Impregnación a Vacío de Matrices de Cidra con Pulpa de Lulo, Inulina y Calcio para Potenciar sus Características Funcionales

Clara M. Mejía-Doria^{1,3*}; Julieth Orozco-Parra¹; Isabel M. Hernando² y Sneyder Rodriguez-Barona³

(1) Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Programa de Química, Grupo de Investigación: Agroindustria de Frutas Tropicales, Univ. del Quindío, Carrera 15 Calle 12 Norte, Quindío-Colombia

(e-mail: cmmejia@uniquindio.edu.co; jorozcop@uqvirtual.edu.co)

(2) Dpto. de Tecnología de Alimentos, Grupo de Investigación: Microestructura y Química de Alimentos, Universitat Politècnica de València, Valencia-España (e-mail: mihernan@tal.upv.es)

(3) Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Dpto. de Ingeniería Química, Grupo de Investigación: Alimentos Frutales. Univ. Nacional de Colombia, Sede Manizales, Km 7 Vía al aeropuerto, Campus la Nubia, Caldas- Colombia. (e-mail: snrodriguezba@unal.edu.co)

*Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Ago. 6, 2018; Aceptado Oct. 18, 2018; Versión final Dic. 17, 2018, Publicado Jun. 2019

Resumen

El objetivo de esta investigación fue obtener *snacks* de cidra *Sechium edule* (Jacq.) Sw. liofilizados utilizando la técnica de impregnación a vacío para la incorporación de pulpa de lulo, inulina y calcio con el fin de potenciar sus características funcionales. La cidra se lavó, peló y trocó en cilindros. Se elaboraron cinco *snacks* a partir de los cilindros de cidra, impregnándolos a vacío con los siguientes componentes: pulpa de lulo (C1), pulpa de lulo-inulina (C2), pulpa de lulo-CaCl₂ (C3) y pulpa de lulo-CaCl₂-inulina (C4). Se tomaron como control, cilindros de cidra sin impregnar (C0). Se evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales usando el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante por el método de reducción de hierro férrico. Se registraron diferencias significativas en el contenido de compuestos fenólicos de los *snacks* impregnados con los diferentes compuestos, evidenciándose un mayor contenido en los *snacks* C1 y C2 y una mayor actividad antioxidante en el *snack* C4. Se observó que la matriz de cidra en cilindros permite la incorporación de compuestos bioactivos incrementando sus características funcionales. La adición de pulpa de lulo e inulina aumentaron la actividad antioxidante de los *snacks*.

Palabras clave: *snack de cidra; impregnación a vacío; compuestos bioactivos; compuestos fenólicos; capacidad antioxidante.*

Vacuum Impregnation of Cidra Matrices with Lulo Pulp, Inulin and Calcium to Enhance its Functional Characteristics

Abstract

The objective of this research was to obtain cidra snacks (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) lyophilized using the technique of vacuum impregnation for the incorporation of pulp of lulo, inulin and calcium in order to enhance their functional characteristics. The cidra was washed, peeled and cut into cylinders. Five snacks were made from the cidra cylinders, impregnated in vacuum with the following components: pulp of lulo (C1), pulp of naranjilla-inulina (C2), pulp of naranjilla-CaCl₂ (C3) and pulp of naranjilla-CaCl₂-inulin (C4); were taken as control, cylinders of citron without impregnated (C0). The content of total phenolic compounds was evaluated using the Folin-Ciocalteu colorimetric method and the antioxidant capacity by the ferric iron reduction method. Significant differences were registered in the content of phenolic compounds of the snacks impregnated with the different compounds, evidencing a higher content in the C1 y C2 snacks and a greater antioxidant activity in the C4 snack. It was observed that the cidra matrix in cylinders allows the incorporation of bioactive compounds increasing their functional characteristics. The addition of naranjilla pulp and inulin increased the antioxidant activity of the snack.

Keywords: *cidra snack; vacuum impregnation; bioactive compounds; phenolic compounds; antioxidant capacity.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha crecido el interés por el diseño y la formulación de alimentos con características funcionales, mediante la utilización de frutas y hortalizas, que contienen diversas clases de compuestos entre los que se encuentran antioxidantes como ácidos fenólicos, antocianinas, carotenoides, flavonoides, vitamina A, vitamina C y vitamina E, además de minerales; por ello la inclusión de una mayor proporción de estos productos alimenticios en la dieta podría favorecer la prevención de las enfermedades crónicas (Charles, 2012; Department of Health and Human Services and Department of Agriculture, 2015). Los antioxidantes naturales son importantes en el organismo por su capacidad para proteger, eliminar o retrasar el daño oxidativo de una molécula (Bvenura y Sivakumar, 2017). En este sentido, la técnica de impregnación a vacío (IV) se emplea como mecanismo para la incorporación de componentes fisiológicamente activos (vitaminas, minerales, prebióticos, antioxidantes, etc) de forma rápida y controlada, sin destruir la matriz inicial del producto mejorando las características sensoriales y nutricionales de los alimentos (Moreno et al., 2017).

