

Estudio impedancimétrico a baja frecuencia del tomate: fruto y jugo

Pedro Brito¹ & Patricia Cáceres²

(1) *Laboratorio de Dieléctricos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán*
pbrito@herrera.unt.edu.ar

(2) *Laboratorio de Dieléctricos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán*
pcaceres@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: La espectroscopia de impedancia o dieléctrica es utilizada como una técnica muy valorada actualmente para analizar propiedades y comportamientos de alimentos. En este trabajo se la utiliza para estudiar en particular el tomate en sus versiones: fruto y jugo filtrado. Se trabaja con el analizador de impedancia HP4284A, una celda similar a la usada por Varlan para el fruto y la celda para líquidos HP16452A para el jugo, en el rango de frecuencia entre 20 Hz y 1 MHz. El fruto es estudiado variando la frecuencia del campo eléctrico aplicado, desde el estado que presenta al ser adquirido en el mercado hasta que es completamente degradado por la pérdida de agua y la aparición de hongos. También se analiza el comportamiento dieléctrico del fruto al variar la temperatura desde 2°C hasta 25°C. Por su parte el jugo es analizado en el mismo rango de frecuencia. Los resultados experimentales y los ajustes correspondientes con el modelo de Havriliak - Negami son graficados en diagramas de Argand.

1 INTRODUCCION

La espectroscopia dieléctrica es un método no invasivo de gran aplicación en la industria en sus diversas ramas y en la agricultura, en particular, para determinar contenidos de agua en vegetales, frutas y suelos, estado de maduración, estructura, piel y componentes, etc., mediante el análisis de la variación en frecuencia de los valores de las componentes real e imaginaria de la permitividad y la conductividad eléctrica. El conocimiento de los mismos es necesario para optimizar la aplicación de procesos de secado, calentamiento, pasteurización, conservación, etc. de alimentos diversos (frutas, vegetales, quesos, leches, harinas, etc.). Los vegetales y las frutas generalmente son objeto de estudios a frecuencias muy altas (superiores a la decena de MHz) con el fin de minimizar la influencia de la conductividad y del fenómeno de polarización de electrodos en la determinación de la permitividad. Sin embargo, las mediciones a bajas frecuencias dan información sobre estructura de sistemas complejos como los biológicos y resultan de interés a pesar de las dificultades para llevarlas a cabo.

En este trabajo se encaró el estudio del comportamiento impedancimétrico del tomate en sus versiones fruto y jugo exprimido y filtrado para

eliminar semillas y pulpas, en el rango de frecuencias entre 20 Hz y 1 MHz, en el cual se esperaba observar alguna relajación considerando la compleja composición de los sistemas estudiados. Existen en el mercado una gran diversidad de variedades de este fruto en cantidad suficiente para garantizar la obtención de muestras para el estudio. El interés por este fruto y su jugo deviene del hecho que el tomate, según información nutricional como la que ofrecen Araya y Lutz (2003), es la segunda hortaliza más consumida en el mundo después de la papa. Este fruto, siguiendo a Dergal (1999) se encuentra en el grupo de los llamados alimentos saludables por los beneficios para la salud de la población que van más allá de los efectos nutricionales, pues el tomate tiene efectos antioxidantes ligados a su alto contenido de licopeno como lo analizan Cadillo y col. (2006). La ingesta de esta sustancia ayudaría a la protección contra diversos tipos de cáncer como lo reportan varios investigadores, entre ellos Periago Castón (2008). Además en la industria alimentaria se investigan métodos de procesamiento para la mejora de la calidad de productos alimenticios, de modo de asegurar que no haya alteración en los componentes, o al menos conocer cuál puede ser afectado, en qué condiciones y en qué pasos del procesamiento. Por

otro lado, se ha conseguido prolongar la vida útil de alimentos frescos, disponer del fruto fuera de temporada, entre ellas los tomates en conserva o deshidratados o en salsa, puré o extracto de tomate, por lo que interesa su caracterización y la de sus derivados

