, mediante una lengua electrónica basada en electrodos de membrana de "polímeros funcionalizados" con un electrodo de referencia

Ag / AgCl. Asimismo, se han implementado el uso de microcontroladores en sistemas que, además de medir el potencial, puedan realizar el análisis de datos relevantes mediante un programa de software implementado en la memoria del microcontrolador. Mediante un microcontrolador que es un Microchip basado en un algoritmo de red neuronal ARTMAP difuso, se puede clasificar las aguas potables (García-Breijo et al., 2011). Igualmente se ha utilizado microcontroladores a base de tecnología PSoC (Programmable System on Chip o sistema programable en chip) en el desarrollo de lengua electrónica. Precisamente, Arrieta et al., 2015, 2016 desarrolló un dispositivo de lengua electrónica con esta tecnología que permite la ejecución de una técnica de adquisición de señales conocida como voltametría cíclica, y una aplicación Android dotada de comunicación bluetooth para controlarlo, que es capaz de discriminar y clasificar la calidad en muestras de leche cruda (Arrieta et al., 2015, 2016), como también en muestras de leche fresca adulterada con almidón, con la novedad que la red de sensores voltamétricos son modificados químicamente con polipirrol, para aumentar su sensibilidad (Arrieta et al., 2018). Este dispositivo de lengua electrónica apoyado en el análisis de componentes principales PCA mostró una buena capacidad de discriminación hacia muestras de agua potable de diferentes puntos de muestreo. En la figura 1, se presenta el resultado del análisis de componentes principales generados en este análisis. La primera componente principal explica la mayor información (56,248%) y la segunda componente principal solo el 15,858%) para un total de 72,106% de la información recogida por la varianza total. Lo que demuestra que la lengua electrónica desarrollada con sensores poliméricos se puede utilizar para realizar mediciones voltamétricas en la clasificación de muestras de agua potable. Todos estos avances mencionados anteriormente se ven reflejados en el creciente interés de desarrollar sistemas de lenguas electrónicas, útiles para diversas aplicaciones incluidas el control de calidad y monitoreo de aguas (Zhylyak et al., 1995; Campos et al., 2010; Mimendia et al., 2010; Cavanillas et al., 2015).

Figura 1
PCA obtenida del análisis realizado con una lengua electrónica voltamétrica en muestras de agua potable de la ciudad de Sincelejo – Colombia



3. Sistemas de lenguas electrónicas desarrolladas para la evaluación de la calidad del agua potable

Los primeros intentos por desarrollar sistemas de lenguas electrónicas en el análisis de agua se iniciaron con los trabajos de (Toko et al., 1995; Legin et al., 1995; Taniguchi et al., 1999), en particular en la evaluación de la calidad del agua potable. Legin et al. (1999), aplica una lengua electrónica potenciométrica y herramientas multivariantes de PCA y PLS, para el análisis de aguas minerales fabricadas en Italia y el agua del grifo de la red de suministro urbano de Roma. Simultáneamente con el reconocimiento cualitativo, realizó una determinación cuantitativa de algunos componentes o especies iónicas en el agua, por ejemplo, HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , etc.

Krantz-Rülcker et al., en 2001, aborda las aplicaciones de las lenguas electrónicas en la caracterización en muestras en planta de potabilización de agua y en grifos de suministro urbano. Para este estudio utiliza la lengua electrónica basada en voltametría pulsada creada por Winquist con electrodos de Au, Ir, Rh y Pt (Alcañiz et al., 2011; Krantz-Rülcker et al., 2005), junto con el uso de herramientas de análisis multivariacional como el Análisis de Componentes Principales (PCA), para monitorear la eficiencia de una planta de producción de agua potable. También, Lindquist and Wide (2001), utilizaron una lengua electrónica voltamétrica para llevar a cabo experimentos preliminares para “monitorear virtualmente la calidad del agua potable”, medida desde la planta de tratamiento hasta el agua del grifo en redes de suministro urbano, en la ciudad de Orebro, Suecia. Este sistema fue capaz de detectar cambios en la calidad del agua mediante el uso de métodos estadísticos multivariados para analizar la respuesta de la señal (Deisingh et al., 2004).

Legin et al. (2002), sigue el mismo enfoque, tal como lo planteo en 1999 con sus colaboradores. Usó una lengua electrónica potenciométrica conjugada con las herramientas quimiométrica de reconocimiento de patrones (PCA y PLS) para distinguir entre diferentes tipos de aguas minerales naturales y artificiales preparadas. Se investigaron muestras de agua mineral “Borjomi” y muestras agua mineral “Vera”. Comprobó que la “lengua electrónica” era capaz de distinguir entre el agua mineral, “Borjomi” y “Vera”. Estos resultados concuerdan con los experimentos que se realizaron con esta “lengua electrónica” utilizando aguas minerales producidas en Italia (Legin et al., 1999; Legin et al., 2002).

