



Estudio de la Manzana Mediante la Técnica de Espectroscopía de Impedancia Eléctrica

A.V. Alzate G.¹, P. T. Noreña O.¹, B. Segura G.^{1,2}, W. Aristizábal B.^{1,2}, A. Rosales-Rivera¹.

¹Laboratorio de Magnetismo y Materiales Avanzados, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales

²Cáncer de Cuello Uterino y Cáncer de Mama, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Caldas – Manizales

Recibido 22 de Oct. 2006; Aceptado 16 de Jun. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

Resumen

Las medidas de impedancia eléctrica en frutas como la manzana permiten obtener valores característicos de su impedancia, tanto de su parte imaginaria como real y a su vez observar un alto grado de conservación de las propiedades organolépticas a través de los días. Los experimentos de impedancia se realizaron en un rango de frecuencias que van desde 2 KHz hasta 1.6 MHz a temperatura ambiente. Los resultados presentados en este estudio relacionan medidas de impedancia eléctrica con el grado de conservación en una muestra de manzanas tipo Anna, lo que permite deducir parámetros evaluativos tales como pérdida de agua y electrolitos. Además, a través del cálculo de la frecuencia característica se puede sugerir un tamaño de población presente en la manzana tipo Anna. Estas características obtenidas mediante la medida de impedancia eléctrica pueden indicar el grado de conservación de la fruta a temperatura ambiente (20°C) sin tener ningún tipo de procesamiento industrial.

Palabras claves: Espectroscopia de impedancia eléctrica, manzana Anna, grado de conservación, frecuencia característica.

Abstract

The measures of electric impedance in fruits like the apple allow us to obtain characteristic values of their impedance, for their imaginary and for their real part and therefore observe a high conservation degree of their organoleptic properties through the days. The experiments of impedance were made in a rank of frequencies from 2 KHz to 1.6 MHz in room temperature. The results presented in this study are intended to relate measures of electric impedance with the conservation degree of a sample of Anna apple type, which allow us to deduct evaluative parameters like water and electrolytic loss. Besides, through the calculation of the characteristic frequency we can suggest a population size present in the Anna apple type. These characteristics obtained through the measure of the electric impedance can indicate the conservation degree of the fruit at room temperature (20°C) without any kind of industrial processing.

Key Words: Electric Impedance Spectroscopy, Anna apple, conservation degree, characteristic frequency.

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

La técnica de espectroscopia de impedancia eléctrica permite la caracterización de sistemas biológicos mediante la aplicación de una corriente eléctrica en un rango de frecuencias determinado, logrando así la observación del comportamiento de las propiedades eléctricas, parámetros que están relacionados con la estructura del material [1]. El objetivo de este trabajo es estudiar las propiedades eléctricas (resistividad, resistencia e impedancia), pérdida de agua

y electrolitos que presenta la manzana tipo Anna en diferentes periodos de tiempo, la cual por su alto contenido de agua (85-90%), ácidos orgánicos (0.5-1.0%) e iones metálicos como potasio, sodio, calcio, fósforo (macroelementos), magnesio, manganeso, zinc, hierro, aluminio y cobre (microelementos) [2], permiten observar este tipo de parámetros al paso de una corriente eléctrica de 20 mA en un intervalo de frecuencia que van desde 2 KHz hasta 1.6 MHz (rango en el que se puede estudiar la Región β) [3]. La

manzana Anna objeto de estudio es una variedad de fruta no climatizada, razón por la cual su estado de maduración no es homogéneo; en el proceso de madurez fisiológica hasta la madurez organoléptica (sabor, color aroma y textura apropiadas para el consumo humano) intervienen cambios físicos y químicos, los cuales transcurren aproximadamente alrededor de 11 a 26 días para este tipo de manzanas [4]. El estudio busca obtener valores de impedancia eléctrica mediante la toma de medidas periódicas a manzanas tipo *Anna*, que permita mostrar el grado de conservación de estas con el transcurrir de los días después de su cosecha (poscosecha), proporcionando el estado de conservación de la manzana tipo *Anna* a temperatura ambiente promedio de 20°C, sin tener ningún tipo de procesamiento industrial.

