

# DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ANTIOXIDANTES PRESENTES EN LA AHUYAMA Y EL TOMATE CHONTO POR VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA<sup>1</sup>

Quantitative determination  
of antioxidants present in pumpkin and  
chonto tomato by cyclic voltammetry

*García-Giraldo, Irma María<sup>2</sup>, Reyes-Pineda, Henry<sup>3</sup>*

---

1 Este proyecto fue el resultado de mi tesis de Maestría, realizada en la Universidad del Quindío, en el año 2015.

2 Universidad del Quindío; Facultad de Ciencias Agroindustriales; código ORCID: 0000-0002-4363-  
Contacto:imgarcia@uniquindio.edu.co.

3 Universidad del Quindío; Facultad de ciencias Agroindustriales; código ORCID: 0000-0003-3524-8658 Contacto:  
hreyes@uniquindio.edu.co.

## Resumen

Los antioxidantes presentes en frutas y verduras son de gran importancia debido al efecto que ejercen contra algunas enfermedades tales como el cáncer y trastornos cardiovasculares, por lo tanto, se buscó implementar una técnica económica, novedosa, rápida y sensible para hallar la capacidad antioxidante de la ahuyama y el tomate chonto, dos frutos altamente producidos en el departamento del Quindío que genere un impacto a nivel industrial, investigativo y en el aula. De esta manera se realizaron dos diluciones a partir del jugo de semillas de ahuyama y de la pulpa de tomate debidamente licuados; la primera dilución se hizo tomando un mililitro del jugo de cada solución llevándolo hasta 100mL con  $H_2SO_4$  0,01M (dilución 1:100), y la segunda solución se realizó tomando un mililitro de la primera solución y llevándolo hasta 50mL con agua desionizada (dilución 1:50). A partir de estas soluciones se hicieron mediciones de voltamperometría cíclica con un potenciostato Gamry Interface 1000<sup>®</sup> usando diferentes parámetros de medición especificados en tiempo de equilibrio: 60s, velocidad de escaneo: 50mV, rango de escaneo: 2mV, Número de ciclos: 5, Límites del ciclo (mV): 0 4 0 0. Los voltamperogramas obtenidos proporcionaron una información cualitativa y cuantitativa de los antioxidantes presentes, se pudo observar que existe un mecanismo de reducción que consta de dos etapas, se le atribuye también a dichas gráficas que el tipo de reacción que ocurre para cada una de las diluciones de tomate y ahuyama es reversible. De esta manera se pudo determinar la capacidad antioxidante y la concentración del l-ácido ascórbico del tomate y al  $\alpha$ -tocoferol presentes en la ahuyama.

**Palabras clave**— Ahuyama, Tomate, Capacidad Antioxidante, Voltamperometría cíclica.

## Abstract

The antioxidants present in fruits and vegetables are of great importance due to the effect they exert against some diseases such as cancer and cardiovascular disorders, therefore, we sought to implement an economic, novel, fast and sensitive technique to find the antioxidant capacity of the pumpkin and the chonto tomato, two highly produced fruits in the department of Quindío that generate an impact on an industrial, research and classroom level. In this way two dilutions were made from the juice of pumpkin seeds and tomato pulp properly liquefied; the first dilution was made by taking one milliliter of the juice of each solution by bringing it up to 100mL with 0.01M  $H_2SO_4$  (1: 100

dilution), and the second solution was made by taking a milliliter of the first solution and bringing it up to 50mL with deionized water (dilution 1:50). From these solutions, cyclic voltammetry measurements were made with a Gamry Interface 1000<sup>®</sup> potentiostat using different measurement parameters specified in equilibrium time: 60s, scan speed: 50mV, scan range: 2mV, Number of cycles: 5, Limits of the cycle (mV): 0 4 0 0. The obtained voltamperograms provided qualitative and quantitative information on the antioxidants present, it was observed that there is a reduction mechanism consisting of two stages, it is also attributed to these graphs that the type The reaction that occurs for each of the dilutions of tomato and pumpkin is reversible. In this way, the antioxidant capacity and the concentration of tomato ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol present in pumpkin could be determined.

