




Desarrollo y evaluación de un prototipo electroquímico para determinar el contenido relativo de NaCl y su aplicación en quesos frescos



Rubén Cázares-Gallegos^a

Juan Antonio Vidales-Contreras^a

Alejandro Isabel Luna-Maldonado^a

Michael E. Hume^b

Ramón Silva-Vázquez^c

Armando Quintero-Ramos^d

Gerardo Méndez-Zamora^{a*}

^a Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Francisco Villa s/n, Ex Hacienda El Canada, 66050. Escobedo, Nuevo León, México.

^b Food and Feed Safety Research Unit, Southern Plains Agricultural Research Center, USDA, TX, USA.

^c Instituto Tecnológico de Parral, Chihuahua, México.

^d Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Químicas. Chih, México.

* Autor de correspondencia. mezage@hotmail.com

Resumen:

Se desarrolló y evaluó un prototipo electroquímico (PEQ) para la medición de variables eléctricas [voltios (V), amperaje (A), resistencia (*R*) y potencia (*P*)] en soluciones que contienen NaCl y se probó en quesos frescos. El circuito del PEQ consistió en dos electrodos (un ánodo de aluminio y un cátodo de cobre), un multímetro y una resistencia. Los parámetros experimentales establecidos en el PEQ fueron la distancia entre electrodos (0.5 o 4.0 cm) y

la presencia de la resistencia. Se evaluaron siete tratamientos (soluciones) con diferentes concentraciones de NaCl: 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 g de NaCl/100 ml de agua. Los quesos evaluados fueron un queso comercial (control) y otro “light” (bajo en calcio, sodio y grasa). Las variables eléctricas difirieron ($P<0.05$) entre los tratamientos y entre los quesos. Un análisis de regresión mostró que un modelo cuadrático dio el mejor ajuste para el PEQ. Los resultados indicaron que a mayores concentraciones de NaCl el voltaje y la resistencia disminuyeron mientras que el amperaje y la potencia aumentaron. El prototipo electroquímico detectó estos cambios de manera rápida y eficaz tanto en soluciones salinas como en quesos frescos, demostrando que es una técnica válida para el análisis de la composición de productos lácteos.

Palabras clave: Adulteración, Queso, Potencial eléctrico, NaCl, Control de calidad.

Recibido: 26/06/2017

Aceptado: 08/02/2018

Hoy en día, los hábitos alimentarios inadecuados tienen serias consecuencias en la salud humana. El consumo de alimentos con altos niveles de azúcares simples, grasas y componentes minerales como el NaCl conduce a problemas asociados con la obesidad, la hipertensión y las enfermedades degenerativas crónicas. En la industria de productos lácteos, la adulteración de la leche conlleva a problemas significativos como la pérdida económica, el deterioro de la calidad del producto y los riesgos para la salud de los consumidores⁽¹⁾. A raíz de este fenómeno esta industria se ha visto obligada a implementar varias pruebas químicas y físicas, a menudo costosas y tardadas, para determinar los contenidos de grasas y sólidos totales⁽¹⁾. Se han aplicado varias técnicas basadas en circuitos eléctricos para evaluar la calidad de la leche^(2,3), los efectos de la conductancia de los componentes de la leche⁽⁴⁾, la presencia de adulterantes⁽¹⁾, y el contenido de grasa⁽⁵⁾. La tecnología del circuito eléctrico también se ha aplicado al queso para estudiar las propiedades dieléctricas como parte de los análisis termodinámicos de la sal⁽⁶⁾, y el análisis fractal y dinámico del agua⁽⁷⁾.

Las propiedades de la conducción eléctrica de un material representan su capacidad para interactuar en una corriente eléctrica^(4,8). Las propiedades eléctricas de la carne, la leche, las frutas y sus derivados dependen de su composición química, los parámetros de medición de la corriente y las condiciones experimentales⁽¹⁾. Los alimentos que contienen electrolitos cargados (positiva- o negativamente), las moléculas cargadas y las macromoléculas cargadas son capaces de transmitir una corriente eléctrica⁽⁹⁾. En el caso de los alimentos, es necesario disponer de “portadores” móviles para los cationes y los aniones; estos se pueden afectar por

la salinidad, la formulación, el estado de agregación, la masa molar, el tipo de enlace, la carga y el número de portadores cargados^(9,10).