Martínez-Mañez et al. (2005), desarrolla una "lengua electrónica", constituida por electrodos potenciométricos con tecnología de película gruesa y la fem de cada electrodo en contacto con la solución acuosa determinada se utilizó como señal de entrada para un análisis de PCA. Para probar este dispositivo, se estudiaron aguas minerales naturales españolas, aguas del grifo de las ciudades de Sagunto y Valencia y agua osmótica. Además, se realizó un análisis cualitativo de las aguas usando redes neuronales ARTMAP difusa (Martínez-Mañez et al., 2005a; Gil et al., 2006; Labrador., 2009).

García-Breijo et al., 2011, presentó la misma lengua electrónica potenciométrica pero mejorada, conformada por un conjunto de electrodos fabricados en matrices integradas de sensores utilizando métodos serigráficos, para la discriminación de agua potable, análisis de datos consistente en reconocimiento de patrones (red neuronal artificial ARTMAP Fuzzy) implementado en un sistema de microprocesador y “aplicados como dispositivos portátiles para el control de aguas de consumo” (Gimenez, P. et al., 2016).

Lindquist en 2007 se fundamentó en el estudio de Iliev et al. (2006), para desarrollar una lengua electrónica voltamétrica, para la evaluación de la calidad del agua, capaz de probar continuamente muestras de agua del grifo y decidir si la calidad se encuentra dentro de los límites admisibles. El sistema presenta los resultados de una manera simple y comprensible, similar al concepto de señales de semáforo. A saber, la buena calidad del agua se indica con luz verde, mala calidad con roja, y luz amarilla es señal de advertencia. “La evaluación confirmó que el sistema de sensor mejorado cumple con los requisitos para las mediciones en línea de la calidad del agua” (Lindquist., 2007).

Un aporte relevante en la determinación cuantitativa de solutos en agua es el realizado por Labrador en 2009. Utiliza una lengua electrónica potenciométrica compuesta de electrodos de trabajo metálicos de oro, plata, platino, cobre y cinc, encapsulados en un cilindro de acero inoxidable, realiza análisis cualitativos (PCA) y cuantitativos (PLS) de aguas minerales. Por medio del análisis cuantitativo determinó las concentraciones aniónicas en aguas minerales y agua del grifo. Este estudio es significativo porque por vez primera una lengua electrónica compuesta por electrodos metálicos ha sido utilizada para la determinación de especies aniónicas en aguas potables (Labrador., 2009).

En cuanto en el análisis de agua para consumo humano en zonas rurales. Comina et al. (2009), desarrolló un prototipo de lengua electrónica voltamétrica, conformado por la combinación de varios sensores electroquímicos no selectivos de electrodos de metales; electrodos de trabajo de oro y platino, contra electrodo y electrodo de referencia de acero inoxidable, el procesamiento, tratamiento de las señales y, reconocimiento de patrones se realizó con herramienta de análisis multivaracional; análisis de componentes principales (PCA). El sistema logra discriminar agua para consumo humano con diferentes composición química y bacteriológica en la zona rural (Yaurisque, Cusco, Perú).

En lo que concierne al análisis multicomponente del agua potable, Winquist et al. (2011), usó una lengua electrónica voltamétrica para el análisis de (hipoclorito de sodio, cloruro de sodio y bisulfito de sodio), también determinados por métodos de análisis convencionales se pudieron identificar mediante el análisis de componentes principales (PCA) y desarrolló un modelo basado en mínimos cuadrados parciales(PLS) para la predicción simultánea de la identificación y concentración de estos compuestos. Para la cuantificación de estos compuestos las muestras de agua se tomaron de la planta de producción de la ciudad de Linköping, Suecia. Este estudio es referenciado en trabajos relacionados con muestras líquidas (Alcañiz et al., 2011, Narváez et al., 2014).

Kundu et al. (2011), mediante la aplicación de una lengua electrónica con electrodos de plata y platino, usando medidas experimentales de voltametría de pulso, introdujo un desarrollo de clasificación y autenticación de las muestras de agua, basada en análisis de componentes principales(PCA) y un clasificador basado en mínimos cuadrados parciales(PLS) como componente de aprendizaje del sistema de lengua electrónica. El estudio se desarrolló en un entorno de laboratorio con muestras de agua embotelladas de marcas diferentes certificadas ISI (Bureau of Indian standard). "El método puede ser adecuado para el agua de clasificación / autenticación en la evaluación y monitoreo de la calidad del agua" Sipos et al. (2012).

Sipos et al. (2012) analizó aguas minerales embotelladas disponibles en el mercado, una de agua de manantial (sin gas), y una de agua del grifo de suministro de agua de la ciudad de Budapest. Las muestras de agua se analizaron con la lengua electrónica potenciométrica comercial, Alpha ASTREE II (Alpha MOS, Toulouse, Francia). El sistema mostró una buena capacidad de discriminación de agua potable. La concentración de cloruro, sulfato y magnesio confirmó la discriminación encontrada con la lengua electrónica.