**Keywords**— Pumpkin, Tomato, Antioxidant Capacity, Cyclic Voltammetry

## I. INTRODUCCIÓN

Los cítricos y sus derivados son productos de gran consumo a escala mundial, con una producción de 96 millones de toneladas. No solo es útil por su aporte nutricional en la dieta diaria sino por los beneficios asociados a la disminución de patologías en el ser humano, sobre todo sus efectos en enfermedades neurodegenerativas, cancerígenas, cardiovasculares, diabéticas. La actividad biológica y capacidad antioxidante de los cítricos, especialmente, las frutas, se relaciona con la presencia de metabolitos activos, entre ellos, fenoles, flavonoides y vitaminas. [11].

Las técnicas electroanalíticas como la voltamperometría cíclica son altamente utilizadas para brindar información cualitativa y cuantitativa acerca de las reacciones electroquímicas que ocurren en diversos tipos de muestras (1). Esto resulta de la habilidad que tiene dicha técnica para proveer rápidamente información en procesos termodinámicos donde ocurren reacciones con transferencia de electrones (2,3). Dependiendo de la información que se busca, se pueden utilizar ciclos individuales o múltiples los cuales pueden ser observados en forma de gráficas que se denominan voltamperogramas cíclicos (4). Debido a que esta técnica es rápida económica, sensible y no requiere de grandes cantidades de muestra, es ampliamente utilizada en la determinación de antioxidantes presentes en muestras de alimentos (5,6). Teniendo en cuenta que los parámetros de las reacciones redox son inherentes en los análisis de la voltamperometría cíclica, esto me permite atribuir a los compuestos que se reducen la capacidad antioxidante de los mismos. Las vitaminas hidrosolubles como la vitamina C (ácido ascórbico) es conocida por sus propiedades reductoras, la cual actúa como un poderoso antioxidante que lucha contra las enfermedades de los radicales libres inducidos (7). Como un donante de electrones, el ácido ascórbico sirve como uno de los antioxidantes de peso molecular pequeño más importantes que contribuye a la capacidad antioxidante total un indicador importante de la calidad de alimentos y bebidas (8). Debido al papel crucial de la vitamina C en aplicaciones industriales, la determinación de vitamina C todavía presenta interés para la investigación. Las vitaminas liposolubles como la vitamina E participan en múltiples procesos bioquímicos en el organismo que cumplen funciones vitales tales como; prevención de múltiples enfermedades, el estudio de dichos compuestos toma cada vez más fuerza en la industria de los alimentos (9). Determinación Voltamperométrica del ácido ascórbico ha tenido un papel importante en la biosíntesis del colágeno, la activación de la respuesta inmune, la absorción de hierro y participa en la curación de heridas y la osteogénesis.

Además actúa como un poderoso antioxidante que combate las enfermedades inducidas por radicales libres [12]. Es por ello que la finalidad de este estudio fue evaluar la cinética de reducción electroquímica del l- ácido ascórbico, vitamina c y  $\alpha$ -tocoferol, vitamina e, presentes en la ahuyama y el tomate chonto.

