

Extracto hidroalcohólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) como indicador en titulación ácido base de alimentos

Hydroalcoholic extract of turmeric (*Curcuma longa* L.) as an indicator in acid-base titration of foods

Argelia García-Elizalde^{1*}, Grecia García-Elizalde²

¹Salud Pública, Facultad de Ciencias de la Salud, Zacatelco, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ciencias de la Salud Sur No. 11, Bo Guardia Secc. Tercera, Zacatelco, Tlax. México. C.P. 90740. Correo electrónico: argelia.garcia.e@uatx.mx

*Autor de correspondencia

²Departamento de Biotecnología, Ciencias Biológicas y de la Salud, Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana.

*Autor de correspondencia

Resumen

La curcumina es un pigmento amarillo brillante presente en los rizomas de cúrcuma. Este pigmento es un ácido débil Brønsted-Lowry que vira de amarillo a rojo al cambiar el pH de ácido a básico. Se elaboró y evaluó un extracto hidroalcohólico de cúrcuma (EHC) como indicador de titulación de un ácido débil con una base fuerte frente a fenoltaleína. Los rizomas de cúrcuma se desinfectaron deshidrataron y maceraron en etanol-agua. Se titularon series de alícuotas de yogurt natural, refresco sabor limonada y jugo fresco de piña. Empleando EHC, los porcentajes de acidez mostraron repetibilidad. El estimado de acidez del yogurt utilizando EHC mostró elevada desviación estándar. La prueba de probabilidad exacta de Fisher (asumiendo $p = 0.05$) arrojó igualdad de medianas de acidez en refresco y jugo de piña, pero no para yogurt. En consecuencia, el EHC elaborado aporta estimaciones precisas de acidez y similares a las obtenidas con fenoltaleína para refresco sabor limonada y jugo fresco de piña.

Palabras clave: Acidez; alimento; cúrcuma; extracto; indicador.

Abstract

Curcumin is a bright yellow pigment present in turmeric rhizomes. This pigment is a Brønsted-Lowry weak acid that changes from yellow to red when changing the pH from acidic to basic. A turmeric hydroalcoholic extract (EHC) was elaborated and evaluated as an acid-base titration indicator against phenolphthalein. Turmeric was disinfected, dehydrated, and macerated in an ethanol-water solution. Aliquots of natural yogurt, lemonade-flavored soft drink, and fresh pineapple juice were titrated. Employing EHC as an indicator, the acidity estimations exhibited repeatability. Elevated standard deviation existed in the acid yogurt estimations when using EHC. Fisher's exact probability test (assuming a $p = 0.05$) showed that the acidity medians were statistically equal between EHC and phenolphthalein for lemonade soda and pineapple juice, but not for yogurt. Consequently, EHC provides accurate and similar estimates of acidity compared to those obtained with phenolphthalein for lemonade-flavored soft drinks and fresh pineapple juice.

Keywords: Acidity; food; turmeric; extract; indicator.

Recibido: 06 de abril de 2021

Aceptado: 26 de julio de 2021

Publicado: 13 de octubre de 2021

Cómo citar: García-Elizalde, A., & García-Elizalde, G. (2021). Extracto hidroalcohólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) como indicador en titulación ácido base de alimentos. *Acta Universitaria* 31, e3188. doi: http://doi.org/10.15174/au.2021.3188

Introducción

La titulación volumétrica ácido-base es una sencilla prueba fisicoquímica para determinar la concentración de un ácido en solución. En esta técnica se lleva a cabo una reacción de neutralización ácido-base en presencia de un indicador, el cual debe virar de color en un intervalo de pH apropiado para mostrar el punto final de la titulación (NMX-F-102-NORMEX-2010) (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010a; Tyl & Sadler, 2017). En la ciencia de los alimentos, la titulación volumétrica ácido-base emplea indicador fenolftaleína. Este indicador es un ácido orgánico débil cuya forma no disociada es incolora y su base conjugada es rosa fucsia, virando en un intervalo de 8.3 a 10.0 unidades de pH (Skoog *et al.*, 2014).