Nagtode and Choudhari. (2013), En este trabajo de investigación propuesto, hace un enfoque de los experimentos que se pueden llevar a cabo usando una lengua electrónica para monitorear virtualmente la calidad de líquidos como el agua potable, la leche, el jugo y el aceite, entre otros.

Witkowska Nery et al. (2015) en una investigación describe una lengua electrónica basada en sensores potenciométricos en papel (sensibles a Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^-) para distinguir muestras de agua colectadas del grifo y embotellada apoyados en PCA y K (KNN) métodos vecinos más cercanos, que demuestran que el sistema puede usarse en el control de la adulteración del agua embotellada (Apetri, et al., 2019)

Dias et al. (2016), utiliza una lengua electrónica potenciométrica, compuesta por membranas poliméricas lipídicas, para cuantificar la calidad fisicoquímica mediante los parámetros (pH y conductividad), así como para clasificar cualitativamente muestras de agua en combinación con modelos de regresión lineal multivariados

(MLR), basados en subconjuntos de sensores seleccionados utilizando el algoritmo SA. Se utilizó para discriminar aguas embotelladas comercialmente de marcas diferentes (portugués, francés e italiano) adquiridas en los supermercados locales (Bragança, Portugal).

También, las lenguas electrónicas basadas en electrodos de membranas de polímeros se pueden emplear para el control de la calidad del agua de marcas comerciales (Bisleri, Aquafina, Kinley, MPS y Dream aqua). Mahato and Adhikari. (2017), presentan un enfoque preliminar para la monitorización de la calidad del agua potable de estos tipos de marcas. Los resultados de PCA muestran una buena discriminación entre las aguas.

Muy recientemente, Gutiérrez- Capitán et al. (2019), informó cómo puede usarse una lengua electrónica, como método alternativo al panel de degustación, conformada por seis sensores basados en ION Sensitive Field Effect Transistors (ISFET), un sensor de conductividad, un sensor de potencial redox y dos electrodos amperométricos, un microelectrodo de oro para la detección de cloro y un electrodo plano nanocompuesto para la detección de la demanda electroquímica de oxígeno para el análisis de dos aguas envasadas, de Agua de Ribes (Manantial Fontaga S.A., Ribes de Freser, Girona, España) y Font Vella (Aguas Danone S.A., Sant Hilari Sacalm, Girona, España) y aguas de grifo; en la entrada de la red de distribución (origen del río Llobregat y Mina de la mina pública de agua de Terrassa), y dentro de la red de las ciudades (Viladecavalls, Rellinars, Cardona, Vacarisses y Les Fonts), todos ubicados en la provincia de Barcelona, España. Las muestras también fueron analizadas por métodos estándar de laboratorio, se pudo clasificar mediante PCA y evaluar la correlación entre las pruebas organolépticas realizadas por el panel de gustación y los resultados de la lengua electrónica utilizando la regresión PLS. Los resultados demuestran la capacidad del sistema propuesto para clasificar muestras de agua de acuerdo con sus características organolépticas.

A pesar del extenso trabajo realizado por académicos investigadores, revisado anteriormente, es poca, la disponibilidad comercial de los "sistemas de lenguas electrónicas".

3.1. Sistemas de Lengua Electrónica disponibles en el mercado

El concepto de lenguas electrónicas hasta la fecha demostró ser útil para muchas aplicaciones. Además de los trabajos de investigación realizados sobre lenguas electrónicas, estos esfuerzos han impulsado la fabricación de prototipos que podrían conducir a dispositivos comerciales de bajo costo. En la actualidad hay empresas comerciales que han desarrollado sistemas de lenguas electrónicas; el principal desafío radica llevarla al mercado.

El número de lenguas electrónicas comercialmente disponibles es bastante reducido (Troy et al., 1998, James et al., 2005; Labrador., 2009; Podrazka et al., 2017), en comparación los sistemas de tipo de narices electrónicas disponibles en el mercado (Zubritsky et al., 2000; James et al., 2005). La primera lengua electrónica que estuvo disponible en el mercado fue construida por Toko y colaboradores (Toko., 1998, 1996, 1998a). El sensor de sabor se comercializa como sistemas de percepción del gusto SA402B y TS-5000Z consiste en 7 electrodos potenciométricos con membranas lípido-poliméricas. Se utilizan principalmente para cuantificar la intensidad de cada tipo de sabor identificado por la lengua humana utilizando una "escala" de gusto. (Woertz et al., 2011; Kobayash et al., 2010; Tahara and Toko 2013; Podraz'ka et al., 2017).