Una corriente eléctrica (I) fluirá a través de una muestra de alimentos que contenga iones como parte de un circuito eléctrico⁽⁹⁾. Se determina la fuerza de la corriente eléctrica por medio de la resistencia eléctrica [R ; 1 voltio (V) * amperaje (A^{-1}) = 1 Ohm (Ω)] de la muestra de alimentos, en donde R limita el flujo de corriente eléctrica a través de la muestra. Por lo tanto, dentro de un circuito eléctrico existe una relación lineal entre el voltaje [V representado como U], la corriente (A) y la resistencia eléctrica (R); se conoce este como la ley de Ohm [$I = (1/K)*U$; ó $I = G * U$]. Cuando se necesita ser independiente de la geometría de la muestra y del circuito en la realización de ciertos tipos de cálculos, es necesario introducir las propiedades del material, la resistividad eléctrica específica (ρ ; en $\Omega*m$), y la conductividad específica (κ ; en $S*m^{-1}$); en donde κ depende solamente del estado de la fase, del contenido de humedad, y de la composición química, pero no del tamaño de la muestra; esto se expresa como $R = \rho * (l/A)$ ó $\kappa = 1/\rho$, en donde l es la longitud en metros (m), y κ es el área actual en metros cuadrados (m^2)^(9,11).

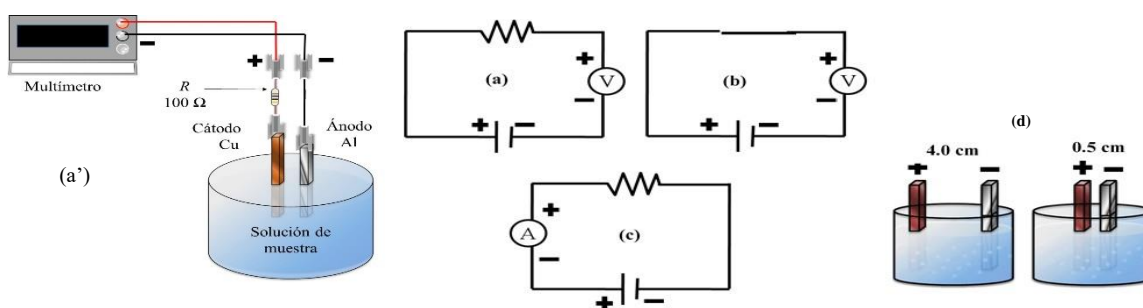
La leche es un electrólito que se caracteriza por su conductividad iónica la cual se debe a su alto contenido de agua y de minerales⁽⁵⁾. Para esta caracterización se consideran: 1) mediciones de la corriente incluyendo el voltaje, la frecuencia, la forma del pulso y el tipo de corriente eléctrica (directa, variable, alternando); 2) la composición química de la materia fresca [por ejemplo, el contenido de agua y las concentraciones de iones (Ca, Na, K, Mg, Cl) y componentes de la materia seca como las grasas, las proteínas y los azúcares]; y 3) las condiciones experimentales, particularmente la temperatura. El queso en cambio es un sistema coloidal que contiene proteína, grasa y una fase acuosa en equilibrio eléctrico; en esta fase la sal se usa comúnmente en la industria de los productos lácteos para preservar la calidad del queso⁽⁶⁾.

El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un prototipo electroquímico (PEQ) constituido por: una célula galvánica experimental para generar electricidad a través de una reacción redox espontánea⁽¹²⁾; dos electrodos (un cátodo de cobre y un ánodo de aluminio); y un conductor iónico (en este caso soluciones de NaCl y quesos comerciales frescos)⁽¹³⁾. Se evaluó la eficacia del PEQ en medir el voltaje, la corriente eléctrica, la resistencia y la potencia como una representación del contenido de NaCl, como prueba de su capacidad para cuantificar la concentración del NaCl de manera rápida.

Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Remediación Ambiental y Análisis de Suelos, Agua y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Ciudad General Escobedo, Nuevo León, México). El laboratorio está ubicado en el noreste de México (26°49' N; -100°19' W) a una altura de 500 m⁽¹⁴⁾. El prototipo

electroquímico incorporaba dos electrodos, uno de aluminio y otro de cobre, cada uno con las dimensiones de 4.5 cm x 4.5 cm x 0.15 cm. A través de todo el experimento se midieron los variables V y A con un multímetro (Modelo 2700/Switch System Keithley, Ohio, USA), y el circuito eléctrico se completó con una resistencia (Φ ; 100 Ω tolerancia \pm 5%) (Figura 1a').

Figura 1: Diseño del circuito del prototipo electroquímico (a'), los circuitos para medir el voltio (a, b) y el amperaje (c), y las distancias (d) entre los electrodos (4.0 y 0.5 cm)



Las condiciones experimentales para la evaluación del PEQ fueron la distancia de separación (δ) entre los electrodos (0.5 y 4.0 cm) y la presencia de la resistencia (con o sin la resistencia), durante la medición de las variables eléctricas. La variación en la distancia y la presencia de la resistencia en el circuito se utilizaron para definir cómo las mediciones producidas por el PEQ variaron bajo estas condiciones y desde luego obtener la configuración óptima del diseño del PEQ. Para el experimento se usaron siete soluciones tratamiento (T_i) con diferentes concentraciones de NaCl (0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 g de NaCl/100 ml de agua). Se prepararon las soluciones con agua desionizada (CTR Scientific, Monterrey, N.L., México) a temperatura ambiente (24 °C). Los electrodos se insertaron a 2.0 cm de profundidad en cada solución. Estaban separados por una u otra distancia (0.5 y 4.0 cm) (Figura 1d), y contaban con la presencia o ausencia de la resistencia (Figuras 1a-b) en el circuito (δ con Φ y δ sin Φ ; Figura 1a-d). Estas condiciones se establecieron para medir la variable V. Se insertó una resistencia en el circuito eléctrico para medir el amperaje (Figura 1c). Se utilizaron las variables de V y A para estimar la R, basada en la ley de Ohm⁽¹⁵⁾. La potencia (P) en vatios se midió con la ecuación: $P = V I^{(15)}$. Se llevaron a cabo dos réplicas del experimento y las mediciones se realizaron por duplicado.

Se comprobó el PEQ utilizando 400 g de queso comercial fresco sea tipo estándar (Control), y uno ligero (Light), es decir, bajo en calcio, sodio y grasa (Cuadro 1). Ambos quesos tenían las dimensiones de 12 cm de diámetro por 4 cm de alto. Se midieron las variables eléctricas de V, A, R y P en cada queso según las condiciones determinadas en la evaluación del PEQ (Figura 1). Los electrodos se introdujeron a una profundidad de 1.5 cm dentro de los quesos

y los electrodos se colocaron a dos distancias (0.5 y 4.0 cm). La variación de la distancia entre electrodos se realizó por tres razones: 1) para validar la distancia óptima entre los electrodos; 2) para determinar si una resistencia fue requerida en el circuito cuando el amperaje se midió; y 3) para determinar las condiciones óptimas para medir las variables eléctricas y sus variaciones en el queso. Las mediciones se realizaron por duplicado en cada tipo de queso y cada variable se midió por triplicado. Para el pH, se tomaron tres muestras de 10 g cada una de cada tipo de queso. Cada muestra se homogenizó en 90 ml de agua destilada y se le midió el pH con un potenciómetro (Mettler Toledo, Proproték; Columbus, OH, EE.UU.).

Cuadro 1: Composición nutricional de los dos tipos de queso

Características	Composición (g/20 g de queso)*	
	Control	Light
Carbohidratos	0.60	0.50
Proteína	3.40	4.00
Grasas	5.20	2.80
Calcio	0.11	-\$
Sodio	0.11	0.08
Humedad y otros componentes	10.57	12.62

*Los datos son del empaque del producto comercial.

§ - = no presente.