La impregnación a vacío va a estar influenciada por diversos aspectos, entre ellos, la porosidad, las propiedades mecánicas, el tamaño y la forma del alimento, la viscosidad de la solución de impregnación o la solución externa, las propiedades físicas y químicas de los compuestos fisiológicamente activos, las presiones y los tiempos de vacío. Esta técnica constituye una alternativa de aplicación para la industria alimentaria en la producción de nuevos alimentos funcionales por sus ventajas, tales como: cinéticas de transferencia de masa rápidas, mayor ganancia de solutos en tiempos cortos, conservación del color y mejora del mismo en algunos productos, conservación del sabor y aroma del producto fresco, al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes de tiempo de proceso (Radziejewska-Kubzdela et al., 2014). La liofilización es un método de deshidratación de alimentos en el cual mediante la sublimación se logra eliminar gran parte del agua del alimento y se reducen las pérdidas de los componentes termosensibles; el resultado es un producto seco con todas las características organolépticas de su estado original, como el aroma, el sabor y el color (Maisnam et al., 2016). Este proceso favorece la conservación de las cualidades físico-químicas, sensoriales y nutricionales de los alimentos.

La cidra es una hortaliza, originaria de Mesoamérica, se cultiva de manera rústica en muchas regiones del mundo, siendo uno de los vegetales más accesibles para los grupos de bajos ingresos. Su fruto es rico en fibra dietaria (Duque-Cifuentes et al., 2017), proteínas, vitaminas principalmente el ácido ascórbico y minerales como fósforo, potasio y calcio. Es de fácil cultivo, presenta producción continua durante el año, posee un amplio rango de adaptación climática, es resistente a enfermedades y es reconocida por el campesinado en toda América. En Colombia, el aprovechamiento de este vegetal es insuficiente en gran parte por el desconocimiento de su potencial agrícola, comercial, industrial, nutricional y medicinal, siendo utilizada como alimento para animales. Asimismo, son insuficientes las investigaciones sobre las propiedades estructurales de esta matriz, relacionados con la capacidad para retener solutos y de su transformación para mejorar sus propiedades físico-químicas, organolépticas y nutricionales, posibilitando su uso para el diseño de nuevos productos.

El lulo (*Solanum quitoense* var. Castilla) es una fruta nativa de los Andes, cultivada y consumida principalmente en Ecuador, Colombia y América Central. Esta fruta es una fuente importante de vitaminas (E, C, B1, B2, B3, B6 y pro-vitamina A), carbohidratos, proteínas, compuestos fenólicos, carotenos y minerales (hierro, calcio, fósforo, potasio y nitrógeno). Es una baya de color amarillo dorado, de 2 - 6 cm de diámetro, con cubierta pilosa urticante y pulpa jugosa de color verde. Normalmente es utilizada en jugos, néctares, helados, dulces, mermeladas, jaleas, aderezos, sorbetes y salsas (González et al., 2014). En los últimos años se ha convertido en una fruta promisorio por el creciente interés de su consumo en los mercados nacionales e internacionales. En Colombia su cultivo (2014), ocupó un área 8.372 hectáreas, y de estas 3.889 hectáreas en etapa productiva con una producción de 34.635 toneladas de fruta (DANE, 2014). El lulo posee gran aceptación por su agradable sabor, componentes aromáticos y un alto contenido de nutrientes. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue obtener *snacks* de cidra liofilizados utilizando la técnica de impregnación a vacío para la incorporación de compuestos bioactivos con el fin de potenciar sus propiedades funcionales.

METODOLOGÍA

La evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante se realizó a cilindros de cidra (*snacks*) impregnados a vacío y liofilizados (C1-C2-C3-C4). Se compararon los *snacks* con cilindros de cidra sin impregnar y liofilizados (C0); además se caracterizaron físicoquímicamente la cidra fresca (Cfresca) y la pulpa de lulo (L) para determinar su composición y poder evidenciar la incorporación de los compuestos presentes en la pulpa de lulo en la matriz de cidra durante el proceso de impregnación. Cada análisis se realizó por triplicado.