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestras

Los tomates analizados fueron adquiridos en el comercio local y son de la categoría de tomates redondos medianos de color rojo intenso que se caracteriza por el buen tamaño, aspecto y una amplia aceptación por el consumidor promedio. El jugo fue obtenido exprimiendo parte de los tomates adquiridos y luego se lo filtró haciéndolo pasar por una malla N° 120 para eliminar la pulpa y las semillas. Se observó que el jugo así obtenido aún contiene una cantidad apreciable de sólidos

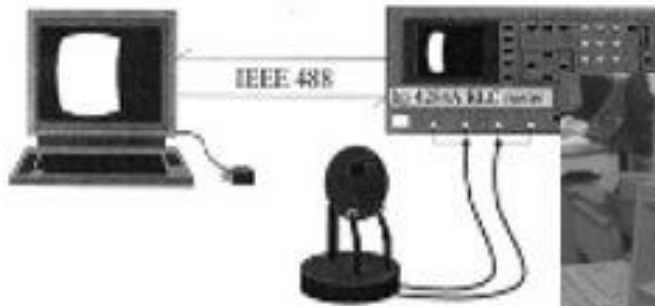


FIGURE. Experimental setup for nondestructive impedance measurements
Varlan A.R. & Sansen W. 1996



Figura 1. El equipo de medición con celda Varlan

Para las mediciones con el jugo exprimido y filtrado se usó el accesorio HP 16452A Liquid Test Fixture apto para mediciones de líquidos hasta 15 MHz. Este accesorio que se muestra en la Fig.2 es una celda de electrodos planos circulares paralelos de níquel-cobalto, de $38 \pm 0,05$ mm de diámetro con separadores, provistos por el fabricante, de diferentes espesores para permitir minimizar el impacto de la polarización de electrodos al medir a distintas distancias de separación de electrodos y de espesores determinados con una precisión de 10 μ m. En este caso se trabajó con los separadores disponibles o combinación de ellos lográndose distancias de separación de 1; 2; 3,3; 3,5 y 4 mm respectivamente.

En todos los casos, para la conexión de la celda al LCR se utilizó el accesorio HP 16048A de 1 m de

disueltos que precipitan al cabo de pocas horas. Con el fin de minimizar este efecto se rotó la celda de medición con el jugo exprimido o filtrado después de cada medición aún cuando cada una de ellas se realiza en un tiempo mucho menor (2 minutos aproximadamente) que el tiempo de deposición observado.

2.2 Equipo experimental

El estudio dieléctrico se realizó utilizando el Analizador de Impedancia HP 4284A y para el fruto entero se utilizó una celda similar a empleada por Varlan (1996) con electrodos planos de acero inoxidable del tipo quirúrgico de $10,5 \pm 0,05$ mm de diámetro montados sobre soportes flexibles que permiten adoptar posiciones diferentes para lograr el mejor contacto con el fruto. La celda se muestra en la fotografía de la Fig. 1.

longitud usando la conexión 2T. Previo al inicio de las mediciones se realizaron las correcciones OPEN y SHORT recomendadas por el fabricante. Las magnitudes eléctricas se midieron en forma simultánea con el equipo en el modo integrado LONG y bajo una tensión de 500 mV



Figura 2. El equipo de medición con celda para líquidos

2.3 Caracterización eléctrica

Las mediciones se realizaron con el fruto entero colocado sobre los electrodos variando la posición y orientación del “eje” con respecto a los electrodos, para determinar la influencia de la geometría sobre los valores de los diversos parámetros eléctricos, se muestra en la Fig.3.

