



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL

CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y FÍSICOQUÍMICAS DURANTE LA MADURACIÓN DEL PLÁTANO DOMINICO HARTÓN

Luis Fernando Mejía Gutiérrez, Julio César Caicedo Eraso, Félix Octavio Díaz Arango

**Universidad de Caldas
Manizales, Colombia**

Resumen

La creciente demanda de calidad por parte de consumidores y centrales de distribución demandan de técnicas no subjetivas y representativas de la población muestreada a bajo costo, esta demanda ha impulsado el desarrollo de técnicas más rápidas y menos costosas, que puedan aplicarse a la mayoría de los frutos y que reflejen el estado interno de calidad del fruto. La espectroscopia de Impedancia Eléctrica (EIS) permite investigar estructuras de materiales alimenticios y actualmente se utiliza para la detección de cambios físicos y químicos en plantas y tejidos biológicos y a su vez, las características de calidad de los materiales alimenticios. En los vegetales los parámetros eléctricos de impedancia (Z), ángulo de fase (θ), reactancia capacitiva (X_c) y resistencia (R) muestran dependencia con respecto a la frecuencia y a la composición de las matrices alimentarias. Dado que no existen relaciones generales para frutas y verduras se indaga sobre las correlaciones entre las propiedades de impedancia eléctrica y las propiedades fisicoquímicas de importancia para la agroindustria del plátano Dominico Hartón, relacionadas con la calidad sensorial (ratio), rendimiento (% de humedad, % de almidón, firmeza, pulpa /cascara) y pH que permitan juzgar su calidad y posible uso según el grado de maduración. Se midió por triplicado la EIE, aplicando una diferencia de potencial de 1 volt para el espectro de 42 Hz a 5 MHz, cada 2 días hasta maduración poscosecha a cinco rodajas de la segunda y tercera mano de 15 racimos de plátano a tres edades de cosecha. Se evaluó normalidad de los datos y posteriormente las diferencias significativas para los parámetros eléctricos de impedancia, ángulo de fase, resistencia y reactancia capacitiva. Se calcularon los valores medios a las frecuencias características y se comparó el comportamiento de las variables eléctricas mencionadas contra el comportamiento de las variables fisicoquímicas y se encontró alta impedancia a baja frecuencia y disminución continua de la misma a medida que se incrementaba la frecuencia y a lo largo del proceso de maduración. Las variables eléctricas

presentaron la misma tendencia para las tres edades de cosecha. Se pudo concluir que existe correlación entre las propiedades eléctricas y la madurez fisiológica al momento de cosecha y durante su proceso de maduración poscosecha y se desarrollaron modelos lineales que permiten cerrar la brecha tecnológica entre las técnicas fisicoquímicas y eléctricas, como un nuevo enfoque para la evaluación de la maduración y calidad de los productos agrícolas debido a su rapidez y efectividad. La aplicación potencial de los hallazgos de esta investigación se relaciona con la predicción del período de almacenamiento y caracterización del fruto en su vida útil como fruta verde y madura.

Palabras clave: correlación; propiedades; fisicoquímicas; eléctricas; plátano

Abstract

The growing demand for quality by consumers and the central distribution of demand for non-subjective and representative techniques of the population sampled under the cost, this demand has driven the development of faster and less expensive techniques, which can be demonstrated to the majority of the fruits have been reflected in the internal state of the quality of the fruit. The Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) allows the realization of structures of food materials and is currently used for the detection of physical and chemical changes in plants and biological tissues and, in turn, the characteristics of the quality of food materials. In vegetables, the electrical parameters, the impedance (Z), the phase angle (θ), the capacitive reactance (X_c) and the resistance (R) are presented with respect to the frequency and composition of the food matrices. Since there are no general relationships for fruits and vegetables, it is the relationships between the properties of the electrical impedance and the physicochemical properties of the plantain agroindustry Dominico Hartón, related to the sensory quality (relation), yield (% humidity), % starch, firmness, pulp / peel) and pH so you can judge its quality and possible use according to the degree of maturation. The EIE was measured in triplicate, applying a potential difference of 1 volt for the spectrum of 42 Hz to 5 MHz, every 2 days until the post-harvest maturation to the second hand and the third hand of 15 banana clusters at three harvest ages . The normality of the data was evaluated and then the significant differences for the parameters of impedance, phase angle, resistance and capacitive reactance. You can calculate the values of the means, frequencies, characteristics, and behavior of the variables of the maturation process. The electrical variables of the same trend for the three ages of the crop. It can be concluded that there is a correlation between the electrical properties and physiological maturity at the time of harvest and the postharvest maturation process and should be developed in the guidelines. of maturation and quality of agricultural products. The potential application of the findings of this research is related to the prediction of the storage period and the characterization of the fruit in its useful life as green and ripe fruit.

