



Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

ANÁLISIS DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Julio César Caicedo Eraso, Félix Octavio Díaz Arango, Diana R. Varón Serna, María José Hernández Duque, Leidy Juliana Murillo Ruiz

**Universidad de Caldas
Manizales, Colombia**

Resumen

En Colombia, existen normativas que buscan garantizar los atributos de un café de calidad, impulsados por diferentes esfuerzos de productores, clientes y consumidores. La calidad de una "taza" de café depende de atributos sensoriales que varían en función de su origen, post-cosecha, cosecha y proceso de producción. Los atributos sensoriales son evaluados mediante análisis descriptivo-cuantitativo por catación. Sin embargo, aunque la catación es realizada por personal entrenado, tiene un alto componente subjetivo y de emisión de juicios de valor, que podrían verse influenciados por situaciones como estado de ánimo, niveles de salud/enfermedad, estrés y otras variables físicas y psicológicas inherentes al ser humano y a sus emociones. En la industria alimentaria es necesario implementar nuevos métodos de caracterización de los alimentos. El análisis de bioimpedancia eléctrica (ABE) es una técnica novedosa que permite la caracterización de materiales y de tejidos biológicos, entre ellos para evaluación de la calidad en alimentos (pescado, carne de pollo, banano, berenjena y leche). La caracterización de alimentos por ABE podría ser un apoyo importante para la caracterización de la calidad por catación de los materiales en Ingeniería de Alimentos en la evaluación del perfil de "taza" en café. El propósito de esta investigación será evaluar la posible asociación entre los parámetros de calidad de la "taza" de café obtenidos mediante el análisis descriptivo-cuantitativo por catación con los parámetros obtenidos mediante ABE.

Palabras clave: análisis de bioimpedancia eléctrica; materiales; ingeniería de alimentos

Abstract

Colombia has regulations to guarantee the attributes of a quality coffee, driven by different efforts of producers, customers and consumers. The quality of a "cup" of coffee depends on sensory attributes that vary according to their origin, post-harvest, harvest and production process. The sensory attributes are evaluated by descriptive and quantitative analysis by tasting. However, although the tasting is performed by trained personnel, has subjective components as value judgments, which could be influenced by mood, levels of health / disease, stress and other inherent physical and psychological variables of human emotions. In the food industry it is necessary to implement new methods of characterization of food. Bioelectrical impedance analysis (BIA) is a novel technique that allows the characterization of materials and biological tissues, including quality assessing of food (fish, chicken, bananas, eggplant and milk). Food characterization by BIA could be an important support for the quality characterization by tasting of materials in Food Engineering in the evaluation of coffee "cup" profile. The purpose was to evaluate the possible association between the quality parameters of the coffee "cup" obtained by quantitative-descriptive by tasting and the electrical parameters obtained by BIA.

Keywords: *bioelectrical impedance analysis; materials; food engineering*

1. Introducción

El análisis de bioimpedancia eléctrica (ABE) es una técnica novedosa que permite la caracterización de materiales y de tejidos biológicos, usada ampliamente en aplicaciones como: valoración de la composición corporal (Caicedo-Eraso et al, 2013), determinación de tejido sano o patológico (Aristizabal 2010), estudio de materiales tales como sistemas acero-concreto (Herrera-Cuadros, 2004) y en algunos casos en evaluación de la calidad en alimentos (Wu 2008, Bertemes-Filho 2010). El ABE es una técnica no invasiva, de bajo costo, portátil, segura y de fácil manejo, que consiste en la aplicación de una señal eléctrica en un rango (espectro) de frecuencias entre 1Hz y 1MHz a través de dos electrodos para simultáneamente medir, en otro par de electrodos, las características eléctricas de admitancia, impedancia, resistencia, reactancia capacitiva y ángulo de fase del material evaluado a diferentes frecuencias (Kyle et al 2004a). Considerando que la mayoría de los materiales (entre ellos los alimentos) podrían ser evaluados mediante ABE, para obtener correlaciones entre las variables eléctricas y los atributos físicos, químicos y sensoriales, lo que permitiría mejorar la caracterización de dichos materiales mediante la inclusión de análisis eléctricos. Como primera apuesta, se propone realizar este tipo de evaluación en un producto característico para Colombia, en este caso en café. Posteriormente, con evaluación en lácteos y cárnicos, donde el ABE es importante para la medición de grasa, dado que la misma se sabe esta correlacionada con mayor resistividad al flujo de corriente eléctrica, igualmente para productos como el plátano y las frutas, el ABE podría aportar en la evaluación de la cantidad de agua contenida, bajo el mismo principio de conductividad eléctrica.