La evaluación estadística de los resultados del experimento del PEQ se llevó a cabo por medio de un análisis de varianza (ANOVA) aplicado con el procedimiento GLM en el programa estadístico SAS⁽¹⁶⁾, con el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + \delta_j + \Phi_k + (T\delta)_{ij} + (T\Phi)_{ik} + (\delta\Phi)_{jk} + (T\delta\Phi)_{ijk} + \epsilon_{ijk};$$

Donde:

y_{ijk} = las variables *V*, *A*, *R* y *P*;

μ = el medio general;

T_i = el efecto fijo del *i*-ésimo tratamiento (las soluciones de NaCl y los quesos);

δ_j = el efecto fijo del *j*-ésimo distancia entre los electrodos;

Φ_k = el efecto fijo del *k*-ésimo condición de la resistencia;

$(T\delta)_{ij}$ = el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y la distancia;

$(T\Phi)_{ik}$ = el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y la resistencia;

$(\delta\Phi)_{jk}$ = el efecto fijo de la interacción entre la distancia y la resistencia;

$(T\delta\Phi)_{ijk}$ = el efecto fijo de la interacción triple entre el tratamiento, la distancia y la resistencia;

ϵ_{ijk} = el error aleatorio con una distribución normal, un medio de cero y una varianza de σ^2 [$\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$].

Los resultados del pH del queso se analizaron con un ANOVA simple. El efecto de la variable independiente NaCl sobre las variables dependientes V , A , R y P se analizó con un ANOVA, una regresión lineal y el procedimiento REG in el programa estadístico SAS⁽¹⁶⁾, además del siguiente modelo estadístico cuadrático de segunda orden⁽¹⁷⁾:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_{11} X_1^2 + \epsilon_i;$$

Donde:

y_i = variable dependiente y bajo la influencia de X (NaCl);

β_0 = intersección cuando $X = 0$;

β_1 = coeficiente de la regresión lineal, lo cual representa el cambio en y cuando X (NaCl) incrementa por una unidad;

X_1 = los valores de la i -ésima solución de la variable independiente X_1 (NaCl);

β_{11} = los coeficientes de regresión del segundo orden, los cuales representen el cambio en y cuando X_1 se incrementa por una unidad de manera cuadrática;

X_1^2 = el valor de la i -ésima solución cuadrática de la variable independiente X_1^2 (NaCl²);

ϵ_i = el error aleatorio de la i -ésima observación del efecto de la variable independiente (X_1) sobre y .

Una comparación de medias se hizo con la prueba Tukey usando un nivel de confianza de 0.05 (95%).

El análisis del efecto estadístico (valor P) de los factores evaluados en el PEQ sobre las variables medidas en soluciones salinas mostraron que la distancia (δ_j) y su interacción con el tratamiento con NaCl $[(T\delta)_{ij}]$ no tuvieron efecto ($P > 0.05$) sobre las variables eléctricas evaluadas (y_{ijk}) (Cuadro 2). Sin embargo, la concentración de NaCl (T_i) si tuvo un efecto ($P < 0.05$) sobre las variables evaluadas en las soluciones. Esto indica que se puede utilizar una distancia de 0.5 ó 4.0 cm en el diseño del PEQ para medir las variables eléctricas en estas soluciones sin cambiar los valores de las variables. El amperaje se midió solamente con la presencia de la resistencia en el circuito, y por lo tanto no se calculó el valor del P para la

interacción de la resistencia (Φ_k) con el NaCl [$(T\Phi)_{ik}$], la distancia [$(\delta\Phi)_{jk}$] y la interacción triple [$(T\delta\Phi)_{ijk}$] entre el tratamiento, la distancia, y la resistencia.

Cuadro 2: Efectos de los parámetros del modelo sobre las variables evaluadas en soluciones de NaCl por el prototipo electroquímico

Parámetros*	Valor de P			
	Voltio	Amperaje	Resistencia	Potencia
Modelo	0.3902	0.0007	0.0007	0.0003
T_i	0.0076	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
δ_j	0.3768	0.8698	0.3705	0.7297
Φ_k	0.1794	- [§]	-	-
$(T\delta)_{ij}$	0.9202	0.7314	0.6128	0.4448
$(T\Phi)_{ik}$	0.8566	-	-	-
$(\delta\Phi)_{jk}$	0.9527	-	-	-
$(T\delta\Phi)_{ijk}$	0.9971	-	-	-
$\mu \pm \epsilon_{ijk}$	0.564 ± 0.007	2.615 ± 0.097	220.333 ± 7.562	1464.686 ± 37.189