En los alimentos, el grado de acidez influye en sus características sensoriales y estabilidad microbiológica; por ello, es un punto crítico de control de los alimentos en estado fresco, en las etapas de procesamiento y en anaquel (Codex Alimentarius, 1995, 2005, 2011).

A pesar de su uso diseminado, la fenolftaleína conlleva riesgos hacia la salud de los usuarios y la contaminación del medio ambiente. Posee toxicidad por inhalación de aire contaminado o al contacto con piel y ojos. Además, es carcinogénica, dañina a la fertilidad, y se sospecha que puede causar daños genéticos (Merck, 2017). Los residuos que son vertidos al desagüe contaminan los cuerpos de agua (García-Orozco *et al.*, 2016; Merck, 2017; Rickert *et al.*, 2016).

Una fuente alternativa de indicadores ácido-base son los pigmentos naturales extraídos de flores, rizomas, brácteas, entre otros (Bahadori & Maroufi, 2016). Los rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa* L.) son utilizados en la gastronomía, la farmacéutica y la nanotecnología, por mencionar algunos. Estos rizomas contienen entre 2% y 5% de curcumina, un compuesto polifenólico de color amarillo (Aggarwal *et al.*, 2007), reconocido como seguro para su consumo y amigable con el medio ambiente (Grynkiewicz & Ślifirski, 2012; Venturini *et al.*, 2020).

La estructura química de la curcumina presenta una conformación cetónica y otra enólica (Bernabé-Pineda *et al.*, 2004). La curcumina enólica predomina a pH neutro, temperatura de 25 °C y concentraciones iguales o mayores a 50% de etanol en agua (Bhatia *et al.*, 2016). Además, esta conformación de la curcumina vira de amarillo a rojo al cambiar de pH ácido a básico (Bernabé-Pineda *et al.*, 2004; Priyadarsini, 2014).

Considerando las características fisicoquímicas de la curcumina y los riesgos que conlleva el uso de fenolftaleína, este trabajo se suma a la búsqueda de un indicador natural, que reduzca los riesgos a la salud de los usuarios y las fuentes de contaminación de los cuerpos de agua. Los objetivos de este estudio son elaborar y evaluar un extracto hidroalcohólico de cúrcuma (EHC) mediante su uso como indicador en la titulación de un ácido débil con una base fuerte de jugo fresco de piña, yogurt natural sin edulcorantes y refresco sabor limonada, frente al indicador de fenolftaleína.

Materiales y Métodos

Los materiales para este experimento incluyen Balanza Ohaus Scout® (220 g x 0.001 g), frascos graduados de 250 ml de vidrio con rosca, botellas de vidrio ámbar con gotero de 30 ml, matraz aforado de 1000 ml, bureta de 50 ml, embudo de vidrio, vasos de precipitados de 250 ml, matraces Erlenmeyer de 250 ml, pipetas graduadas de 1 ml y 10 ml, soporte universal, pinzas mariposa, tiras colorimétricas de pH, papel filtro Whatman No. 4, cúter, charola de plástico, solución estándar de hidróxido de sodio de 0.1 mol/L, agua destilada libre de CO₂, etanol grado alimenticio 60% (v/v) en agua destilada, fenolftaleína al 1% en etanol al 70% (v/v) agua y rizomas frescos de cúrcuma.

Los productos alimenticios consistieron en 900 g de yogurt natural sin edulcorantes, un refresco sabor limonada de 2 L y jugo de piña extraído de la pulpa por prensado. La piña utilizada fue *Ananas comosus* L. de 1/2 de madurez (NMX-FF-028-SCFI-2008) (DOF, 2009) y cultivada en Veracruz, México.