En Colombia, existen normativas que buscan garantizar los atributos de un café de calidad, impulsados por diferentes esfuerzos de productores, clientes y consumidores (FNCC, 2010). Tal es el caso de las pruebas sensoriales bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC). Para café, las NTC controlan factores como: tostión, molienda, calidad del empaque y métodos de preparación y parámetros físico-químicos y sensoriales (FNCC, 2012). Específicamente para café, la NTC-2758 (ICONTEC, 2004) describe el proceso de catación por el método de análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA® de sus siglas en inglés *Quantitative Descriptive Analysis*) (Hootman, 1992). La calidad de una "taza" de café depende de atributos sensoriales, los cuales varían en función de su origen, post-cosecha, cosecha y proceso de producción. La catación pretende encontrar y valorar todas las características que definen un perfil de "taza", a través de la emisión de un juicio de valor objetivo respecto al ajuste a unas características predeterminadas. Las propiedades organolépticas que se evalúan en una taza de café son: fragancia, aroma, acidez, amargo, cuerpo, sabor residual e impresión global. Sin embargo, aunque la catación es realizada por personal entrenado, tiene un alto componente subjetivo y de emisión de juicios de valor, que podrían verse influenciados por situaciones como estado de ánimo, niveles de salud/enfermedad, estrés y otras variables físicas y psicológicas inherentes al ser humano y a sus emociones.

En la industria alimentaria es necesario implementar nuevos métodos de caracterización de los alimentos. La caracterización de alimentos por ABE podría ser un apoyo importante para la caracterización de la calidad por catación de los materiales en Ingeniería de Alimentos, para este primer caso, en la evaluación del perfil de "taza" en café.

Se han reportado estudios de caracterización de alimentos por ABE, en relación con parámetros físico-químicos y microbiológicos, pero no con organolépticos para evaluación de la calidad:

- Determinación de la calidad del pescado congelado vs. descongelado, que concluyó que los cambios en la estructura y composición del pescado, originados por la congelación, fueron detectados mediante ABE, lo que podría servir para discriminar entre producto congelado, descongelado o fresco, aplicable al control de la venta fraudulenta de pescado congelado-descongelado bajo la denominación de fresco (Mendez et al, 2011).
- Evaluación de la frescura de carne de pollo, que logró correlacionar el contenido en NBVT (nitrógeno básico volátil total). El ABE identificó deterioro de la carne de pollo durante su almacenamiento en refrigeración (Fuentes et al, 2011).
- Proceso de maduración del banano, mostrando que el ABE es capaz de evidenciar que las propiedades eléctricas pasivas cambian durante el proceso de maduración (Soltani et al, 2010).
- Análisis de la variación entre berenjena fresca y congelada, mostrando deterioro de la composición del producto al ser congelado (Wu et al , 2008).

La pregunta de investigación es si ¿la medición de parámetros eléctricos por ABE podría contribuir a disminuir el componente subjetivo de la catación y mejorar la caracterización de materiales en Ingeniería de Alimentos, específicamente en la

evaluación de la calidad del café por catación?. El propósito de esta investigación será evaluar la posible asociación entre los parámetros de calidad de la "taza" de café obtenidos mediante el análisis descriptivo-cuantitativo por catación con los parámetros obtenidos mediante ABE.

2. Metodología

Se denomina café a la bebida que se obtiene a partir de las semillas tostadas y molidas de los frutos de la planta de café o cafeto (*coffea*). La bebida es altamente estimulante, pues contiene cafeína. La tostión del café es fundamental en la calidad del café y consiste en la transformación de las propiedades físico-químicas y sensoriales de los granos de café verde a productos de café torrefacto a través de tratamiento térmico (WKP, 2015a). Se utilizaron dos tipos de muestras de café con tostión a 180 °C y a 4 minutos (M4) y 8 minutos (M8).

La características organolépticas de acidez, amargo, cuerpo, aroma, impresión global y sabor residual fueron obtenidas mediante catación en café en bebida bajo la NTC-2758 (ICONTEC, 2004). Con las mediciones de ABE con un barrido de frecuencias entre 1 y 1000 KHz a 1,5 V, se obtuvieron los datos crudos de impedancia, ángulo de fase, resistencia y reactancia capacitiva con el analizador de bioimpedancia Hioki LCR HiTester 3522-50 usando una celda cilíndrica de acero inoxidable (radio=1,5 cm, altura= 4 cm) para los dos tipos de muestras (M4 y M8) en café molido. El grado de tostión en café molido por colorimetría bajo la NTC-2442 (ICONTEC, 2004) se determinó por cuantificación de la energía reflejada luego de hacer incidir un rayo de luz sobre la muestra (luz visible o infra-rojo cercano) con el colorímetro Quantik IR800 en los dos tipos de muestra.