Keywords: correlation; properties; physico-chemical; electrical; banana

1. Introducción

En la actualidad la mayoría de los métodos empleados en la industria para la determinación de propiedades fisicoquímicas de alimentos son destructivos, dejando inservible la pieza en estudio, por eso la espectroscopia de Impedancia Eléctrica (EIS) se viene utilizando para investigar estructuras de materiales alimenticios desde la década de los 60 y actualmente se utiliza para la detección de cambios físicos y químicos en plantas y tejidos biológicos como método no destructivo (Masot, 2010) . La importancia de las propiedades dieléctricas radica en la posibilidad de detectar de manera rápida, por técnicas no destructivas, las características de calidad de los materiales alimenticios. En los vegetales los parámetros eléctricos de impedancia (Z), ángulo de fase (θ), reactancia capacitiva (X_c) y resistencia (R) muestran dependencia con respecto a la frecuencia y a la composición de las matrices alimentarias especialmente la humedad que afecta el comportamiento dieléctrico y los compuestos iónicos, que afloran desde el interior de la célula durante el proceso de maduración a través de las paredes celulares como afirman Takashi et al (2018); este comportamiento se relaciona con relajación dipolar y conducción iónica. Gracias al comportamiento de estas propiedades eléctricas la espectroscopia de impedancia eléctrica (EIS) permite una evaluación relativamente económica. Dado que no existen relaciones generales para frutas y verduras se indaga sobre las correlaciones entre las propiedades de impedancia eléctrica y las propiedades fisicoquímicas de importancia para la agroindustria del plátano Dominico Harton relacionadas con la calidad sensorial (ratio), rendimiento (% de humedad, % de almidón, firmeza, pulpa /cascara) y pH que permitan juzgar su calidad y posible uso según el grado de maduración.

La relación entre los cambios de las propiedades eléctricas y los cambios en las propiedades fisicoquímicas durante el proceso de maduración del plátano Dominico Hartón permite monitorear, los cambios en las propiedades fisicoquímicas y evaluar la composición y calidad de los frutos con mayor precisión respecto al índice de madurez que se basa en la inspección visual y puede verse afectado por factores del cultivo como sombra, fertilización, edad de cosecha y posición en el racimo. El objetivo es investigar las propiedades de impedancia eléctrica en el plátano Dominico Hartón y explorar sus relaciones con los criterios de calidad y propiedades fisicoquímicas, así como los cambios durante el proceso de maduración.

2. Materiales y métodos

Los parámetros de impedancia eléctrica del plátano variedad Dominico Hartón (Musa AAB) cosechados a 16 semanas desde floración, se determinaron en la Unidad Tecnológica de Alimentos de la Universidad de Caldas (22 °C, 1 atm), durante 16 días poscosecha y hasta maduración utilizando EIE. Los datos de Z , θ , R y X_c se midieron por triplicado y se promediaron en cinco rodajas de 8 mm de espesor y 33 mm de diámetro de la zona central de los frutos cada día. Las mediciones de EIE se realizaron con el espectrómetro de impedancia eléctrica Hioki® 3532-50 LCR-HiTester (Hioki E.E. Corporation, Japón) aplicando una diferencia de potencial de 1 voltio a frecuencias entre 42 Hz y 5 MHz para elegir la frecuencia característica que presentara la mayor visibilidad del cambio, se utilizó un electrodo bipolar de bronce con calibre de 0,01 cm y diámetro de 5,08 cm montado sobre una base de madera graduable. Durante las mediciones

se mantuvieron condiciones constantes de temperatura ambiente (23.4 ± 0.4 °C) y humedad relativa (59.5 ± 3.3 %). Se obtuvieron Z, θ , R y Xc y se seleccionó la frecuencia de 2325 Hz que se encuentra en el rango de frecuencias características de la zona de relajación beta, luego se graficaron los parámetros eléctricos contra los parámetros fisicoquímicos determinados según técnicas AOAC vigentes, se determinaron las correlaciones y el índice de correlación entre los parámetros.