Otros sistemas de lenguas electrónicas disponibles comercialmente son:

- SA402B, Atsugi-chi (Japón), basado en membranas lipídicas (Riul, Jr, 2010);
- Aissy Inc., Japón, una empresa de la Universidad de Keio, proporciona un análisis preciso utilizando sensores para sabor original (Tahara and Toko 2013);

- el Sensor Químico MACS-Multiarray producido por McScience Inc., Suwon, Corea del Sur, compuesto por 7 ISEs de contacto sólido (Bhunja et al., 2006); de PVC y membranas de poliuretano selectivas para H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- (Ciosek and Wróblewski., 2007, 2011; Podrazka et al., 2017).

La lengua electrónica potenciométrica más popular y comercial ampliamente distribuida es Astree II (Alpha MOS, Toulouse, Francia) (Major et al., 2011), basada en transistor de efecto de campo químico (ChemFET), (Ciosek, and Wróblewski 2007; Riul, Jr et al., 2010), fue diseñada inicialmente para analizar, reconocer e identificar compuesto complejo disuelto en alimentos líquidos. También fue utilizada para evaluar la calidad del agua, procedente del suministro de agua de la ciudad de Chandigarh y agua envasada de la compañía Bisleri (Kumar and Kumar, 2016). En Brasil, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa, por sus siglas en portugués), desarrollaron una “lengua electrónica” con una sensibilidad muy alta (Jamal., 2009), constituida por sensores poliméricos que pueden utilizarse para diferenciar distintos tipos de aguas minerales (Herrmann, Jr and Brum., 2009).

4. Conclusiones

De la información antes reportada, se pueden obtener las siguientes conclusiones sobre el desarrollo y aplicaciones de lenguas electrónicas en agua potable:

- 1) El monitoreo del agua potable se ha desarrollado ampliamente mediante la tecnología de la lengua electrónica, en muestras de planta de producción, en redes de suministro urbano y envasada comercialmente;
- 2) Los sistemas de sensores- artificiales, han mostrado su capacidad de evaluar la calidad del agua y predecir si es apta para el consumo humano. Por lo anterior, la aplicación de las lenguas electrónicas, es una alternativa viable para llevar a cabo los procesos de evaluación del agua potable, para detectar concentraciones de analitos de naturaleza química compleja, presentes en muestras de agua;
- 3) En este orden actualmente las lenguas electrónicas, pueden ser consideradas como tecnologías emergentes, definidas como innovaciones a los métodos de análisis electroquímicos ya existentes; creando una nueva tendencia en el desarrollo y aplicación en el control de la calidad del agua potable;
- 4) En la mayoría de los trabajos revisados, descritos en los apartados anteriores se aplican diferentes técnicas multivariantes para extraer la información valiosa contenida en los perfiles de señal de las lenguas electrónicas, aplicadas en la evaluación de la calidad del agua potable, entre estos: análisis de componentes principales (PCA), mínimos cuadrados parciales (PLS), lógica difusa o difusa Clasificadores ARTMAP entre otros;
- 5) Los avances en sensores electroquímicos, como redes de detección de las lenguas electrónicas empleadas en los diferentes trabajos referenciados, abren la posibilidad de ser “un nuevo horizonte analítico” en el juzgamiento de los componentes presentes en diferentes tipos de muestras de agua potable (planta de tratamiento, grifos de redes de suministro urbano, envasada comercialmente), que determinan si el agua es lo suficientemente segura para ser consumida por humanos;
- 6) A pesar que se han realizado esfuerzos enormes por grupos de investigadores académicos en mejorar los sistemas de sensores electroquímicos, combinados con herramientas quimiométricas avanzadas; clave para complementar la evolución de esta tecnología analítica, hay una evidente falta de dispositivos comerciales. A parte de estas dificultades y preocupaciones futuras, las lenguas electrónicas son prometedoras porque los esfuerzos en investigación y desarrollo de estos dispositivos siguen en marcha en varios laboratorios académicos y comerciales alrededor del mundo.

En general, los sistemas de lenguas electrónicas son herramientas analíticas alternativas complementarias a las técnicas tradicionales de análisis confiables en el monitoreo del agua potable.