Desinfección y deshidratación de cúrcuma

Los rizomas frescos de cúrcuma se adquirieron en el mercado local "Emilio Sánchez Piedras" de Tlaxcala, México. El material vegetal se lavó; se desinfectó con plata coloidal, según indicaciones del fabricante; se escurrió y se cortó en rodajas de 1 mm de grosor. Los rizomas en rodajas se extendieron en una charola a la sombra y en un lugar seco, ahí permanecieron hasta peso constante a temperatura entre $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se consideró la masa inicial y final de las rodajas. El porcentaje de humedad se calculó con la ecuación 1.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Preparación del extracto hidroalcohólico de cúrcuma

En un frasco graduado de 250 ml se colocaron 6 g de cúrcuma deshidratada en rodajas, y se adicionaron 114 ml de solución binaria 60% (v/v) de etanol-agua (figura 1a); esta concentración es apropiada para la extracción de curcumina (Waszkowiak & Gliszczynska-Świąto, 2016). El frasco se almacenó por 24 horas a temperatura ambiente ($21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y al resguardo de la luz (Gryniewicz & Ślifirski, 2012). Posteriormente, se filtró y se transfirió a un frasco color ámbar (figura 1b).



Figura 1. Elaboración del extracto hidroalcohólico de cúrcuma al inicio (a) y después de 24 horas de extracción (b)
Fuente: Elaboración propia.

Determinación de acidez titulable

La acidez titulable se cuantificó mediante el método establecido en la norma mexicana NMX-F-102-NORMEX-2010 (DOF, 2010a). Para cada alimento, las alícuotas se obtuvieron de una sola unidad de análisis, con la finalidad de mantener la variable de acidez constante. Se eliminó el dióxido de carbono en la muestra de refresco y en el agua destilada. Se titularon 20 alícuotas para cada alimento: 10 utilizando EHC como indicador y 10 utilizando indicador fenoltaleína. El viraje del indicador se identificó visualmente y se verificó la persistencia por 30 segundos (Skoog *et al.*, 2014).

La técnica fue ejecutada por la misma persona y bajo las mismas condiciones. Se procesaron 20 alícuotas por día. Los cálculos de los porcentajes de acidez se efectuaron según la ecuación 2:

$$\% = \frac{V(N)P_{eq}}{Q} \times 100 \quad (2)$$

donde V es volumen de la solución de NaOH gastados en la titulación (ml); N es concentración de la solución de NaOH utilizada (0.1 mol/L); P_{eq} es masa molar equivalente del ácido orgánico predominante en la muestra (g/eq.); Q es masa o volumen de la muestra (g o ml).

Intervalo de pH de viraje del Extracto Hidroalcohólico de Cúrcuma

La determinación del intervalo de pH al que vira el EHC de amarillo a rojo se estimó de forma experimental y teórica. En la estimación experimental se utilizaron tiras colorimétricas y en la teórica se utilizó la ecuación 3 (Skoog *et al.*, 2014), tomando en cuenta el pKa de 8.38 reportado por Bernabé-Pineda *et al.* (2004).

$$\text{Intervalo del indicador} = pK_a \pm 1 \quad (3)$$

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados de porcentaje acidez se realizó con el programa SPSS *Statistics* 21. Se obtuvo estadística descriptiva (media, desviación estándar y coeficiente de variación). A través de la prueba de probabilidad exacta Fisher, asumiendo $p = 0.05$, se compararon las medianas de los porcentajes de acidez obtenidas al usar EHC y fenoltaleína para los tres productos alimenticios.

El coeficiente de variación se calculó según la ecuación 4:

$$CV = \frac{DE}{\bar{X}} \times 100 \quad (4)$$

donde DE = desviación estándar y \bar{X} = media de porcentaje de acidez.

Resultados y Discusión

La deshidratación de los rizomas de cúrcuma se realizó para brindar mayor estabilidad microbiológica al material vegetal; la estimación de la humedad en base fresca fue de 86.71%.