## II. DESARROLLO DEL DOCUMENTO

### Materiales

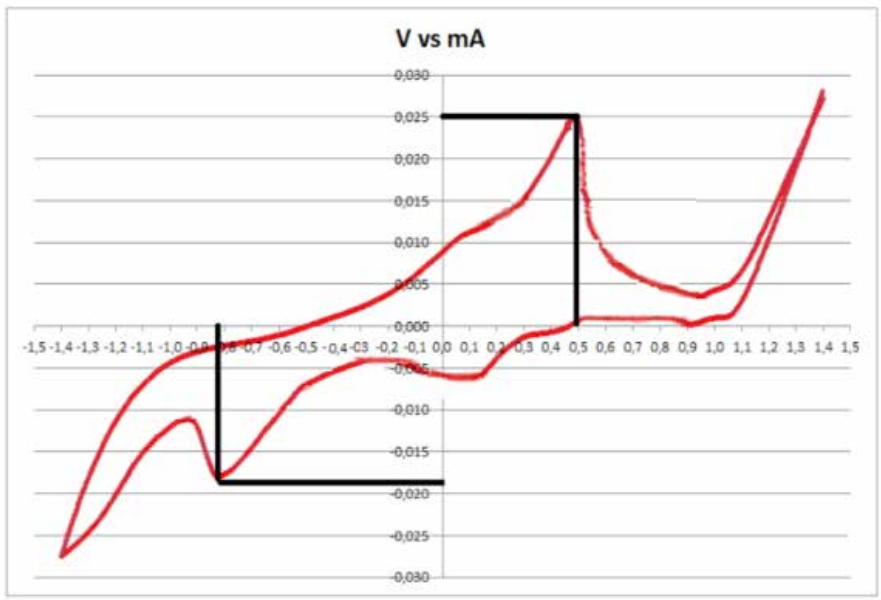
Para las mediciones de voltamperometría cíclica se utilizó un potencióstato Gamry Interface 1000<sup>®</sup> usando diferentes parámetros de medición especificados en tiempo de equilibrio: 60s, velocidad de escaneo: 50mV, rango de escaneo: 2mV, Número de ciclos: 5, Límites del ciclo (mV): 0 4 0 0. Las muestras de los frutos fueron obtenidas en Filandia Quindío en un estado óptimo de madurez.

### Métodos

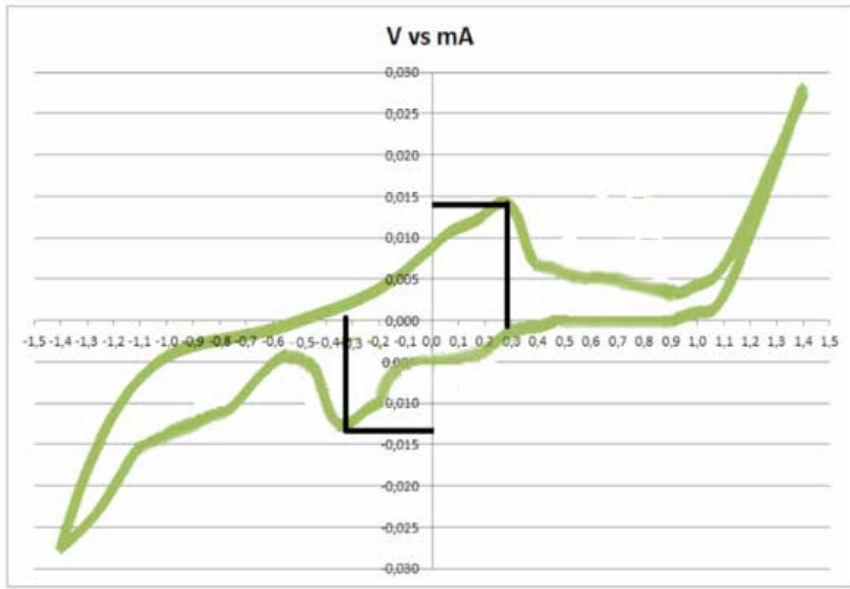
Se realizaron dos diluciones a partir del jugo de semillas de ahuyama y de la pulpa de tomate en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Dilución 1:100) y la segunda solución se realizó tomando un mililitro de la primera solución con agua desionizada (Dilución 1:50). A partir de estas soluciones se hicieron mediciones de voltamperometría cíclica. La celda se instaló en un balón de tres bocas fondo redondo, en presencia de flujo de nitrógeno en la atmósfera y poniendo platino como electrodo de trabajo, grafito como contra electrodo y un electrodo de referencia de  $\text{Hg}/\text{HgSO}_4$ .