Referencias bibliográficas

- Alcañiz, M. (2011). Diseño de un sistema de lengua electrónica basado en técnicas electroquímicas voltamétricas y su aplicación en el ámbito agroalimentario, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Electrónica, Valencia España, 93–100.
- Anand, V., Kataria, M., Kukkar, V., Saharan, V., and P. Choudhury P.K. (2007) "The latest trends in the taste assessment of pharmaceuticals," *Drug Discovery Today*, 12(5–6), 257–265.
- Apetrei, C., Iticescu, C., & Georgescu, L. P. (2019). Multisensory System Used for the Analysis of the Water in the Lower Area of River Danube. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 9(6), 891. <https://doi.org/10.3390/nano9060891>
- Arrieta, A., Rodríguez-Méndez, M.L., De Saja, J.A. (2003). Langmuir-Blodgett film and carbon paste electrodes based on phthalocyanines as sensing units for taste. *Sensor. Actuat. B-Chem.* 95(1), 357-365.
- Arrieta, A., Apetrei, C., Rodríguez-Méndez, M.L., and De Saja, J.A. (2004). Voltammetric sensor array based on conducting polymer-modified electrodes for the discrimination of liquids. *Electrochim. Acta* 49(26), 4543-4551.
- Arrieta Á., Parra V., Fernández-Escudero J., García H., Apetrei C., Rodríguez M., De Saja J. E. (2005) Tongue Based on a Hybrid Array of Voltammetric Sensors Based on Phthalocyanines, Perylene Derivatives and Conducting Polymers: Discrimination Capability Towards Red Wines Elaborated with Different Varieties of Grapes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, volumen 115, 54-61.
- Arrieta Á., Parra V., Fernández-Escudero J., Rodríguez-Méndez M., De Saja, J. (2006). Electronic Tongue Based on Chemically Modified Electrodes and Voltammetry for the Detection of Adulterations in Wines. *Sensors and Actuators B: Chemical*, volumen 118, 448-453.
- Arrieta Almario, A. A., & Tarazona Caceres, R. L. (2009). Study of kinetic formation and the electrochemical behavior of polypyrrole films. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 54(1), 14–19.
- Arrieta, A., Palencia, M., Fuentes, O. (2015). Android and PSoC technology applied to Applied Sciences, *Engineering and Technology* 10, 782-788.
- Arrieta Almario, Á., and Fuentes Amín, O. (2016). Lengua electrónica portátil para el análisis de leche cruda basada en tecnología PSoC (Programmable System on Chip) y Android. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24(3), 445–453.
- Arrieta, A., Palencia, M., Arrieta, P. O. (2018). Determinación de adulterante en leche mediante el uso de una lengua electrónica voltamétrica portable. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17 (3) 877-884
- Bhunja, M.S. Kim, C.R. Taitt (Elsevier, Cambridge, 2015), p. 265.
- Campos Sánchez, I. (2013). Sensores electroquímicos tipo lengua electrónica voltamétrica aplicados al control medioambiental y a la industria alimentaria (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València.
- Campos, I., Masot, R., Alcañiz, M., Gil, L., Soto, J., Vivancos, J.L., García-Breijo, E., Labrador, R.H., Barat, J.M., Martínez-Máñez, R. (2010). Accurate concentration determination of anions nitrate, nitrite and chloride in minced meat using voltammetric electronic tongue. *Sens. Actuators B* 149 (1), 71e78.
- Cavanillas, S., Winquist, F., Eriksson, M. (2015). A self-polishing platinum ring voltammetric sensor and its application to complex media. *Anal. Chim. Acta* 859, 29-36.

- Cetó, X., Voelcker, N. H., and Prieto-Simón, B. (2016). Bioelectronic tongues: New trends and applications in water and food analysis. *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 608–626.
- Cetó, X., González-Calabuig, A., Capdevila, J., Puig-Pujol, A., Valle, M.D., 2015. Instrumental measurement of wine sensory descriptors using a voltammetric electronic tongue. *Sensor. Actuat. B-Chem.* 207, 1053-1059.
- Ciosek, P and Wróblewski, W. (2007). Sensor arrays for liquid sensing—Electronic tongue systems. *Analyst*, 132, 963–978.
- Comina, G Venero, J., Alarcon, H., Solís, J.L (2009). Desarrollo de un sistema portátil de análisis de calidad de agua, *Revista de investigación de Física*, 12(1) 13- 19.
- Comina, G (2010). Sistemas de medición multiparamétricos con sensores electroquímicos y optoelectrónicos para la clasificación de muestras. LIMA –PERÚ.
- del Valle, M. (2010). “Electronic tongues employing electrochemical sensors,” *Electroanalysis* 22, 1539–1555.
- Deisingh, A.K., Stone, D.C., Thompson, M. (2004): Applications of electronic noses and tongues in food analysis. *International Journal of Food Science and Technology* 39, 587-604.
- Dias, L.G., Alberto, Z., Veloso, A.C.A., Peres, A.M. (2016). Electronic tongue: A versatile tool for mineral and fruit-flavored waters recognition. *J. Food Meas.* 10: 264–273.
- EU Directive 98/33/EC on the quality of water intended for human consumption, Brussels, 3 November 1998.
- Fuentes Pérez Esteban (2017). Aplicación de la lengua electrónica voltamétrica a alimentos líquidos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia España.
- Garcia-Breijo, E., Atkinsonb, J., Garriguesa, J., Gila, L., Ibañez, J., Glanc, M., Olguin, C. (2011). An electronic tongue for monitoring drinking waters usin a Fuzzy ARMATP Neural network implemente don a microcontroller
- Gay Martín, M. (2012). “Nuevos avances en sensores voltamétricos nanoestructurados y miniaturizados. Aplicación en una lengua electrónica en el sector alimentario.” (Tesis Doctoral). Universidad de Valladolid, Valladolid España.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S and Siadat, M. (2010). “Biomimetic-based odor and taste sensing systems to food quality and safety characterization: An overview on basic principles and recent achievements,” *Journal Food Engineering*, 100(3) ,377–387.
- Gil, L., Garcia-Breijo, E., Ibañez, J., Labrador, R., Llobet, E., Martínez- Máñez, R and Soto, J. (2006). Electronic Tongue for Qualitative Analysis of Aqueous Solutions of Salts Using Thick-film Technology and Metal Electrodes. *Sensors*, (6), 697-707.
- Giménez-Gómez P, Escudé-Pujol R, Capdevila F, Puig-Pujol A, Jiménez-Jorquera C, Gutiérrez-Capitán M. (2016). Portable electronic tongue based on microsensors for the analysis of cava wines. *Sensors*; 16(11):1796.
- Gutiérrez- Capitán, M., Brull- Fontserè, M and Jimenez-Jorquera, C. (2019). Organoleptic analysis of drinking water using an electronic tongue based on electrochemical microsensors. *Sensors*, 19(6), 1435.
- Ha, D., Sun, Q., Su, K., Wan, H., Li, H., Xu, N. (2015). Recent achievements in electronic tongue and bioelectronic tongue as taste sensors, *Sens. Actuators B207*, 1136–1146.