Selección del material vegetal

Los frutos de cidra ecotipo verde lisa *Sechium edule* (Jacq.) Swartz se recolectaron en el Jardín Botánico ubicado en la Universidad del Quindío de la ciudad de Armenia, con características similares de tamaño, textura y sin daños aparentes, en estado de maduración dos (CODEX STAN 216, 1999), seguidamente se lavaron, desinfectaron, pelaron y trocearon en cilindros de 10 mm por 22 mm empleando un molde de acero inoxidable. Los frutos de lulo *Solanum quitoense* var. Castilla se adquirieron en un mercado local de la ciudad de Armenia, se seleccionaron aquellos frutos en estado de madurez cuatro (Mejía-Doria et al., 2012), que no presentaran hongos, daños mecánicos y demás defectos visibles macroscópicamente. Se lavaron, desinfectaron y licuaron adicionando ácido ascórbico al 1% y antiespumante, para evitar el pardeamiento y la producción de espuma, respectivamente. Finalmente fueron filtrados para obtener la pulpa.

Caracterización de las pulpas de cidra *Sechium edule* (Jacq.) Swartz y lulo *Solanum quitoense* var. Castilla

La caracterización físico-química se realizó a las pulpas de cidra y lulo obtenidas a partir de 5 frutos troceados y macerados. Se evaluaron los siguientes parámetros, contenido de humedad mediante deshidratación en horno de recirculación de aire caliente a 60°C hasta peso constante, siguiendo el método AOAC 934.06; actividad de agua (a_w) en un higrómetro de punto de rocío marca AQUALAB modelo AQUA3TE con 0,001 de sensibilidad y un rango de temperatura de 20 a 25°C, según la norma AOAC 978.18; pH por el método potenciométrico medido directamente en las pulpas maceradas y filtradas, según la norma NMX-F-317 (2013); porcentaje de acidez titulable (%AT) por titulación con NaOH 0,1 M, determinado como ácido málico y cítrico, respectivamente (ácido orgánico predominante en cada material vegetal), teniendo en cuenta la norma NTC 4623 (2004); °Brix por método refractométrico en un refractómetro digital, calibrado con agua destilada, teniendo en cuenta la norma AOAC 932.12; contenido de minerales mediante digestión ácida y posterior lectura en un equipo de absorción atómica marca Thermo Electron Corporation S4AA Spectrometer siguiendo el método AOAC 975.03 (2003).

Soluciones de impregnación

Para la impregnación a vacío de la matriz de cidra se consideraron cuatro formulaciones (C1-C2-C3-C4), empleando pulpa de lulo, inulina grado alimenticio (821AA adquirida en la casa comercial) como prebiótico y cloruro de calcio granulado grado alimenticio (adquirido de la casa comercial). Finalmente, las soluciones de impregnación fueron formuladas según: pulpa de lulo (C1), pulpa de lulo - inulina (C2), pulpa de lulo- CaCl_2 (C3) y pulpa de lulo - CaCl_2 - inulina (C4). Se utilizó un *snack* sin impregnar como control (C0).

Obtención de los snacks de cidra *Sechium edule* (Jacq.) Sw.

Para la impregnación a vacío (IV), de los cilindros de cidra fresca, se utilizó un equipo que consta de una cámara de acero inoxidable acondicionada a un vacuómetro y un sistema de llaves que permite la variación interna de la presión. Para iniciar la IV, los cilindros fueron sumergidos en cada formulación (C1-C2-C3-C4), seguidamente se cerraron las llaves para mantener el sistema a la presión de trabajo (50 mbar) durante 5 min. Posteriormente, se rompió el vacío y se mantuvo el sistema a presión atmosférica durante 5 minutos; este mismo procedimiento se repitió 3 veces consecutivas hasta completar 15 minutos de vacío y 15 minutos de presión atmosférica. Los *snacks* impregnados fueron liofilizados en un liofilizador Virtis 6K. Las muestras IV se ultracongelaron en un ultracongelador Thermo Scientific durante 16 h ± 2 a una temperatura de -81 °C ± 2 , seguidamente se sometieron a secado por sublimación durante 48 h aproximadamente con un vacío de 90 miliTorr ± 3 .