### Resultados

A continuación, en las figuras 1 y 2 se observan los voltamperogramas cíclicos obtenidos para las muestras de pulpa de tomate chonto y semillas de ahuyama.



**Figura 1.** Voltamperograma de la vitamina C



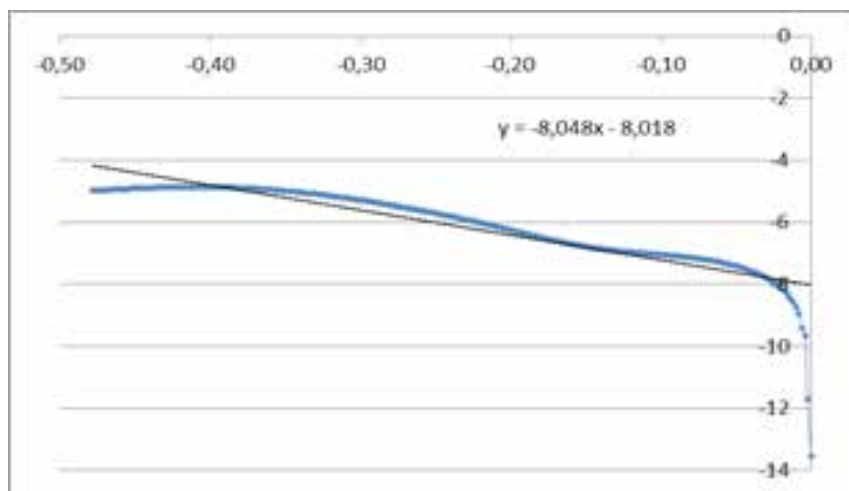
**Fig. 2.** Voltamperograma de la Vitamina E

**Método de Extrapolación de Taffel:** se utilizó este método para realizar los cálculos del coeficiente de transferencia del reactor electroquímico con los tres electrodos para esto se utilizó la siguiente ecuación.

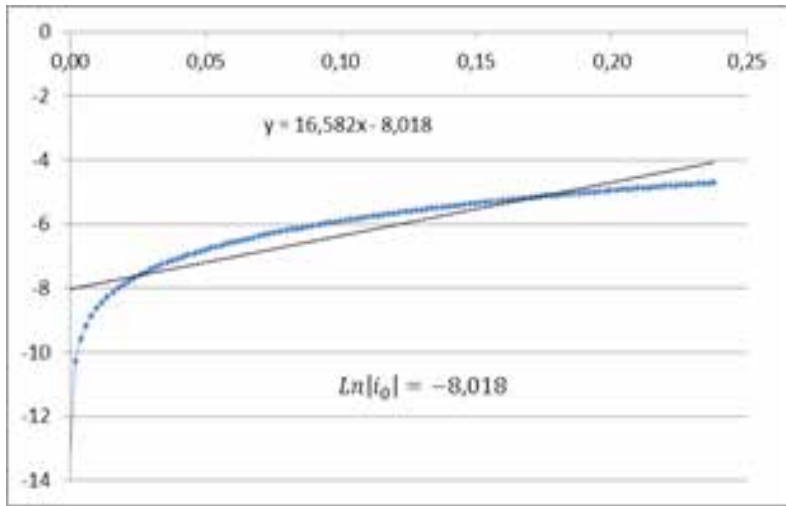
$$\text{pendiente de reducción} = \frac{-\alpha * F}{2,3 * R * T} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde la pendiente de reducción equivale a 8,048 1/V,  $F = 96485 \text{ C/mol}$ ,  $R = 8,314 \text{ V}^* \text{C/mol}^* \text{K}$ ,  $T = 298 \text{ K}$

En las gráficas 4 y 5 se pueden observar las curvas de polarización anódica y catódica para la vitamina C en el tomate chonto y la vitamina E en las semillas de ahuyama obtenidas con la ecuación de **Taffel**.