Las diferencias significativas para las variables eléctricas entre M4 y M8 se evaluaron mediante la prueba t-Student bilateral pareada ($p < 0.05$), previa comprobación de la distribución normal de los datos. Las asociación entre las características organolépticas por catación y grado de tostión por colorimetría contra las características eléctricas por ABE fueron evaluadas comparando las curvas de impedancia y ángulo de fase para M4 y M8.

3. Resultados

La **Tabla 1** muestra los resultados de la evaluación de las características organolépticas para M4 y M8. La **Tabla 2** muestra las diferencias significativas para cada variable eléctrica entre M4 y M8.

Tabla 1. Características organolépticas para M4 y M8

Muestra	Acidez	Amargo	Cuerpo	Aroma	Impresión global	Sabor residual	Color (Quantik)
M4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Baja	Cereal	280
M8	Medio	Alto	Alto	Alto	Alta	Equilibrado aromático	210

Tabla 2. Diferencias significativas para variables eléctricas de M4 y M8

$p < 0.05$	Impedancia	Angulo de fase	Resistencia	Reactancia capacitiva
pt obtenido	0,94	0,45	0,90	0,93

La **Figura 1** muestra la comparación impedancia y ángulo de fase para M4 y M8.

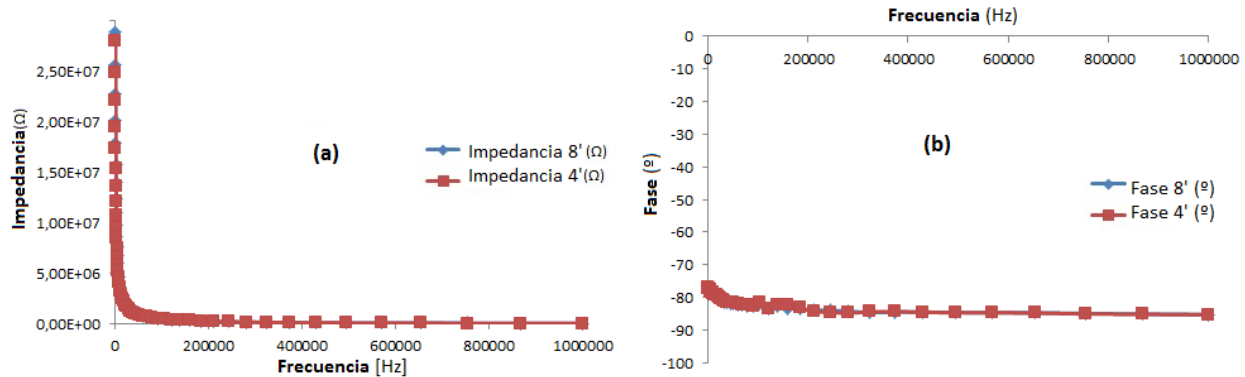


Figura 1. Comparación entre M4 y M8 para (a) impedancia y (b) ángulo de fase.

4. Discusión y conclusión

La evaluación de las características organolépticas obtenidas mediante catación en bebida de café encontró diferencias para acidez, amargo, cuerpo, aroma, impresión global y sabor residual entre M4 y M8. Igualmente, la colorimetría encontró diferencia entre M4 y M8. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en impedancia, ángulo de fase, resistencia y reactancia capacitiva entre M4 y M8. Esto también se puede observar en los análisis gráficos, donde no se evidencia diferencias significativas.