- Herrmann Jr, P. S and Brum, J.A. (2009). Mundo en desarrollo avanza en tratamiento nano del agua. SciDev.Net, Recuperado de <https://www.scidev.net/.../agua/.../mundo-en-desarrollo-avanza-en-tratamiento-nano-d...> consultado en 23-08- 2018.
- Holmin, S., Krantz-Rülcker, C and Winqvist, F. (2004) *Anal. Chim. Acta*, 519, 39–46.
- Iliev, B, Lindquist M., Robertsson, Wide, PL (2006). A fuzzy technique for food- and water quality assessment with an electronic tongue, *Fuzzy Sets and Systems* 157, 1155 – 1168.
- Jamal. M, Khan M.R (2009) S A IMAM, Electronic Tongue and Their Analytical Application Using Artificial Neural Network Approach : A Review, *MASAUM Journal Of Reviews and Surveys*, Volume 1 Issue 1.
- James, D., Scott, S., Ali, Z and W. O'Hare, W. (2005). Chemical sensors for electronic nose systems. *Microchimica Acta*, 149, 1-17
- Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., and Toko, K. (2010). Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores, *Sensors*, 10(4), 3411–3443.
- Kumar, S., Kumar, R and Bhondekar, A.P. (2016). Water sample testing using e-tongue.
- Kundu, P. K., Panchariya, P. C., and Kundu, M. (2011). Classification and authentication of unknown water samples using machine learning algorithms. *ISA Transactions*, 50(3), 487–495.
- Krantz-Rülcker, C., Stenberg, M., Winqvist, F., & Lundström, I. (2001). Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition: a review. *Analytica Chimica Acta*, 426(2),
- Krantz-Rülcker, C; Winqvist, F.; Lundström, I. (2005). Electronic tongues: Electrode arrays and pattern recognition. *An. Asoc. Quím. Argent. V.93 n.1-3 Buenos Aires ene. /Jul.*
- Labrador, R. (2009). Diseño y caracterización de sensores químicos en estado sólido. Aplicación de modelos teóricos para el estudio de interferencias. Tesis doctoral. Universidad Politecnica de Valencia, España. 217–226.
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Y., Di Natale, C., Davide, F., D'Amico, A. (1997). Tasting of beverages using an electronic tongue, *Sensors and Actuators B*, 44, 291-296
- Legin, AV, Bychkov E.A, B.L. Seleznev, Vlasov Yu.G. (1995). Development and analytical evaluation of a multisensory for water quality monitoring, *Sensors and Actuators B* 26-27, pag 377-379.
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Y., Di Natale, E., Mazzone, C., A. D'Amico, A. (1999). Application of electronic tongue for quantitative analysis of mineral water and wine, *Electroanalysis* 11 (10–11), 814–820.
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Seleznev, B and Vlasov, Yu. (2002). Recognition of liquid and flesh food using an electronic tongue, *Int. J. Food Sci. Technol.* (37), 375–385
- Lindemann, B. (1996). Taste reception. *Physiological Reviews*, 76: 719-766.
- Lindquist, M., Wide, P (2001) Virtual water quality tests with an electronic tongue, in : *IMTC 2001—IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, IMTC, (2) 1320-1324.
- Lindquist, M. (2007). Electronic tongue for water quality assessment. Doctoral thesis, comprehensive summary (Other academic). Örebro University, Department of Technology.