En la tabla 1 se refieren los intervalos de pH obtenidos experimental y teóricamente utilizando la fórmula 3. Los datos experimentales entran dentro del dominio de los estimados teóricamente, pero difieren en cinco décimas de los reportados por Priyadarsini (2014), de 7.5 a 8.5 unidades de pH.

Tabla 1. Intervalos de pH de transición de color del extracto hidroalcohólico de cúrcuma.

Fuente	Intervalo de pH de transición	Observación
Experimental	8 a 9	Tiras reactivas de pH
Estimado teórico	7.4 a 9.4	Utilizando la fórmula 3

Fuente: Elaboración propia.

El intervalo de pH de viraje del EHC se puede explicar a partir del comportamiento ácido-base de la curcumina. La curcumina se ha descrito como un ácido débil de Brønsted-Lowry con tres protones lábiles para los que se han estimado tres pKas diferentes (Bernabé-Pineda *et al.*, 2004; Gryniewicz & Ślifirski, 2012; Shen & Ji, 2007). En solución hidroalcohólica, la primer desprotonación de la curcumina es responsable del viraje de amarillo a rojo al pasar de pH ácido a básico (Bhatia *et al.*, 2016; Priyadarsini, 2014).

En la figura 2 se representa el equilibrio ácido-base de la curcumina, el cual sirve de base para explicar el viraje del EHC como indicador. Al añadir el EHC a la solución problema, la concentración de iones hidronio es elevada, y la reacción evoluciona a la izquierda donde está presente la curcumina en forma enólica de color amarillo (figura 2a). Al adicionar hidróxido de sodio y alcanzar el intervalo de pH de 7.5 a 8.5, la reacción evoluciona a la derecha donde predomina la base conjugada de la curcumina enólica con color marrón rojizo (figura 2b) (Bernabé-Pineda *et al.*, 2004; Priyadarsini, 2014). El comportamiento anterior sigue el principio de *Le Châtelier*, el cual explica que "la posición de un equilibrio siempre cambia en una dirección tal que alivia la tensión aplicada al sistema" (Skoog *et al.*, 2014).

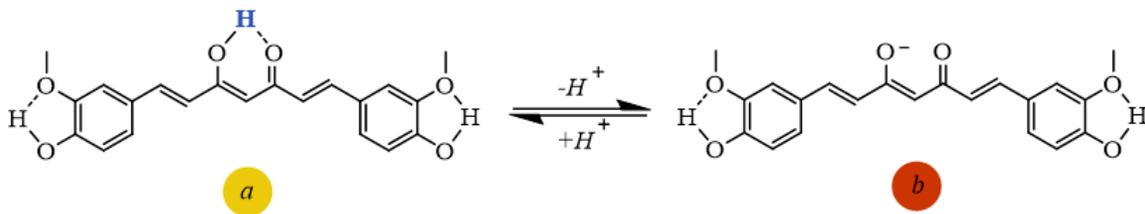


Figura 2. Viraje de la curcumina de amarillo (a) a rojo (b) a pH de 7.5 a 8.5.
Fuente: Elaboración propia con Chemdraw Ultra 12.

En las figuras 3a, 3b y 3c se muestran evidencias fotográficas del viraje típico de la fenoltaleína y del EHC. Inicialmente, al adicionar EHC en las alícuotas problema se percibió un color amarillo brillante. Posteriormente, con la adición progresiva de titulante, las alícuotas problema de refresco sabor limonada y jugo fresco de piña viraron a marrón rojizo. Este comportamiento no se observó en el yogurt y puede atribuirse a que la turbidez de la alícuota impide ver el viraje de forma clara.



Figura 3a. Viraje de fenoltaleína y viraje de EHC en la titulación de refresco sabor limonada.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3b. Viraje de fenoltaleína y viraje de EHC en la titulación de yogurt natural sin edulcorantes.
Fuente: Elaboración propia.