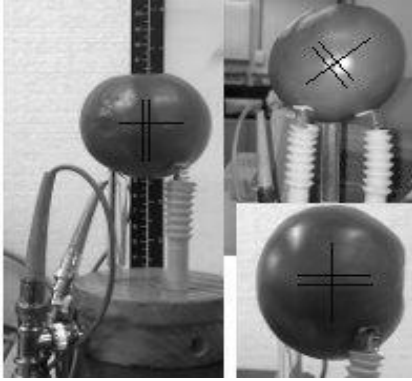


Figura 3. La fruta en distintas posiciones sobre los electrodos

Las magnitudes eléctricas medidas se realizaron considerando los pares Cp-D, Z-θ y G-B. Posteriormente se realizaron mediciones en forma continua para detectar las variaciones de esas magnitudes cuando varía la temperatura del fruto desde los 2°C del refrigerador hasta la temperatura ambiente. Dado que el fruto se degrada al quedar mucho tiempo expuesto al ambiente, se registraron mediciones hasta que el fruto fue atacado por hongos y sufriendo la pérdida de agua. Los estados del tomate - fruto, inicial y final, se observan en las Fig. 4 y 5.



Figura 4. El tomate en día 1 – estado inicial

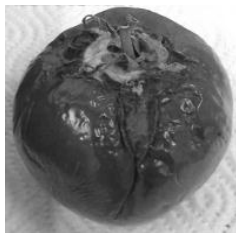


Figura 5. El tomate en el día 16 – estado final

Para las mediciones de jugo de tomate exprimido y filtrado se llenó la cavidad de la celda de líquidos con volúmenes de jugo que variaban desde 4,8 cc hasta 19,2 cc, de acuerdo al separador usado. Se midieron las magnitudes eléctricas considerando los pares Cp-D, Z-θ y G-B.

En todos los casos las mediciones se repitieron 5 veces para cada situación lo que equivale a trabajar con un total de 50 datos experimentales para cada par de magnitudes, considerando el modo utilizado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

2.4 Fruto

Una de las representaciones más representativa del comportamiento dieléctrico de sistemas de cualquier tipo es el llamado diagrama de Argand o Cole-Cole donde se muestra el comportamiento en frecuencia y en forma simultánea de la reactancia y resistencia eléctrica.

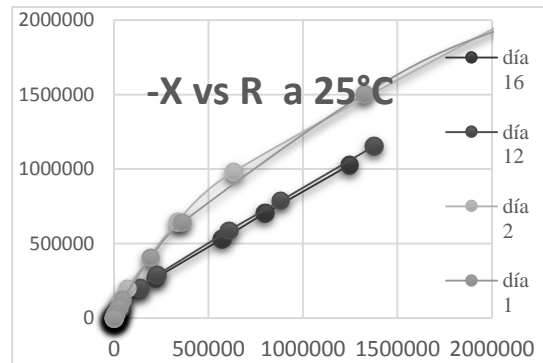


Figura 6. Cambios en el diagrama de Argand de -X vs. R con la degradación del fruto a 25°C.

En la Figura 6 se puede observar la modificación que experimentan estos parámetros eléctricos con el transcurso de los días pasando el tomate del color rojo intenso inicial a un color negro debido a la presencia de hongos y a la pérdida de contenido de agua. En la Figura 7 se muestra la variación que experimenta esta representación a medida que cambia la temperatura del fruto en contacto directo con el ambiente partiendo de la temperatura del congelador del refrigerador donde se mantuvo el tomate desde el día anterior a la medición particular. Se observan las variaciones de reactancia y resistencia con el cambio de temperatura

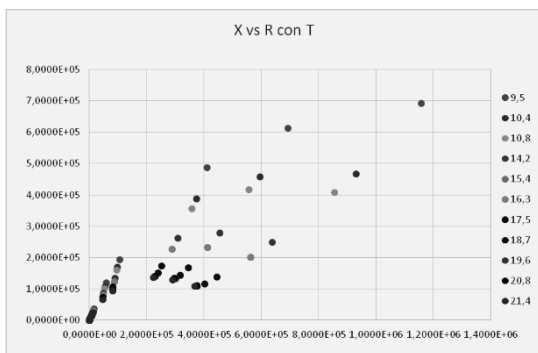


Figura 7. Cambios en el diagrama de Argand de $-X$ vs. R para distintas temperaturas del fruto.

2.5 Jugo

La capacidad con el jugo de tomate para los distintos espesores de separadores varía fuertemente con la frecuencia manteniendo la relación lineal con la inversa de la separación, como se espera a partir de la descripción de la reactancia y de la resistencia del jugo representando a las propiedades dieléctricas por la permitividad generalizada o la conductividad generalizada.