2. Metodología

Para la toma de medidas se utilizó un equipo de impedancia eléctrica (*Electrical Impedance Spectroscopy MK 3.5 single channel system*), este consta de 3 componentes esenciales, un impedanciometro, una sonda (3169 membrana celular) y una fuente de 5V, todo se controla por computador. Para el estudio se tomó una muestra de 10 manzanas (*Anna*) y se escogieron con el mismo tipo de características como el tamaño, color y tiempo de cosecha; las manzanas fueron almacenadas en una caja de cartón separadas unas de otras. Antes de comenzar la toma de medidas se realizó la calibración del equipo y posteriormente se limpió la sonda con alcohol para evitar algún tipo de contaminación al hacer contacto con la manzana. La toma de medidas de impedancia eléctrica en cada una de las manzanas se realizó de la siguiente forma: a) fraccionar la manzana en dos partes iguales, b) tomar 6 espectros de impedancia alrededor del núcleo en una de las partes, c) retirar una porción de cáscara y tomar 3 espectros de impedancia en una zona lateral, d) comprobar si la manzana conserva sus propiedades organolépticas. La recolección de los datos fue desarrollada en un lapso de 16 días; durante los primeros 5 se llevó a cabo la medición de impedancia en una manzana por día, en los restantes 11 se evaluó una manzana cada 2 días. La información espectral hallada fue examinada a través de programas desarrollados en MATLAB, ecuaciones basadas en el modelo de Cole-Cole [5] [6] y Debye [6].

3. Resultados y Discusión

En la Fig.1 se observa el promedio de las 9 medidas de impedancia realizadas en cada una de las 10 manzanas durante los 16 días, la variación de las curvas resistivas no es significativa si se comparan entre ellas, razón por la cual se puede sugerir que el proceso de maduración de la manzana tipo *Anna* es lenta, debido a que la pérdida de agua y electrolitos de cada manzana con el paso de los días es baja; de esta manera se puede notar que la manzana conserva sus propiedades organolépticas como sabor, color, aroma y textura, las cuales fueron observadas por medio los sentidos.

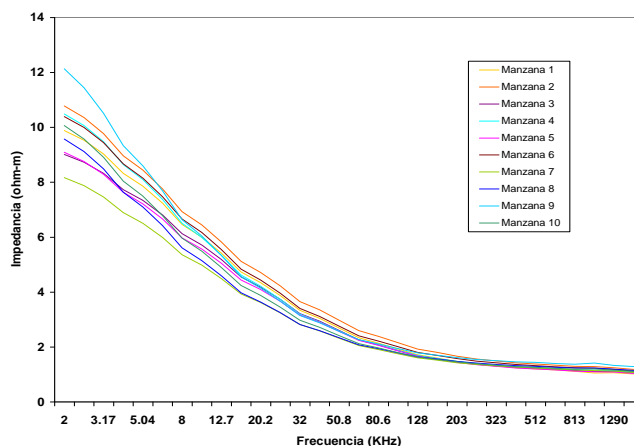


Fig.1 Espectro de impedancia eléctrica promedio de cada día.

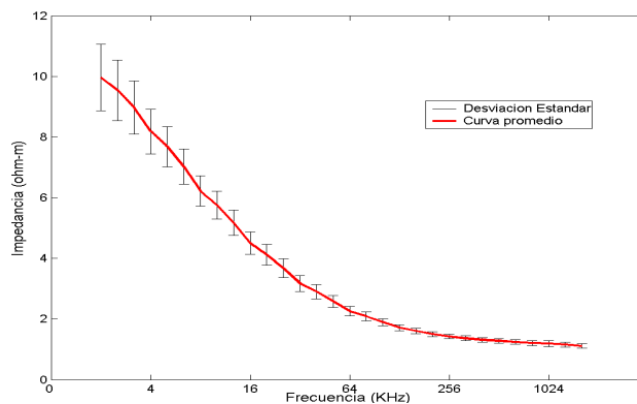


Fig. 2 Espectro de impedancia eléctrica promedio general con desviación estándar.

El promedio total de las curvas obtenidas se muestra en la Fig.2, en donde se observa un valor aproximado de 10 ohm-m de la tendencia de la impedancia eléctrica en las 10 manzanas durante los días que fueron evaluadas, valor que refleja un alto grado de conservación debido a que la pared celular del tejido aún se conserva rígida, mostrando una alta oposición al paso de corriente eléctrica; la desviación estándar o grado de dispersión indican que para una frecuencia de 2 KHz, los datos se encuentran dispersos entre valores de 8.168 y 12.132 ohm-m, mientras que para valores más altos de frecuencia, como lo es 1024 KHz la dispersión disminuye mostrando pequeños intervalos de impedancia 1.054 y 1.409 ohm-m; los valores anteriores de impedancia permiten sugerir que a frecuencias bajas las manzanas presentan mayor oposición al paso de la corriente aplicada, mientras que a altas frecuencias se despolariza comportándose como un material conductor que ofrece menos resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Tabla No.1 Valores de resistencia intracelular, resistencia extracelular y su respectiva frecuencia característica por manzana (se utilizo el modelo de Cole-Cole (basado en el modelo de Debye), ecuación (1)).