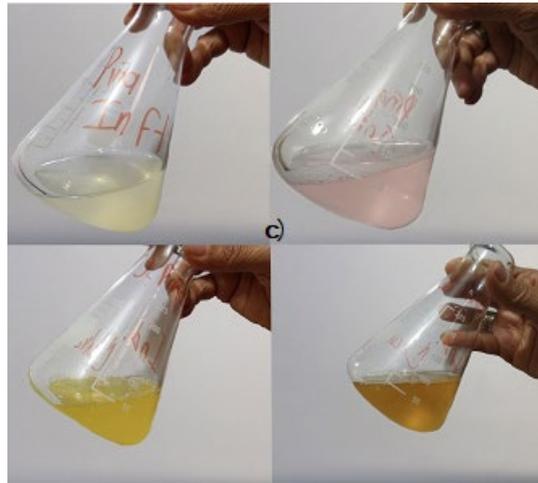


Figura 3c. Viraje de fenoltaleína y viraje de EHC en la titulación de jugo fresco de piña.
Fuente: Elaboración propia.

Otros autores han estudiado los cambios de color de la curcumina a diferentes pHs. Bahadori & Maroufi (2016) trabajaron con las variables de temperatura y solventes para el uso de indicadores de pH a base de pigmentos naturales, incluyendo a la cúrcuma. Pávai *et al.* (2016) crearon un sensor de gelatina y cúrcuma para conocer el pH de diferentes productos. Supharoek *et al.* (2018) utilizaron a la cúrcuma como indicador en un sistema de inyección acoplado a un espectrofotómetro para valorar el ácido acético empleando cal en solución como base titulante.

En este trabajo, para estimar el porcentaje de acidez de los tres productos alimenticios, se identificó el ácido orgánico predominante. El jugo fresco de piña y el refresco sabor limonada contienen ácido cítrico como ácido orgánico predominante. En la siguiente ecuación química se muestra la reacción de titulación del ácido cítrico con tres moles de hidróxido de sodio (ecuación 5).



Por otro lado, el yogurt natural sin edulcorantes contiene ácido láctico como ácido orgánico predominante. Este ácido reacciona con un mol de hidróxido de sodio en las titulaciones ácido-base, tal como se representa en la ecuación química (ecuación 6).



En la tabla 2 se muestra la media de acidez de los productos alimenticios y los límites normativos. Al comparar la media del porcentaje de ácido cítrico en el jugo fresco de piña con el límite normativo, se identifica que es superior a lo establecido en la norma. En el yogurt natural, el porcentaje de ácido láctico es superior al mínimo estipulado; por lo tanto, se encuentra dentro de los límites normativos. El porcentaje de ácido cítrico en el refresco sabor limonada se encuentra dentro de los límites normativos al estar por debajo del límite máximo estipulado.

Tabla 2. Comparación de las medias del porcentaje de acidez de los productos alimenticios con los límites normativos

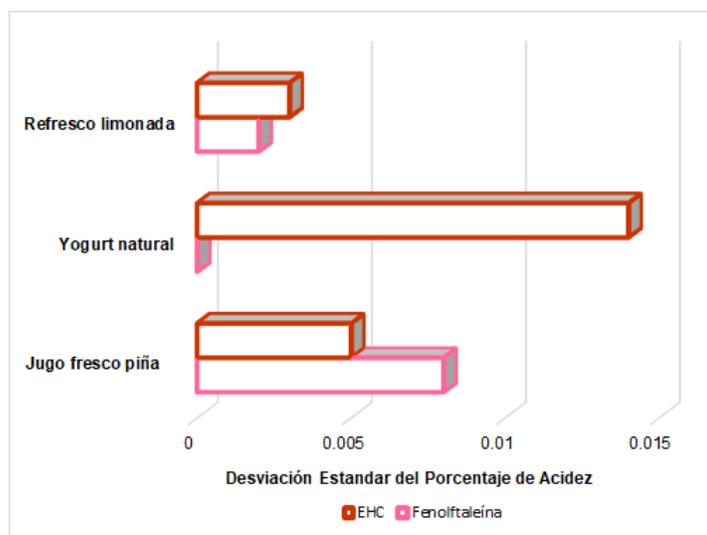
Producto	Indicador	Media del porcentaje de acidez ²	Límites normativos	Norma en la que se reporta
Jugo fresco de piña	Fenolftaleína EHC	1.148 1.150	0.2% a 1.0%	NMX-FF-028-SCFI-2008 (DOF, 2009)
Yogurt natural sin edulcorantes	Fenolftaleína EHC	1.045 1.041	Mín. 0.5%	NOM-181-SCFI-2010 (DOF, 2010b)
Refresco sabor limonada	Fenolftaleína EHC	0.317 0.320	Máx. 0.5%	INEN 1101-2017 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2017)