* T_i = i -ésimo tratamiento (NaCl); δ_j = j -ésimo distancia; Φ_k = j -ésimo condición de la resistencia; $(T\delta)_{ij}$ = la interacción entre el tratamiento y la distancia; $(T\Phi)_{ik}$ = la interacción entre el tratamiento y la resistencia; $(\delta\Phi)_{jk}$ = la interacción entre la distancia y la resistencia; $(T\delta\Phi)_{ijk}$ = la interacción triple entre el tratamiento, la distancia y la resistencia; $\mu \pm \epsilon_{ijk}$ = media \pm error estándar. n = 42.

[§] - no detectado.

Las mediciones de la conductividad eléctrica por el PEQ en las diferentes concentraciones de NaCl (T_i) muestran que las concentraciones de 2, 4 y 6 g de NaCl/100 ml de agua produjeron los valores de voltaje más altos, mientras que el control (0 g de NaCl/100 ml de agua) produjo el valor más bajo ($P < 0.05$) (Cuadro 3). Las concentraciones más altas de NaCl, incluyendo la de 6 g de NaCl/100 ml de agua, mostraron valores altos de amperaje y potencia, pero tuvieron los valores más bajos para la resistencia. Estos resultados son similares a los de un estudio en que evaluaron las variables eléctricas en el jugo de limón a concentraciones diferentes de NaCl⁽¹⁸⁾. Las conclusiones de ese estudio fueron que: la presencia de ácidos débiles influyó directamente en la transferencia de electrones afectando principalmente al ánodo de magnesio; y que la adición de NaCl bloqueó la interacción del ácido sobre la superficie del electrodo, produciendo una disminución en el potencial eléctrico.

Cuadro 3: Conductividad eléctrica evaluada en soluciones con diferentes concentraciones de NaCl por el prototipo electroquímico

NaCl* (T _i)	Variables [¶]			
	Voltio	Amperaje	Resistencia	Potencia
0	0.539 ^b	- [§]	-	-
2	0.576 ^a	2.055 ^b	277.810 ^a	1,168.018 ^b
4	0.576 ^a	2.240 ^b	253.215 ^{ab}	1,267.343 ^b
6	0.580 ^a	2.715 ^a	212.785 ^{bc}	1,553.998 ^a
8	0.566 ^{ab}	2.663 ^a	211.610 ^c	1,499.765 ^a
10	0.553 ^{ab}	2.960 ^a	186.723 ^c	1,626.340 ^a
12	0.556 ^{ab}	3.058 ^a	179.858 ^c	1,672.655 ^a
EE	0.007	0.088	9.110	45.778

* NaCl en g/100 ml de agua.

¶ Medias (n = 42) con la misma letra no son diferentes ($P > 0.05$). EE = error estándar.

§ - no detectado.

El análisis de regresión de la validación del PEQ mostró un efecto significativo ($P < 0.05$) para un comportamiento lineal e indicó que el mejor ajuste para las variables eléctricas era un modelo cuadrático (Cuadro 4). En el caso de V, el PEQ detectó una disminución de -0003 V, mientras para R hubo una reducción de -19 Ω para cada aumento en la concentración de NaCl. En contraste, para cada incremento de unidad en las concentraciones de sodio el valor de A incrementó más de 0.17 y lo de P más de 107. Los resultados indican que el parámetro cuadrático (β_{11}) es adecuado para detectar disminuciones en los parámetros V, A y P, y aumentos en R, en respuesta a variaciones en las concentraciones de NaCl.

Cuadro 4: Coeficientes de la regresión (β), y la determinación (R^2) en la validación del prototipo electroquímico

Variable Dependiente	Coeficiente de la regresión*			R^2		Valor de P
	β_0	β_1	β_{11}	Lineal	Cuadrático	
Voltio	0.563	-0.003	- 0.0004	0.2127	0.2664	0.0387
Amperaje	1.712	0.173	- 0.0051	0.7854	0.8024	< 0.0001
Resistencia	314.511	-19.289	0.6733	0.7756	0.8064	< 0.0001
Potencia	959.196	107.242	- 4.0418	0.7384	0.7785	< 0.0001

* β_0 el intercepto cuando $X = 0$; β_1 = el cambio en y cuando X (NaCl) se incrementa por una unidad; β_{11} = representa el cambio en y cuando X_1 se incrementa por una unidad de manera cuadrática; R^2 = el coeficiente de la determinación.