- Major, N., Marković, K., Krpan, M., Šarić, G., Hruškar, M., Vahčić, N. (2011) Rapid honey characterization and botanical classification by an electronic tongue, *Talanta*, (85) 569-574.
- Mahato, M and Adhikari, B. (2017). Monitoring of Drinking Water Quality: A Preliminary Approach by an Electronic Tongue based on Functionalized Polymer Membrane Electrode.
- Manzoli, A., Shimizu, F.M., Mercante, L.A., Paris, E.C., Jr, O.O., Correa, D.S., Mattoso, H.C. (2014). Layer-by-layer fabrication of agcl-pani hybrid nanocomposite films for electronic tongues. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16(44), 24275-24281.
- Martina, V., Ionescu, K., Pigani, L., Terzi, F., Ulrici, A., Zanardi, C., Seeber, R., 2007. Development of an electronic tongue based on a pedot-modified voltammetric sensor. *Anal. Bioanal. Chem.* 387(6), 2101-2110
- Martínez-Máñez, R., Soto, J., García-Breijo, E., Gil b, L., Ibáñez, J., Gadea, E. (2005) A multisensor in thick-film technology for water quality control. *Sensors and Actuators A* (120), 589–595.
- Martínez-Máñez, R., Soto, J., Garcia-Breijo, E., Gil, L., Ibáñez, J., Llobet, E. (2005) An “electronic tongue” design for the qualitative analysis of natural waters. *Sensors and Actuators B*, (104), 302-307.
- Mimendia, A., Gutiérrez, J. M., Leija, L., Hernández, P. R., Favari, L., Muñoz, R., and del Valle, M. (2010). A review of the use of the potentiometric electronic tongue in the monitoring of environmental systems. *Environmental Modelling & Software*, 25(9), 1023–1030.
- Nag, A., and Mukhopadhyay, S. C. (2018). Fabrication and implementation of printed sensors for taste sensing applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 269, 53–61. doi:10.1016/j.sna.2017.11.023
- Nagtode, S.A., and Choudhari. N.K. (2013). A Review Paper on Electronic Sensor Based System to identify undesired ingredients present in Liquid, Volume 2, Issue 2.
- Narváez Ch. Fernanda. (2014). Sistema de electropulido automático para lenguas electrónicas voltamétricas aplicadas a la monitorización de la calidad del agua en plantas depuradoras de aguas residuales. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia España. <http://hdl.handle.net/10251/63436>.
- Nery, E.W.; Guimarães, J.A.; Kubota, L.T. (2015) Paper-based electronic tongue. *Electroanalysis*, 27, 2357–2362
- Newman, J., Harbourne, N., O’Riordan, D., Jacquier, J.C., O’Sullivan, M. (2014). Comparison of a trained sensory panel and an electronic tongue in the assessment of bitter dairy protein hydrolysates. *J. Food Eng.* 128(1), 127-131.
- Otto, M and J.D.R. Thomas, J.D.R. (1985) Model studies on multiple channel analysis of free magnesium, calcium, sodium, and potassium at physiological concentration levels with ion-selective electrodes, *Anal. Chem.*, 57, 2647-2651.
- Ouyang, Q., Zhao, J.W., Chen, Q.S. (2013). Classification of rice wine according to different marked ages using a portable multi-electrode electronic tongue coupled with multivariate analysis. *Food Res. Int.* 51(2), 633-640.
- Ozdemir S., Kilinc E., Celik K.S., Okumus V., Soylak M. (2017). Simultaneous preconcentrations of Co^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} and Pb^{2+} ions by *Bacillus altitudinis* immobilized nanodiamond prior to their determinations in food samples by ICP-OES. *Food Chem.* 215, 447-453.