Nota: Se procesaron 20 alícuotas para cada producto alimenticio. Expresado en el ácido predominante.

Fuente: Elaboración propia.

La desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), también llamado repetibilidad de medición o precisión intraensayo (Morillas *et al.*, 2016), se emplean para describir la precisión de series de datos repetidos (Skoog *et al.*, 2014).

En la figura 4 se muestran las DE del porcentaje de acidez, tanto para el indicador fenolftaleína como para el EHC. Destaca una elevada DE en la acidez del yogurt natural sin edulcorantes al emplear el EHC, la cual es superior a la obtenida con fenolftaleína.



Abreviatura: Fenolft. = Fenolftaleína.
Figura 4. Desviación estándar del porcentaje de acidez empleando fenolftaleína o EHC.
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se muestran los CV expresados en porcentaje y los veredictos sobre la existencia de precisión intraensayo. Al comparar el porcentaje de CV con el criterio de aceptación ($CV = 3\%$) referido para los métodos de titulación volumétrica (Díaz *et al.*, 1998; Pérez, 2018), se encuentra que existe precisión intraensayo para todas las series de mediciones, al caer abajo del criterio de aceptación.

Tabla 3. Porcentaje del coeficiente de variación de la acidez empleando fenolftaleína o EHC en las titulaciones.

Muestra	Indicador	Media del porcentaje acidez ¹	DE del porcentaje de acidez	CV del porcentaje de acidez	Veredicto
Jugo fresco de piña	Fenolft.	1.148	0.008	0.733	Existe precisión intraensayo
	EHC	1.150	0.005	0.404	
Yogurt natural	Fenolft.	1.045	0.000	0.000	Existe precisión intraensayo
	EHC	1.041	0.014	1.365	
Refresco sabor limonada	Fenolft.	0.317	0.002	0.631	Existe precisión intraensayo
	EHC	0.320	0.003	1	

Nota: Se procesaron 20 alícuotas para cada producto alimenticio.
Abreviaturas: **Fenolft.** = Fenolftaleína; DE = Desviación estándar; CV= Coeficiente de variabilidad. ¹Expresado como el ácido predominante.
Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar la prueba de probabilidad exacta de Fisher para comparar las medianas de muestras independientes de los porcentajes de acidez usando fenolftaleína y EHC, se obtuvo igualdad de medianas en jugo fresco de piña y refresco sabor limonada. Sin embargo, las medianas de acidez en yogurt natural resultaron distintas con significancia de $p = 0.001$ (tabla 4). Este comportamiento se atribuye a que el viraje del EHC no logra superponerse a la turbidez de las alícuotas diluidas de yogurt (figura 3b), trayendo errores en la lectura del punto final. Respecto a la técnica de acidez titulable del yogurt con indicador fenolftaleína, no existió problema en la detección del viraje y fue concordante con otros estudios donde se utiliza indicador de fenolftaleína (Alcívar, 2016; Zapata *et al.*, 2015).

Tabla 4. Veredicto de la prueba de probabilidad exacta de Fisher para comparar las medianas de muestras independientes.