El análisis del efecto de los parámetros sobre las variables de los dos tipos de queso mostró que el tipo de queso (T_i) afectó V , A , P y el pH ($P < 0.05$), mientras que solo la distancia (δ_j) afectó a V ($P < 0.05$) (Cuadro 5). La interacción entre el tipo de queso y la distancia [$(T\delta)_{ij}$] no influyó en las variables. No se muestran los efectos de las interacciones para otros parámetros que implican la resistencia ya que la resistencia se incluyó en el circuito solamente para medir el amperaje. Cuando se compararon las medias, el queso control mostró los valores más altos para V , A y P , pero tuvo los valores más bajos para R y el pH. El voltaje a la distancia de 4 cm fue el más alto en comparación con V a 0.5 cm. Estos resultados pueden estar relacionados con la composición del queso control, ya que tiene un mayor contenido lipídico. Consecuentemente, tiene una mayor presencia de ácidos grasos disponibles en el sistema, lo cual influye sobre la oxidación en el ánodo. Por ejemplo, algunos ácidos como el CH_3COOH son electrolitos débiles, y no están completamente ionizados. Esto puede causar una reacción reversible que produce iones H^+ en el medio, y, con la presencia de metales como Zn , Mg y Fe , puede conducir la electricidad⁽¹²⁾. Además, el hidrógeno disuelto (H^+) en solución se reduce en ausencia del cobre por el efecto de la oxidación del electrodo a H_2 ⁽¹⁹⁾, afectando las variables eléctricas cuantificadas en los quesos. Las propiedades dieléctricas de los alimentos dependen de sus composiciones químicas⁽¹⁾. Las reacciones identificadas en este estudio podrían explicar los altos valores para V , A y P en el queso control, el cual contiene más grasa, Ca y Na que el queso ligero. Desde luego, el PEQ se puede utilizar para evaluar el contenido de la grasa y del Na en los quesos para determinar su calidad y los niveles de las variables empleadas respecto a las normas oficiales mexicanas.

Cuadro 5: Efectos de los parámetros del modelo en las variables evaluadas en los quesos con el prototipo electroquímico

Parámetros*	Voltio	Amperaje	Resistencia	Potencia	pH
	Valor de P				
Modelo	0.0008	0.2118	0.2821	0.1505	-.§
T_i	0.0004	0.0421	0.0867	0.0312	< 0.0001
δ_j	0.0118	0.5687	0.4656	0.4322	-
Φ_k	0.0639	-	-	-	-
$(T\delta)_{ij}$	0.3775	0.9026	0.5623	0.8712	-
$(T\Phi)_{ik}$	0.2091	-	-	-	-
$(\delta\Phi)_{jk}$	0.9773	-	-	-	-
$(T\delta\Phi)_{ijk}$	0.3930	-	-	-	-
	Quesos comerciales (T_i ; μ)				
Control	0.528 ^a	1.082 ^a	507.307 ^b	568.701 ^a	6.530 ^b
Light	0.512 ^b	0.982 ^b	536.689 ^a	505.675 ^b	6.755 ^a
	Distancia (δ_j ; cm)				
0.5	0.515 ^b	1.021	525.609	527.127	-
3.0	0.526 ^a	1.044	513.388	547.250	-

Resistor (Φ_k)	0.520	1.032	519.498	537.188	-
($T\delta$) _{ij}	0.520	1.032	522.590	542.330	-
($T\Phi$) _{ik}	-	-	-	-	-
($\delta\Phi$) _{jk}	-	-	-	-	-
($T\delta\Phi$) _{ijk}	-	-	-	-	-
EE	0.003	0.024	9.378	15.394	0.013

* $T_i = i$ -ésimo tratamiento (quesos); $\delta_j = j$ -ésima distancia; $\Phi_k = j$ -ésima condición de la resistencia; ($T\delta$)_{ij} = la interacción entre el tratamiento y la distancia; ($T\Phi$)_{ik} = la interacción entre el tratamiento y la resistencia; ($\delta\Phi$)_{jk} = la interacción entre la distancia y la resistencia; ($T\delta\Phi$)_{ijk} = la interacción triple entre el tratamiento, la distancia y la resistencia; ² $\mu \pm \epsilon_{ijk}$ = media \pm error estándar (EE); n = 12.