Determinación del contenido de compuestos fenólicos y de la actividad antioxidante

Para la obtención del extracto se utilizó 0,5 g de cada cilindro de cidra tratada y 2,5 mL de etanol al 96%. Se mezcló con un homogeneizador tipo ultraturrax durante 1 minuto, seguidamente se centrifugó cada extracto a 14500 rpm a 4 °C durante 20 minutos, se decantó y se guardó el sobrenadante, este procedimiento se realizó dos veces, posteriormente se unieron los sobrenadantes y se aforaron con etanol al 96% hasta 100 mL. Este mismo procedimiento se realizó para la cidra sin impregnar y liofilizada, la cidra fresca y la pulpa de lulo.

El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó por el método colorimétrico Folin Ciocalteu, el cual genera un complejo de color azul intenso al ser reducido por los grupos fenólicos presentes en las muestras, la absorbancia se leyó a 765 nm (Sanchez-Rangel et al., 2013). Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico (AG)/100g de muestra. La actividad antioxidante fue evaluada por la capacidad de reducción del hierro férrico (ensayo FRAP) (Thaipong et al., 2006). Se leyó la absorbancia a 595 nm; los resultados se expresaron como μmol equivalentes de Trolox/g de muestra.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza simple (ANOVA) usando el método Tukey como método de comparaciones múltiples, con un nivel de significancia (α) de 0,05, en el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (Versión 15.2.06).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lulo fue seleccionado para este trabajo por ser considerado una fruta agroindustrial promisoría, por su alto valor funcional y atractivas características organolépticas. Adicionalmente, los compuestos fenólicos presentes tienen actividad antioxidante potencial y propiedades bioquímicas importantes que podrían ser incorporadas en la matriz vegetal de cidra mediante la técnica de impregnación a vacío.

Caracterización de los materiales frescos (cidra y lulo)

En la Tabla 1 se observan los parámetros fisicoquímicos de la cidra fresca y la pulpa de lulo, que serán la base para definir los cambios detectados en la matriz de cidra, luego de la impregnación con lulo.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de los frutos de cidra y la pulpa de lulo. *ND* (no detectable); *DS* (desviación estándar)

Parámetro		Cidra (Valor $\pm$ DS)	Lulo (Valor $\pm$ DS)
Humedad (%)		93,27% $\pm$ 0,43	84,35% $\pm$ 2,23
Actividad de agua (a_w)		0,98 $\pm$ 0,00	0,98 $\pm$ 0,00
Cenizas (%)		4,48% $\pm$ 0,19	8,26 $\pm$ 1,87
°Brix		5,03 $\pm$ 0,06	8,00 $\pm$ 0,00
Potencial de hidrógeno (pH)		6,39 $\pm$ 0,02	3,36 $\pm$ 0,03
Acidez titulable (%)		0,17% $\pm$ 0,00	2,69% $\pm$ 0,00
Fenoles mg AG/100 g muestra		6,94 $\pm$ 1,34	55,011 $\pm$ 1,01
Minerales (mg/100g) en base seca para cidra y mg/100g para el lulo	Ca	336,17 $\pm$ 0,04	65,213 $\pm$ 2,71
	Cu	0,48 $\pm$ 0,01	0,343 $\pm$ 0,04
	Fe	1,67 $\pm$ 0,29	1,48 $\pm$ 0,41
	K	1094,52 $\pm$ 0,00	437,81 $\pm$ 0,38
	Mg	7,25 $\pm$ 0,01	90,54 $\pm$ 0,07
	Na	141,00 $\pm$ 0,08	64,73 $\pm$ 0,00
	Ni	<i>ND</i>	<i>ND</i>

La cidra es una hortaliza con un alto contenido de agua, los valores calculados de humedad (93,27% $\pm$ 0,43) son comparables con los reportados por Castro-Rodríguez et al. (2015) en frutos de cidra cultivadas en las Islas Canarias (España), los cuales estuvieron entre 92,3 % $\pm$ 0,9 – 94,9 % $\pm$ 0,5. En cuanto a la actividad de agua (a_w) se obtuvo un valor de 0,98 $\pm$ 0,00 semejante al reportado por Cadena et al. (2006) en el estudio de la calidad de los frutos de cidra, durante la post-cosecha y por Gutiérrez et al. (2016), en el estudio de la impregnación de trozos de cidra con soluciones de mora, reportando valores de 0,98 $\pm$ 0,11. Con valores tan altos de humedad y de actividad de agua es predecible el alto riesgo en la post-cosecha de los frutos debido al ataque de microorganismos.