Las componentes real e imaginaria de la permitividad se determinaron a partir de los valores de la conductancia G y de la susceptancia B a través de las relaciones (1).

$$\epsilon' = \frac{B}{\omega C_0} \quad \epsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} \quad (1)$$

La representación de Argand para el jugo a temperatura de 25°C se muestra en la Figura 8 en forma conjunta con el ajuste que resulta de usar el modelo empírico de Havriliak-Negami con los parámetros de ajuste resultante siguiente: $\epsilon_\infty=110$, $\epsilon_s= 2,25 \cdot 10^7$, $\beta=1$, $\alpha=0,295$ y $\tau=0,001$ s usados en la expresión (2)

$$\frac{\epsilon^*(\omega) - \epsilon_\infty}{\epsilon_s - \epsilon_\infty} = [1 + (i \omega \tau_0)^{(1-\alpha)}]^{-\beta} \quad (2)$$

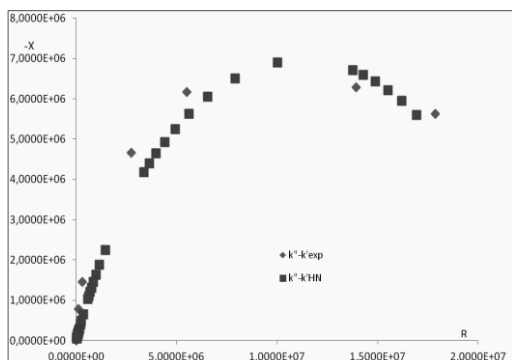


Figura 8. Diagrama de Argand de $-X$ vs R para el jugo de tomate filtrado a 25°C

3 CONCLUSIÓN

La espectroscopía de impedancia o dieléctrica sí permite el estudio de estado del tomate ya sea como fruto o jugo filtrado (sin pulpa y semillas) con cambios en el estado de maduración del fruto o variación de la temperatura del mismo así como el comportamiento en frecuencia de reactancia y resistencia eléctrica del jugo de tomate. Estos estudios son importante para diversos procesamientos que pueden tener estos alimentos y determinar la presencia de sustancias extrañas como hongos y conservantes.

4 REFERENCIAS

- Araya L, H. & M. R. Lutz, Alimentos Funcionales y Saludables, *Revista Chilena de Nutrición*, 30(1), 8-14, 2003. Recuperado en 02 de julio de 2013, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182003000100001&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-75182003000100001
- Böchtter, J.C. & P. Bordewijk, *Theory of electric polarization*, Vol. I and II, Elsevier, Amsterdam, 1973/8.
- Candelas Cadillo M.G, M.G. Alanís Guzmán & F. Del Rio Olague, Cuantificación de Licopeno y otros Carotenoides en Tomate y Polvo de Tomate, *Revista Mexicana de Agronegocios*, julio-diciembre, vol X, número 019, Universidad Autónoma de la Laguna, México, 2006
- Dergal, S. B., *Química de los Alimentos*, Pearson Educación, México, 1999.
- Macdonald, J.R. *Impedance Spectroscopy*, Wiley-Interscience, New York, 1987
- Periago Castón, M. J., J. García-Alonso; K. Jacob, V. Jorge Vidal, V. García Valverde & G. Ros Berruazo, Licopeno y otros Antioxidantes del Tomate. Papel en la Prevención de Enfermedades Cardiovasculares, *Ciencia En La frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*, México, Volumen VI, 65-74, 2008
- Sosa Morales M.E., L. Valerio Junco, López Malo & H.S. García, *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1169, 2010.
- Varlan, A. R. & W. Sansen, Nondestructive Electrical Impedance Analysis in Fruit: Normal Ripening and Injuries Characterization, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 15, 3, 213 — 227, 1996.
- Wen Q, J Ye, W. Xue, A. Huang, Y.Hugura & K. Suzuki, *Journal of Food Processing and Preservation*, 31, 736, 2000.