Varios autores han reportado diferencias significativas en pescado (Mendez et al, 2011), carne de pollo (Fuentes et al, 2011), banana (Soltani et al, 2010) y berenjena (Wu et al, 2008) al evaluarlos bajo diferentes tratamientos o condiciones. Sin embargo, para el presente estudio, aunque se encontraron diferencias significativas en las características organolépticas en café en bebida e igualmente en colorimetría en café molido, entre dos tipos de tuestión; no se encontró diferencias en las variables obtenidas por ABE. Esto podría explicarse debido a que se aplicó ABE a muestras de café molido, y quizá la falta de contenido de agua, que precisamente se evapora durante la tuestión, generó una muy alta impedancia que limitó el flujo de corriente a través de la muestra. Ya que los alimentos que han mostrado diferencias contienen agua y grasa (Mendez et al, 2011; Fuentes et al, 2011; Soltani et al, 2010; Wu et al, 2008), sugiere verificar la hipótesis de escasez de agua aplicando ABE a una muestra de café molido con tuestión de 180 °C a 1 minuto. De todas maneras, ya que el interés recae en poder evaluar café con tuestión ideal, como es el caso de 180 °C a 8 minutos, el próximo paso de esta investigación será incluir mediciones de ABE en café en bebida.

5. Referencias

- Bertemes-Filho P, Valicheski R, Pereira RM, Paterno AS. (2010). Bioelectrical impedance analysis for bovine milk: preliminary results. *Journal of Physics: Conference Series* **224** (2010) 012133
- Botero, W. A. (2010). *Electromagnetismo con aplicaciones a la biología y a la ingeniería*. Manizales: Universidad de Caldas.
- Caicedo-Eraso JC, González-Correa CH, González-Correa CH. (2013). Preliminary bioelectrical impedance analysis (BIA) equation for body composition assessment in young females from Colombia. *J.Phys.:Conf.Ser* 434:012066
- Café Kina& Co. (2006). El grano de café. Disponible en: <http://www.cafekina.com/Sp/ElGranoDeCafe.htm>. (Visitada en abril de 2015)
- Federación Nacional de cafeteros de Colombia (FNCC) (2010a). Preparando un buen café. Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/preparaciones/preparando_un_buen_cafe/ (Visitada en abril de 2015).
- Federación Nacional de cafeteros de Colombia (FNCC) (2010b). Descripción del Programa 100% café. Disponible en: http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/programa_100/Descripcion_del_Programa/ (Visitada en abril de 2015)
- Federación Nacional de cafeteros de Colombia (2012). Aspectos de calidad del café para la industria torrefactora nacional. División de Estrategia y Proyectos Especiales de Comercialización. Disponible en: http://www.iue.edu.co/portal/images/negocios_internacionales/cafe/lacalidad_enlaindustriadelcafe.pdf. (Visitada en abril de 2015)
- Fuentes A, Schmidt FC, Alcañiz M, Masot R, Grau R, Barat JM. (2011). Evaluación de la frescura de la carne de pollo mediante la técnica de espectrometría de impedancia. En: Valencia.
- Instituto Colombiano de Normas técnicas y Certificación (ICONTEC) . Café tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de Tostión.
- ICONTEC. (2004). Café tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de Tostión. Bogotá:ICONTEC,2004 (NTC 2442)
- Masot-Peris R (2010). Desarrollo de un sistema de medida basado en espectroscopia de impedancia para la determinación de parámetros fisicoquímicos en alimentos. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- Méndez EL, Fernández-Segovia I, Masot R, Barat JM, Fuentes A, Serra JA, Ruiz M. (2011). Aplicación de la espectroscopia de impedancia para la detección de pescado congelado-descongelado. En: NOMBRE EVENTO. Valencia, España.
- Soltani M, Alimardani R, Omid M. Prediction of the banana quality during ripening stage using capacitance sensing system. *Australian Journal of Crop Science* 4(6):443-447 (2010).
- Wu L, Ogawa Y, Tagawa A (2008). Electrical Impedance Spectroscopy Analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing-thawing treatments on its impedance characteristics. *Journal of Food Engineering* 87(2008)274-280

Sobre los Autores

- **Julio César Caicedo Eraso.** Doctor en Ciencias Biomédicas, Especialista en Gerencia Educativa, Especialista en Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico. Profesor, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: julioc.caicedo@ucaldas.edu.co
- **Félix Octavio Díaz Arango.** Candidato a 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, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: felix.diaz@ucaldas.edu.co
- **Diana R. Varón Serna.** Ingeniera Electrónica, Tecnóloga en Mantenimiento de Equipo Biomédico, Instructor en Primeros Auxilios y Soporte Vital Básico. Profesora, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: diana.varon@ucaldas.edu.co
- **María José Hernández Duque.** Ingeniera de Alimentos. Egresada Universidad de Caldas. Email: maria.800722728@ucaldas.edu.co
- **Leidy Juliana Murillo Ruiz.** Ingeniera de Alimentos. Egresada Universidad de Caldas. Email: leidy.800821623@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 © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)