En la estabilidad de los productos elaborados a partir de pulpa de frutas, el pH determinado por la concentración de iones hidrógeno, es importante en el control del desarrollo de microorganismos, en la actividad de sistemas enzimáticos y en la firmeza, el color y el sabor. Por otro lado los ácidos influyen en el sabor de los alimentos (aspereza), el color, la estabilidad microbiana y en la conservación. Los valores de pH obtenidos fueron de 6,39 $\pm$ 0,02 y el porcentaje de acidez titulable fue de 0,17 $\pm$ 0,00, concordante al bajo contenido de ácidos orgánicos (ácido málico) presentes en la cidra; valores inferiores fueron reportados por Cadena et al. (2006) en cidra de 0,039–0,041%, esto puede deberse a las diferencias de las condiciones agroecológicas del cultivo y al estado de maduración de los frutos empleado para los análisis.

El valor de °Brix obtenido fue de $5,03\pm 0,06$, menor al encontrado por Jaramillo et al. (2011) en la obtención de etanol a partir de sólidos solubles de la cidra donde se reportó un valor de $5,58\pm 0,15$, las diferencias podrían radicar en las posibles variaciones del cultivo y a la época del año en que se realizó la recolección, lo cual influye en la concentración de sólidos solubles. La baja cantidad de sólidos solubles presentes en la cidra podría ser responsable del poco sabor y bajo nivel de dulzura perceptible, factor de interés en su uso como matriz en la IV ya que permite ser vehículo de componentes activos y facilita la incorporación de sabores generando en ella cualidades organolépticas deseadas para los consumidores. De igual manera, los valores de pH de $3,36\pm 0,03$ y el porcentaje de humedad de $84,35\pm 2,23$ obtenidos en este estudio para el lulo, coinciden con los reportados por Duque (2013) siendo de $2,09\pm 0,00$ y $85,70\pm 1,44$, respectivamente. Considerando la importancia del pH ácido en la absorción de calcio en el organismo (Bandali et al., 2018), la incorporación de lulo en los *snacks* de cidra, podría contribuir con la biodisponibilidad del calcio presente. Respecto a los sólidos solubles de $8,00\pm 0,00$ resultaron ser inferiores a los reportados por Duque (2013) de $8,90\pm 0,06$, debido al estado de maduración de los frutos seleccionados.

La actividad de agua (a_w) se reportó con un valor de $0,98\pm 0,00$, valores semejantes fueron publicados por Duque (2013) en estudios realizados para la obtención de jugo de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) estabilizado con carboximetilcelulosa (CMC). Esta alta actividad de agua favorece el deterioro, lo que justifica en la industria alimentaria la búsqueda de alternativas para estabilizar y prolongar la vida útil de los productos. El contenido de ácido cítrico, analizado como porcentaje de acidez titulable, fue de $2,69\pm 0,00$ datos inferiores a los reportados por Duque (2013) de $3,58\pm 0,00$, estas diferencias podrían estar soportadas por las cualidades del suelo y las variaciones climáticas. Este ácido es de gran importancia ya que ejerce un efecto inhibitor sobre la polifenoloxidasas, por acidulación, disminuyendo el pH y por tanto la actividad oxidante de la misma (Amiour y Hambaba, 2016). Para los minerales evaluados en la cidra, se observan concentraciones menores a las evaluadas por Modgil (2004). Al comparar con otros frutos como limón, mango y guayaba (Hilda et al., 2018), se encontró que la cidra presenta mayor contenido de potasio y calcio, minerales importantes para la regulación y el mantenimiento de la salud. En cuanto a los minerales presentes en el lulo se observa un gran contenido de sodio, potasio, magnesio, hierro y calcio, ya que estos minerales son de gran importancia para el desarrollo de la planta y sus frutos según lo indica Molina (2002). Los resultados obtenidos para el calcio, potasio, magnesio y sodio resultaron ser mayores que los reportados por Leterme et al. (2006). Las variaciones en el contenido de minerales pueden atribuirse a diferencias en las condiciones del cultivo, así como a la fertilidad del suelo, el pH, la fuente de agua, las variaciones climáticas.

El contenido de compuestos fenólicos solubles totales se determinó usando la curva estándar $y = 96,122x - 1,0365$, $R^2 = 0,9975$; se detectó un mayor contenido en la pulpa de lulo $55,01\pm 1,01$ que en la pulpa de cidra $6,94\pm 1,34$. La cuantificación de estos compuestos es de gran importancia debido a que hacen parte de los metabolitos secundarios que generan beneficios biológicos para el ser humano en la prevención de enfermedades cardiovasculares y degenerativas (Tsao, 2010). Se observa que el contenido de estos compuestos fue mayor al reportado por Fidrianny y Hartati (2016) en frutos de cidra donde se evaluaron diferentes solventes para su extracción y tres sitios de recolección (Indonesia); mientras que para la pulpa de lulo Moreno et al. (2014) encontró concentraciones más altas a las detectadas. Este aspecto favorece el propósito de impregnar matrices de cidra con zumo de lulo, buscando incorporar los compuestos fenólicos presentes, lo que otorgaría cualidades potencialmente antioxidantes al *snack* obtenido de cidra.