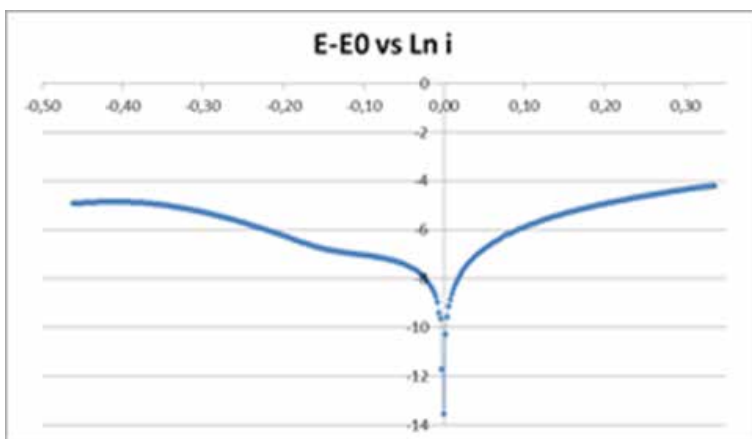


**Figura 3.** Curva de polarización catódica para las vitaminas C y E



**Figura 4.** Curva de polarización anódica para las vitaminas C y E

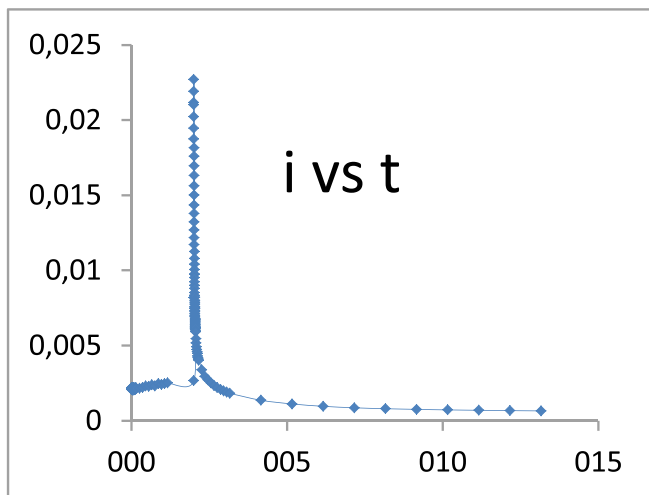
Para determinar las zonas lineales se graficó  $E - E_0$  vs  $\ln |i|$  figura 6.



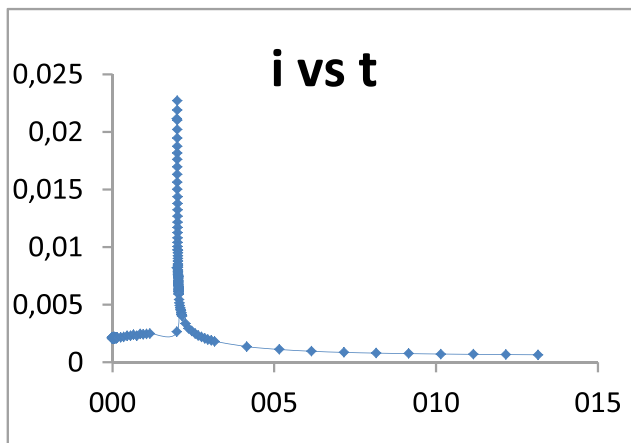
**Figura 5.** Linealización de la cinética del reactor



**Reducción controlada de las vitaminas a potencial constante.** Para los análisis de cronoamperometría para ambos frutos se empleó la ecuación de Cottrell, figuras 7 y 8.