3. Resultados

Los resultados de la impedancia se aplicaron al modelo equivalente de cinco elementos distribuidos, el modelo proporciona una descripción de las propiedades eléctricas del plátano, que muestra que la impedancia de la fruta entera, la resistencia de la pared celular y la resistencia a la vacuola tienen relaciones positivas con el grado de maduración y se encuentra que en la medida en que la frecuencia aumenta Xc disminuye y por ende Z, la impedancia de la fruta mostró una tendencia creciente hasta la senescencia al igual que Xc y Rs, el ángulo de fase (deg) mostró una tendencia decreciente en concordancia con Mejia, *et al* (2016). Los parámetros fisicoquímicos peso, %humedad, % de almidón, pH, firmeza mostraron tendencia decreciente; la relación pulpa cascara y la tasa de producción de etileno mostraron comportamiento creciente mientras que la tasa de respiración alcanzó un valor máximo el día de climaterio y decrece hasta senescencia. La aplicación potencial de los hallazgos de esta investigación se relacionan con la predicción del período de almacenamiento, caracterización del fruto y vida útil de la fruta verde y madura, los resultados de correlación se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Correlación (r^2) entre propiedades eléctricas y fisicoquímicas.

Propiedad Fiscoquímica ↓ / Eléctrica →	Deg (°)	Z (Ω)	Rs (Ω)	Xc (Ω)
Peso (kg)	0,9709	1,0000	0,9999	0,9986
Pulpa/Cascara (kg/kg)	0,9058	0,9866	0,9739	0,9949
Firmeza(kg/cm ²)	0,8753	0,9983	0,9929	0,983
Taza de etileno (μL/kg h)	0,9972	0,9984	0,9989	0,9978
Humedad (%)	0,9682	0,9802	0,9722	0,9989
Almidón (%)	0,9251	0,9752	0,9584	0,9989
pH	0,9607	0,9625	0,9462	0,9991
Ratio (SST/Acidez)	0,9833	0,9949	0,9935	0,9997
Taza respiración (ml CO ₂ • kg ⁻¹ • h ⁻¹)	0,7200	0,9728	0,9911	0,8376
Deg, ángulo fase Z, impedancia; Rs, resistencia serie; Xc, reactancia capacitiva; SST, solidos solubles				

4. Conclusión

Se encontró que las propiedades eléctricas cambiaron durante todo el tiempo poscosecha. la investigación experimental realizada sobre las relaciones entre las propiedades de eléctricas y fisicoquímicas permite correlacionar los cambios de los tejidos y por ende de composición en el proceso de maduración en condiciones reales como afirma Watanabe *et al.*,(2016), la humedad presenta alta correlación con los otros parámetros eléctricos por lo cual se puede decir que influye en el comportamiento dieléctrico de los alimentos, como afirma Mazot (2010), esta

influencia se explica en términos de relajación dipolar y conducción iónica y coincide con lo reportado por Stuart(2009) y Imaizumi *et al.*, 2015.

5. Referencias

- ☞ Liu, X. (2006). La espectroscopia de impedancia eléctrica aplicada en la planta de los estudios de la fisiología, Tesis de Maestría, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad RMIT. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/8502>
- ☞ Masot, R. (2010). Desarrollo de un sistema de medida basado en espectroscopia de impedancia para la determinación de parámetros fisicoquímicos en alimentos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia (España). Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8502/tesisUPV3356.pdf>
- ☞ Stuart, N., Trabelsi, S. (2009). Espectroscopia de impedancia eléctrica aplicada en estudios de fisiología vegetal. Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos, www.asabe.org C2009. Reno, Nevada, 095 540.
- ☞ Takashi W, Yasumasa A, Takahiro O, Satoshi K, Takeo S. (2018). Electrical impedance estimation for apple fruit tissues during storage using Cole–Cole plots, Journal of Food Engineering, Volume 221, Pages 29-34, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.028>.
- ☞ Watanabe T, Orikasa T, Shono H, Koide, Ando Y, Shiina T. (2016). The influence of inhibit avoid water defect responses by heat pretreatment on hot air drying rate of spinach. Journal of Food Engineering, 168 (2016), pp. 113-118.
- ☞ Imaizumi T, Tanaka F, Hamanaka D, Sato Y, Uchino T. (2015). Effects of hot water treatment on electrical properties, cell membrane structure and texture of potato tubers. Journal of Food Engineering, 162 pp. 56-62

Sobre los autores

- **Luis Fernando Mejía Gutiérrez.** Especialista en docencia universitaria, Especialista y Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniero Químico. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Email: luis.mejia_g@ucaldas.edu.co
- **Julio César Caicedo-Eraso.** Doctor en Ciencias Biomédicas, Especialista en Gerencia Educativa, Especialista en Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico. Profesor Asociado, Departamento de Sistemas e Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: julioc.caicedo@ucaldas.edu.co
- **Félix Octavio Díaz Arango.** Doctor en Ciencias Económicas y Administrativas, Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Magister en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos, Ingeniero de Alimentos. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: felix.diaz@ucaldas.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)