| MANZANA | Resistencia extracelular (R ₀) [ohm] | Resistencia intracelular (R _∞) [ohm] | Frecuencia característica (Fc) [KHz] |
|---------|--|--|--------------------------------------|
| 1 | 11,0552 | 1,2596 | 8,5935 |
| 2 | 12,158 | 1,4686 | 8,2783 |
| 3 | 9,88 | 1,2984 | 9,506 |
| 4 | 12,0784 | 1,3302 | 7,0211 |
| 5 | 10,1013 | 1,2675 | 8,9341 |
| 6 | 11,7787 | 1,4101 | 7,8397 |
| 7 | 9,189 | 1,3585 | 8,123 |
| 8 | 11,5384 | 1,4274 | 5,7603 |
| 9 | 15,3672 | 1,5423 | 4,7498 |
| 10 | 11,9574 | 1,3565 | 6,1887 |

$$Z = R_{\infty} + \left(\frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + \left(j \left(\frac{f}{f_c} \right) \right)^{1-\alpha}} \right) \tag{1}$$

En donde: Z es la impedancia eléctrica, f la frecuencia aplicada, R_∞ es la resistencia membrana extracelular, R₀ la Resistencia membrana intracelular, f_c la frecuencia característica y α = 0.

En la Tabla No.1 se observa que los valores de la resistencia extracelular con respecto a la intracelular son mayores, debido a que la pared celular de las células vegetales presenta un polímero formado por moléculas del azúcar gluco-sa (celulosa), componente que se encuentra en gran cantidad en frutas como la manzana tipo Anna, brindando a la pared celular gran rigidez, oposición al paso de la corriente eléctrica y muestra una alta conservación del tejidos. También, se indican los valores de las frecuencias características de cada una de las manzanas, sugiriendo que para las primeras 7 manzanas se esta estudiando un mismo tipo de población celular, diferente a la población de las tres ultimas, lo cual lleva a pensar que es menor la cantidad presente en el tejido, que puede ser debido a la deshidratación o perdida de electrolitos que ha sufrido la manzana Anna con el transcurrir de los días.

Conclusiones

La técnica de espectroscopia de impedancia eléctrica proporciona parámetros evaluativos adecuados a la hora de estimar la conservación de tejidos vegetales como la Manzana tipo Anna, cuando el equipo utiliza en un rango de frecuencias de 2KHz a 1.6MHz y con una corriente de 20mA.

Los resultados obtenidos por la técnica de espectroscopia de impedancia eléctrica sugieren un alto grado de conservación de la manzana tipo Anna, pero no se logra obtener un valor

de maduración, debido a la aleatoriedad de las curvas resistivas con respecto al tiempo (maduración no homogénea de la manzana Anna), a la composición de la pared celular (Celulosa rígida) y a la observación solo de relajación de la región β en los espectros de impedancia. Estos resultados sugieren que para obtener valoración de los estados de maduración se requiere aplicar una mayor corriente y estudiar otras regiones de dispersiones de los tejidos vegetales como la manzana tipo Anna.

Agradecimientos

Agradecemos a COLCIENCIAS, la Universidad Nacional de Colombia, a los integrantes del grupo de Investigación de Magnetismo y Materiales Avanzados de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y del grupo de investigación en Cáncer de Cuello Uterino y Cáncer de Mama de la Universidad de Caldas por su colaboración en el desarrollo del estudio.

Referencias

- [1] R.R. Nigmatullina, *et al.* Recognition of the “fractional” kinetics in complex systems: Dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0.01 to 1.8GHz. Signal Processing 86 (2006) pp: 2744–2759.
- [2] R. Zywica, *et al.* Application of Food Products Electrical Model Parameters for Evaluation of Apple Purée Dilution, Journal of Food Engineering 67 (2005) pp: 413-418.
- [3] Y. Salazar M. Tesis Introducción a la medida de impedancia eléctrica en tejidos biológicos. Universidad politécnica de Cataluña, 2000. pp 31-43.
- [4] N. Riaño C., M. Aristizabal L. Efectos de la temperatura de almacenamiento sobre algunos índices de madurez en frutos de manzana Malus doméstica borkh. Var. Anna. Memorias. Primer simposio internacional sobre manzano. Manigraf, Manizales, 1993a. pp: 98-104.
- [5] Leigh C Ward, *et al.* Determination of Cole parameters in multiple frequency bioelectrical impedance analysis using only the measurement of impedances. Physiol. Meas. 27 (2006) pp: 839–850.
- [6] E. McCafferty. On the determination of distributed double-layer capacitances from cole-cole plots. Corrosion Science, Vol. 39, No. 2, pp: 243-254, 1997.