**Figura 6.** Cronoamperograma de la vitamina E

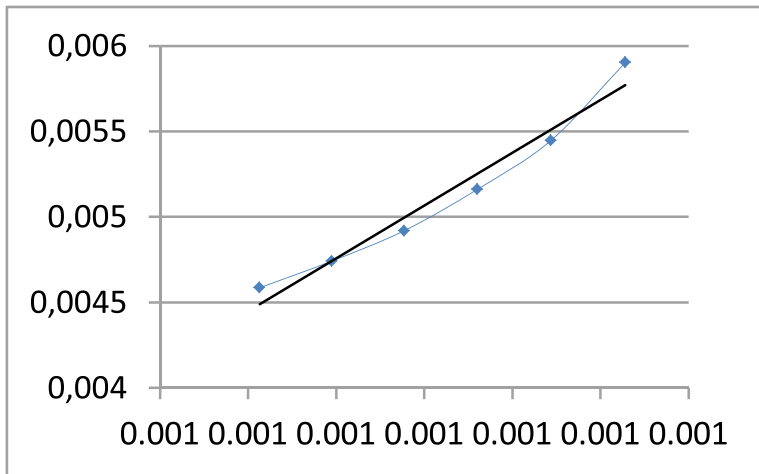


**Figura 7.** Cronoamperograma de la vitamina C

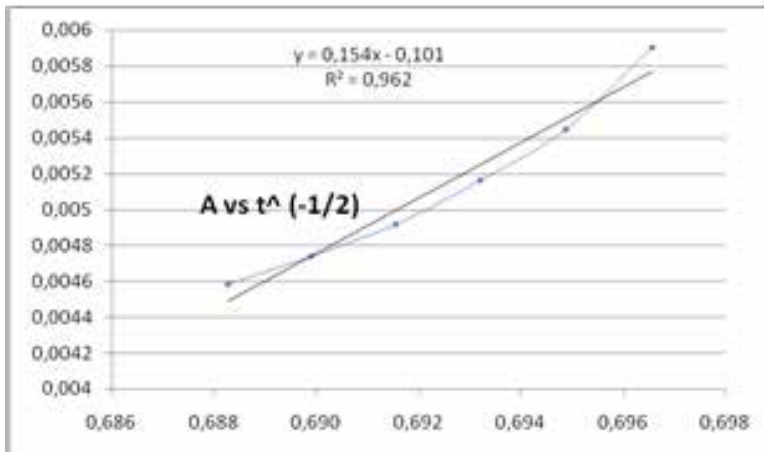
Al realizar la gráfica de  $|A|$  vs  $t^{(-1/2)}$ , tal como se observa en la figura 9, se calculó el Coeficiente de difusión  $D$ , utilizando la expresión (2):

$$\text{Coeficiente de Difusión} = D = \frac{\text{pendiente}^2 * \pi}{(n * F * A)^2}$$

**Ecuación 2.**



**Figura 8.** Gráfica linealidad vitamina C



**Figura 9.** Gráfica linealidad vitamina E

### Cuantificación de las vitaminas C y E para las muestras de tomate y ahuyama:

Para cuantificar la concentración molar de las dos vitaminas, mediante ésta técnica electroquímica, se establece una ecuación característica, denominada Ecuación de Cottrell la cual se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación de Cottrell: } I(t) = nFA C_0^b \frac{D_0^{1/2}}{\pi^{1/2} t^{1/2}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde I es la intensidad que depende del tiempo, n= número de electrones transferidos, F= constante de Faraday, C=concentración,  $D^{1/2}$ = coeficiente de difusión y  $t^{1/2}$  el tiempo en segundos.