Hipótesis nula (Ho)	Significancia exacta de Fisher	Veredicto
Las medianas de acidez en jugo fresco de piña son las mismas entre las categorías de fenoltaleína y EHC.	0.650	Retener Ho
Las medianas de acidez de yogurt natural sin edulcorantes son las mismas entre las categorías de fenoltaleína y EHC.	0.001	Rechazar Ho
Las medianas de acidez de refresco limonada son las mismas entre las categorías de fenoltaleína y EHC.	0.070	Retener Ho

Nota: Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0.05.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Los porcentajes de acidez de yogurt natural, refresco sabor limonada y jugo fresco de piña, al utilizar el EHC elaborado como indicador, presentan repetibilidad de medición. Sin embargo, el EHC no tiene uso potencial en la titulación de yogurt natural sin edulcorantes, por dos razones. Primero, los porcentajes de acidez en yogurt natural al emplear EHC arrojan elevada DE en comparación con fenoltaleína.

Segundo, la prueba de probabilidad exacta de Fisher para este producto muestra diferencia significativa entre las medianas de acidez estimadas con EHC y el indicador fenoltaleína ($p = 0.001$).

El uso de EHC como indicador en las titulaciones de refresco sabor limonada y jugo fresco de piña es viable, pues en ambos productos, la prueba de probabilidad exacta de Fisher presentó igualdad de medianas de los porcentajes de acidez empleando fenoltaleína y EHC. Además, a nivel práctico fue funcional. Una perspectiva para este trabajo es ampliar el estudio a otros grupos de alimentos tanto en fresco como procesados para obtener más hallazgos sobre la potencialidad del EHC.

Conflictos de interés

Las autoras expresan no tener conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Referencias

- Aggarwal, B. B., Bhatt, I. D., Ichikawa, H., Ahn, K. S., Sethi, G., Sandur, S. K., Natarajan, C., Seeram, N., & Shishodia, S. (2007). Curcumin–biological and medicinal properties. En P. N. Ravindran., K. Nirmal Babu. & K. Sivaraman (eds.), *Turmeric: The genus Curcuma* (pp. 297-368). CRC Press.
- Alcívar, P. O. A. (2016). *Evaluación de la acidez titulable en la elaboración de yogurt en base a la norma INEN 2395 en lácteos nacionales* (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7661/1/alcivar.pdf>
- Bahadori, A., & Maroufi, N. G. (2016). Volumetric acid-base titration by using of natural indicators and effects of solvent and temperature. *Austin Chromatography*, 3(1), 2379-7975. <https://austinpublishinggroup.com/chromatography/fulltext/chromatography-v3-id1041.php>
- Bernabé-Pineda, M., Ramírez-Silva, M. T., Romero-Romo, M., González-Vergara, E., & Rojas-Hernández, A. (2004). Determination of acidity constants of curcumin in aqueous solution and apparent rate constant of its decomposition. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 60(5), 1091-1097. doi: [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(03\)00342-1](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(03)00342-1)