§ - = no detectado.

¶ Medias (n = 12) con la misma letra no son diferentes ($P > 0.05$).

El voltaje y la resistencia son variables que se pueden medir con el prototipo electroquímico, ya que estas variables disminuyeron en las concentraciones más altas de NaCl, mientras que el amperaje y la potencia aumentaron. Las distancias entre los electrodos y la presencia de la resistencia en el circuito no influyeron en los niveles de las variables eléctricas, pero la distancia es necesaria para determinar los datos de resistencia. El prototipo electroquímico detectó diferencias en las variables eléctricas (voltios, amperios, resistencia y potencia) entre los quesos según su composición química. Desde luego el prototipo evaluado podría ser utilizado para evaluar el contenido de minerales y la calidad de quesos por medio del voltio, el amperaje, la resistencia y la potencia.

Literatura citada:

1. Sadat A, Mustajab P, Khan IA. Determining the adulteration of natural milk with synthetic milk using ac conductance measurement. J Food Eng 2006;77(3):472-477.
2. Mabrook MF, Petty MC. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. Sensor Actuat B-Chem 2002;B84(2-3):136-141.
3. Mabrook MF, Petty MC. A novel technique for the detection of added water to full fat milk using single frequency admittance measurements. Sensor Actuat B-Chem 2003a;B96(1-2):215-218.
4. Mabrook MF, Petty MC. Effect of composition on the electrical conductance of milk. J Food Eng 2003b;60(3):321-325.
5. Żywica R, Banach JK, Kielczewska K. An attempt of applying the electrical properties for the evaluation of milk fat content of raw milk. J Food Eng 2012;111(2):420-424.

6. Velázquez-Varela J, Fito PJ, Castro-Giráldez M. Thermodynamic analysis of salting cheese process. *J Food Eng* 2014;130:36-44.
7. Maruyama Y, Numamoto Y, Saito H, Kita R, Shinyashiki N, Yagihara S, Fukuzaki M. Complementary analyses of fractal and dynamic water structures in protein-water mixtures and cheeses. *Colloid Surface A* 2014;440:42-48.
8. Lin Teng Shee F, Angers P, Bazinet L. Relationship between electrical conductivity and demineralization rate during electroacidification of cheddar cheese whey. *J Membrane Sci* 2005;262(1-2):100-106.
9. Figura LO, Teixeira AA. *Food physics. Physical properties-measurement and applications*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag; 2007.
10. Lewis MJ. *Physical properties of foods and food processing systems*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag; 1990.
11. Gustafson RJ, Morgan MT. *Fundamentals of electricity for agriculture*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI. 2004.
12. Chang R. *Chemistry*. New York, USA: Mc Graw Hill; 2010.
13. Atkins P, de Paula J. *Physical Chemistry*. Oxford, New York: W.H. Freeman and Company; 2006.
14. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en Cifras: Información Nacional por Entidad Federativa y Municipios. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>. Consultado: Feb 12, 2017.
15. Harris DC. *Quantitative chemical analysis*. Oxford, New York: W.H. Freeman and Company; 2007.
16. SAS. *Statistical Analysis System. Version 9.1.3*. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, 2006.
17. Montgomery DC. *Design and analysis of experiments*. Danvers MA: John Wiley & Sons, Inc; 2013.
18. Muske KR, Nigh CW, Weinstein RD. A lemon cell battery for high-power applications. *J Chem Educ* 2007;84(4):635-638.
19. Kelter PB, Carr JD, Johnson T. The chemical and educational appeal of the orange juice clock. *J Chem Educ* 1996;73(12):1123-1127.