**Tabla 1.** Parámetros para el cálculo de vitamina C y vitamina E.

<b>Masa (g)</b>	0.00225	0.036
<b>C</b>	$2.86 \times 10^{-4}$	$1.56 \times 10^{-2}$
<b>t (s)</b>	0.694	0.694
<b>D</b>	0.0139	0.00254
<b>A (Cm<sup>2</sup>)</b>	0.1	0.1
<b>F</b>	96500	96500
<b>n</b>	2	2
<b>i (Ma)</b>	$1.5 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-5}$
<b>Vitamin</b>	C	E

## Discusión

Para establecer el potencial de reducción de ácido ascórbico, se evaluaron los comportamientos electroquímicos de estos iones en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Evidenciando la reducción del ácido ascórbico sobre el electrodo de trabajo y otro en la curva de oxidación a un voltaje de 0,5 V. Por último, se aprecian igualmente dos picos; un pico alrededor de -0,34 V durante la exploración catódica que se atribuye a la reducción de la vitamina E. Se realizaron los cálculos del coeficiente de transferencia del reactor electroquímico con los tres electrodos, para lo cual se utiliza la técnica de extrapolación de Taffel para las dos vitaminas mostrándose una reacción de óxido-reducción. Se determinó  $\alpha = 0,47$  lo cual indica que el sistema está en equilibrio de oxidación y reducción; muestra una simetría respecto a la energía de activación para la reducción y oxidación de las especies de vitamina C y E. Para los análisis de cronoamperometría se aplicó un pulso de corriente al sistema con lo cual se analizó el coeficiente de difusión empleando la ecuación de Cottrell para electrodos cilíndricos. Reemplazando los valores en la ecuación (2) se determinó  $D = 0,0139192 \text{ cm}^2/\text{s}$  evidenciando el transporte de masa por movimiento atómico de los iones que se forman debido al pulso de corriente permitiendo la migración de átomos de vitamina C y E sobre el electrodo de Pb-Sn. Los valores de concentración obtenidos para la vitamina C se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores (10), observándose que la concentración de Tocoferol (Vitamina E) presente en esta especie de semillas de ahuyama es mayor a la de la vitamina C de la pulpa del tomate, lo cual es un indicio de que la capacidad antioxidante de la vitamina E, es mayor.

## III. CONCLUSIONES

La medición de voltamperometría cíclica con el electrodo de plomo-estaño sumergido en la solución electrolítica de 0,1 M de  $H_2SO_4$  muestra que a velocidades de escaneo menores se facilitan las reacciones químicas generando el proceso de oxidación, disminuyendo la eficiencia del proceso, en especial para la vitamina E. El valor de  $\alpha$  revela el equilibrio de oxidación química y reducción electroquímica.

El proceso de reducción ocurrido para ambas muestras de tomate y ahuyama corroboran la actividad antioxidante de dichas verduras, esto se puede demostrar con los valores del coeficiente de difusión  $D=0,00254\text{cm}^2/\text{s}$ , a su vez se pudo

observar también en el cálculo de la masa obtenida  $M=0,036g$ , lo que ratifica que este subproducto de la ahuyama es el que tiene mayor actividad antioxidante atribuida a la alta concentración de  $\alpha$ -tocoferol en las semillas de la misma.