- Bhatia, N. K., Kishor, S., Katyay, N., Gogoi, P., Narang, P., & Deep, S. (2016). Effect of pH and temperature on conformational equilibria and aggregation behaviour of curcumin in aqueous binary mixtures of ethanol. *RSC Advances*, 6(105), 103275-103288. doi: <https://doi.org/10.1039/c6ra24256a>
- Codex Alimentarius. (2011). *Leche y productos lácteos*. Organización Mundial de la Salud (OMS)-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/a-i2085s.pdf>
- Codex Alimentarius. (1995). *Norma general para los aditivos alimentarios. CODEX STAN 192-1995*. Organización Mundial de la Salud (OMS)-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf
- Codex Alimentarius. (2005). *Norma general del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas. CODEX STAN 247-2005*. Organización Mundial de la Salud (OMS)-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/6220/mir/15632/archivo/547479>
- Díaz de Armas, M., Hernández, I., Martínez, M., Licea, M. V., Gómez, L., Louro G., Morera, Y., & González, E. (1998). Validación de técnicas analíticas utilizadas en el control de la calidad. *Revista Cubana de Farmacia*, 32(2), 106-112. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75151998000200005&script=sci_arttext&tlng=pt
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (21 de junio de 2010a). Norma Oficial Mexicana NMX-F-102-NORMEX-2010. *Alimentos-determinación de acidez titulable en alimentos-método de ensayo (prueba)*. Secretaría de Economía. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5150634&fecha=05/07/2010
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (27 de septiembre de 2010b). Norma Oficial Mexicana NOM-181-SCFI-2010. *Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba*. Secretaría de Economía. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4209/seeco/seeco.htm>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (13 de febrero de 2009). Norma Oficial Mexicana NMX-FF-028-SCFI-2008. *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Fruta fresca - Piña (Ananas comosus var. comosus)*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C107_NMX-FF-028-SCFI-2008_R0_27FEB2009.pdf
- García-Orozco, V. M., Barrera-Díaz, C. E., Roa-Morales, G., & Linares-Hernández, I. (2016). A comparative electrochemical-ozone treatment for removal of phenolphthalein. *Journal of Chemistry*, 2016, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/8105128>
- Gryniewicz, G., & Ślifirski, P. (2012). Curcumin and curcuminoids in quest for medicinal status. *Acta Biochimica Polonica*, 59(2), 201-212. http://www.actabp.pl/pdf/2_2012/201.pdf
- Merck. (2017). *Ficha de datos de seguridad*. MerckMillipore. <https://n9.cl/ga5n7>
- Morillas, P. P., Terra, A. I., Uribe, C., Mastromonaco, G., Prieto, J. L., & Torres, M. (2016). *Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos. Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados*. Eurachem. https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_ES.pdf
- Pávai, M., Orosz, E., & Paszternák, A. (2016). Smartphone-based extension of the curcumin/cellophane pH sensing method. *Food Analytical Methods*, 9, 1046-1052. doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0277-5>
- Pérez, S. J. D. (2018). *Validación de las técnicas analíticas de alcalinidad, cloruros y pH de la EAAAM-ESP* (Tesis de licenciatura). Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7212/1/6161827-2018-2-IQ.pdf>
- Priyadarsini, K. I. (2014). The chemistry of curcumin: From extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 19(12), 20091-20112. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
- Rickert, B., Chorus, I., & Schmoll, O. (eds.) (2016). *Protecting surface water for health. Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments*. World Health Organization (WHO). <https://n9.cl/holng>
- Servicio Ecuatoriano de normalización. (2017). Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 1101-2017. *Bebidas gaseosas o carbonatadas*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1101-4.pdf
- Shen, L., & Ji, H. (2007). Theoretical study on physicochemical properties of curcumin. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67(3-4), 619-623. doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2006.08.018>

- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentos de química analítica* (9ª ed.). Cengage Learning.
- Supharoek, S., Ponghong, K., Siriengkawut, W., & Grudpan, K. (2018). Employing natural reagents from turmeric and lime for acetic acid determination in vinegar sample. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 583-590. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.06.007>
- Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. En S. S. Nielsen, *Food analysis* (5a ed.) (pp. 389-406). Springer
- Venturini, F. P., de Souza, L. M., Garbuio, M., Inada, N. M., de Souza, J. P., Kurachi, C., de Oliveira, K. T., & Bagnato, V. S. (2020). Environmental safety and mode of action of a novel curcumin-based photolavicide. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29204–29217. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09210-4>
- Waszkowiak, K., & Gliszczyńska-Świgło, A. (2016). Binary ethanol–water solvents affect phenolic profile and antioxidant capacity of flaxseed extracts. *European Food Research and Technology*, 242(5), 777-786. doi: <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2585-9>
- Zapata, I. C., Sepúlveda-Valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, probióticas y antioxidantes de yogurt saborizado con mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw). *Información Tecnológica*, 26(2), 17-28. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>