- Palacios Santander, J.M (2003). Aplicación de Técnicas quimiométricas a la resolución de señales electroquímicas solapadas, Tesis de Doctorado, Cádiz, España.
- Podrazka, M., Baczynska, E., Kundys, M., Jelen, P.S and Witkowska Nery, E. (2017). Electronic Tongue—A Tool for All Tastes? Review.
- Riul, Jr A, Dantas CA, Miyazaki CM, Oliveira Jr ON. (2010). Recent advances in electronic tongues. *Analyst*; 135(10):2481-95.
- Rodrigues, N., Dias, L.G., Veloso, A.C.A., Pereira, J.A., Peres, A.M. (2016). Monitoring olive oils quality and oxidative resistance during storage using an electronic tongue. *LWT - Food Sci. Tech.* 73, 683-692.
- Shirmardi A., Shamsipur M., Akhond M., Monjezi J. (2016). Electronic tongue for simultaneous determination of cyanide, thiocyanate and iodide. *Measurement* 88, 27-33.
- Sipos, L., Kovacs, Z., Sagi-Kiss, V, V, V, V., Csiki, T., Kokai, Z., Fekete, A., Heberger, K. (2012) Discrimination of mineral waters by electronic tongue, sensory evaluation and chemical analysis, *Food Chemistry* 135, 2947–2953.
- Storey M.V, B. van der Gaag, and B. P. Burns (2011), “14. advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems,” *Water Research*, vol. 45, no. 2, pp. 741–747.
- Tahara, Y., and Toko, K. (2013) Electronic Tongues-A Review. *IEE Sensors Journal*, 13(8) ,3001-3011.
- Tagliacucchi, M., Calvo, E.J., Szleifer, I. (2008). Molecular theory of chemically modified electrodes by redox polyelectrolytes under equilibrium conditions: comparison with experiment. *J. Phys. Chem. C* 112(2), 458-471.
- Taniguchi, A., Naito, Y., Maeda, N., Sato, Y., & Ikezaki, H. (1999). Development of a monitoring system for water quality using a taste sensor. *Sensors and Materials*, 11(7), 437–446.
- Toko, k., Hayashi, k., Fujiyoshi., T, and Yamafuji, *Synergetics*, 43,326-327(1989)
- Toko, K., A taste sensor, *Meas. Sci. Technol.*9 (1998) 1919-1936.
- Toko, K., Murata, T., Matuno, T., Kikkawa, T Y and K. Yama Fuji. (1992) Taste map of beer by a multichannel taste sensor. *Sens. Mater.* 4,145-151.
- Toko, K., Iiyama, S. and Yahiro, M., *Sens Mater.* (1995). 7,191.
- Toko, K. (1998). A taste sensor. *Meas. Sci. Technol.* (9), 1919-1936.
- Toko, K. (1996). Taste sensor with global selectivity. *Materials Science and Engineering:* (4), 69-82.
- Toko, K. (1998) Electronic sensing of tastes. *Sens. Update*, (3), 131-160.
- Troy, H., Schiffman, S and R. Gutiérrez, R. (1998). The how and why of electronic noses. *IEEE Spectrum*, 22-34.
- Urmila, K., Zhao, J.W., Hu, W.W., Chen, Q.S. (2017). Intelligent evaluation of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken meat by an improved multiple level data fusion model, *Sensor. Actuat. B-Chem.* 238, 337-345.
- Vlasov, Y., Legin, A., Rudnitskaya, A. (2002). Electronic tongues and their analytical application. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 373, 136_/146.

- Vlasov, Y., Legin, A., Rudnitskaya, A. (1997) Cross-sensitivity evaluation of chemical sensors for electronic tongue : determination of heavy metal ions, *Sens. Actuator B-Chem.*, 44 (1997) 532-537
- Vlasov, Y., Legin, A., Rudnitskaya, A., D'Amico, A., Di Natale, C. (2000) Electronic tongue» — new analytical tool for liquid analysis on the basis of nonspecific sensors and methods of pattern recognition. *Sensors and Actuators B*, 65, 235-236.
- Vlasov, Yu, Legin, A., Rudnitskaya, A., Di Natale, C., and D'amico, A. (2005). Nonspecific sensor arrays ("electronic tongue") for chemical analysis of liquids (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 77(11), 1965–1983.
- WHO, "Guidelines for drinking-water quality,"2011, [http://www.who.int/water sanitation health/publications/dwq-guidelines-4/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/dwq-guidelines-4/en/). Last accessed on 31 May 2016.
- Winquist, Fredrik. (2008). Voltammetric electronic tongues—basic principles and applications. *Microchimica Acta*, 163(1), 3–10.
- Winquist, Fredrik., Wide, P., and Lundström, I. (1997). An electronic tongue based on voltammetry. *Analytica Chimica Acta*, 357(1), 21–31.
- Winquist, Fredrik, Olsson, J., & Eriksson, M. (2011). Multicomponent analysis of drinking water by a voltammetric electronic tongue. *Analytica Chimica Acta*, 683(2), 192–197.
- Woertz, K., Tissen, C., Kleinebudde, P and Breitzkreutz, J. (2011). "A comparative study on two electronic tongues for pharmaceutical formulation development," *J. Pharmaceutical Biomed. Anal.*, vol. 55, no. 2, pp. 272–281.
- World Health Organization-WHO, *Guidelines for drinking-water quality*, 3rd ed., Geneva, 2008, ISBN: 978 92 4 154761 1.
- Zhylyak, G. A., Dzyadevich, S. V., Korpan, Y. I., Soldatkin, A. P., and El'skaya, A. V. (1995). Application of urease conductometric biosensor for heavy-metal ion determination. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 24(1-3), 145–148.
- Zubritsky, E. (2000). Product Review: E-noses keep an eye on the future, *Anal. Chem.*, (72) 421 A-426 A.
- Zhenbo Wei, Yanan Yang, Jun Wang, Weilin Zhang, Qifeng Ren (2018) The measurement principles, working parameters and configurations of voltammetric electronic tongues and its applications for foodstuff analysis, *Journal of Food Engineering*, 217,75-92.