## REFERENCIAS

- [1]. Sholz F. *Electroanalytical Methods*. Segunda Edición. New York, Estados Unidos: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010. 5p.
- [2]. Wang J. *Analytical Electrochemistry*. Tercera Edición. New York, Estados Unidos: Wiley-VCH; 2006. 25p.
- [3]. Barros L, Cabrita L, Boas MV, Carvalho AM, Ferreira ICFR. Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate phytochemicals and antioxidant activity of wild plants. *Food Chem*. Elsevier Ltd; 2011;127(4):1600–8.
- [4]. Chen M, Huang S, Hsieh C, Lee J-Y, Tsai T. Electrochimica Acta Development of a Novel Iodine-Vitamin C / Vanadium Redox Flow Battery. *Electrochim Acta*. Elsevier Ltd; 2014;141:241–7.
- [5]. Valek L, Stipc T. Electrochemical determination of antioxidant capacity of fruit tea infusions. *Food Chem*. 2010;121:820–5.
- [6]. Drach M, Narkiewicz-michałek J, Sienkiewicz A, Szymula M, Bravo-díaz C. Antioxidative properties of vitamins C and E in micellar systems and in microemulsions. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp*. Elsevier B.V.; 2011;379(1-3):79–85.
- [7]. Nie T, Xu J, Lu L, Zhang K, Bai L, Wen Y. Biosensors and Bioelectronics Enhanced sensitivity for electrochemical simultaneous determination of vitamins B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> and C. *Biosens Bioelectron*. Elsevier; 2013;50:244–50.
- [8]. Thangamuthu R, Kumar SMS, Pillai KC. Direct amperometric determination of l -ascorbic acid ( Vitamin C ) at electrode in fruit juice and pharmaceuticals. *ScienceDirect*. 2007;120:745–53.
- [9]. Agustino E, Ll R. Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas. *Rev Horiz Médico*. 2008;8(1):56–72.
- [10]. Pisoschi A, Negulescu G, Pisoschi A. Ascorbic Acid Determination by an Amperometric Ascorbate Oxidase-based Biosensor. *Rev Chim*. 2010;61(4):3
- [11]. García, González, C.; Álvarez, Chuncho, L.; Gutiérrez, Peralta, N.; Cabrer, Gia, C.; Yáñez, Jara, F.; Ajila, Solórzano, K. Determinación potenciométrica

de vitamina c en naranja y mandarina. Universidad Técnica de Machala. (2018).

- [12]. Pastor Sánchez, Ester. Determinación voltamperométrica de ácido ascórbico en vinos. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. (2019).

### **Biografía. Autor 1: Irma María García Giraldo**

Es Químico Puro, egresada de la Universidad del Quindío- Colombia, con un Diplomado en Pedagogía y Docencia Universitaria de la universidad La Gran Colombia, Armenia y Magíster en Química con énfasis en Química Analítica en la Universidad del Quindío, además se encuentra adelantando los estudios de doctorado en Ciencias en la misma Universidad.

Actualmente es profesor catedrático de la Universidad del Quindío, Armenia, Colombia y hace parte del grupo de investigación de ciencias ambientales de la Universidad del Quindío. Ha sido docente de la Universidad La Gran Colombia, Armenia. Entre sus áreas de trabajo investigativo se encuentran La Ingeniería Electroquímica, Los Procesos ambientales, el Tratamiento de residuos sólidos y líquidos, el Diseño de Bio-adsorbentes, entre otros.

Igualmente ha participado como conferencista en diferentes congresos nacionales e internacionales.

### **Biografía. Autor 2: Henry Reyes Pineda**

Es ingeniero Químico egresado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales con Especialización en Educación Ambiental, Especialización en Ingeniería Electroquímica y Corrosión, Diploma de Estudios Avanzados en Tecnologías de Membranas, Electroquímica y medio Ambiente Seguridad Nuclear y con un Doctorado en Ingeniería Química y Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Actualmente es profesor de tiempo completo de la Universidad del Quindío, Armenia, Colombia y Decano de la facultad de ciencias agroindustriales y hace parte del Grupo de investigación de ciencias ambientales. Ha sido docente de la Universidad de Caldas, Universidad Nacional, Sede Manizales y Universidad



Autónoma de Manizales. Entre sus áreas de trabajo investigativo se encuentran La Ingeniería Electroquímica, Los Procesos ambientales, el Tratamiento de residuos sólidos y líquidos, el Diseño de Reactores, entre otros.

El Doctor Reyes Pineda, se graduó en el 2007, obteniendo la máxima calificación en su Tesis Doctoral: “Cum Laude”

Ha sido profesor visitante en tres oportunidades a la Universidad Politécnica de Valencia, España y en dos ocasiones a la Universidad de Santa Cruz del Sur, Brasil, desarrollando actividades académicas e investigativas. Igualmente ha participado como conferencista en diferentes congresos nacionales e internacionales.