Se determinaron diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos de la cidra (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz) y del lulo (*Solanum quitoense* var. Castilla) en estado fresco. Se obtuvo que para los parámetros de °Brix, porcentaje de acidez titulable, pH y porcentaje de humedad existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellos. Mientras que para el parámetro de actividad de agua (a_w) y los minerales hierro y sodio no existe una diferencia estadísticamente significativa. Estas diferencias demuestran que la pulpa de lulo posee compuestos bioactivos (minerales y antioxidantes) que pueden ser incorporados en la matriz de la cidra a través de la IV y que podrían estar generando un potencial alimento funcional en el *snack* de cidra obtenido.

Caracterización de las muestras de snacks impregnados

En la Figura 1 se presentan los resultados del análisis del contenido de compuestos fenólicos solubles totales y la actividad antioxidante de los cinco *snacks* evaluados, realizados a partir de las muestras de cilindros de cidra impregnadas con lulo y liofilizadas, comparados con la cidra fresca (Cfresca) y la pulpa de lulo (L).

En la Figura 1A se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre los *snacks* a los que se les adicionaron los compuestos bioactivos (pulpa de lulo, inulina y CaCl_2) frente a los *snacks* de cidra fresca y sin impregnar-liofilizada (Cfresca y C0) a excepción del *snack* C3. Se puede observar que los frutos de cidra poseen un bajo contenido de compuestos fenólicos, pero su matriz porosa permite la incorporación de estos compuestos a partir de la pulpa de lulo a través de la aplicación de la técnica de impregnación a vacío. Algunos

autores ratifican esta observación y consideran que la IV hace viable la incorporación en matrices vegetales de compuestos activos como minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes, entre otros, los cuales podrían potenciar las propiedades funcionales y sensoriales de matrices vegetales como la de la cidra (Radziejewska et al., 2014; Moreno et al., 2017).

Estos resultados son concordantes con la actividad antioxidante que se muestra en la Figura 1B. El mayor contenido de compuestos fenólicos se observó en los *snacks* C1 y C2 (Figura 1A) y la mayor actividad antioxidante la presentó el *snack* C4 (Figura 1B) a diferencia de las muestras C3 impregnadas con lulo y CaCl_2 donde se observa reducción de los compuestos fenólicos y de la capacidad antioxidante. Esta observación indicaría que el CaCl_2 influye en la disminución de la concentración de los compuestos fenólicos, debido posiblemente a las propiedades quelantes que presentan estos compuestos con metales como el calcio.

Fig. 1: A. Contenido de compuestos fenólicos totales y B. Actividad antioxidante total en *snacks* de cidra (Cfresca-cidra fresca; C0-cidra liofilizada; C1-Cidra IV lulo y liofilizada; C2-Cidra IV lulo+inulina y liofilizada; C3-Cidra IV lulo+ CaCl_2 y liofilizada; C4-Cidra IV lulo+ CaCl_2 +inulina y liofilizada, L-pulpa de lulo).

Lo anterior ha sido demostrado por Marín et al. (2009) en el análisis de pimientos verdes y rojos, encontrando que una baja concentración de calcio durante la fertilización incrementa el contenido de compuestos bioactivos; mientras que Ngadze et al. (2014) encontraron que el calcio contribuye al incremento de ácido cafeico y clorogénico en papa. Por otro lado los *snacks* C4 (impregnadas con lulo+ CaCl_2 +inulina) incrementan significativamente su contenido en polifenoles y su actividad antioxidante, dando a entender un posible efecto sinérgico de la inulina con respecto al CaCl_2 . Esto se puede relacionar con las posibles interacciones entre las pectinas de los frutos, la inulina y los iones Ca^{2+} ; tanto la inulina como la pectina poseen grupos hidroxilos que podrían quelar los iones calcio, y de esta manera inducir a un sistema gelificado en el interior de la estructura.

Se evidencia en los ensayos que la inulina puede favorecer la actividad antioxidante (C2 y C4), mientras que el cloruro de calcio la disminuye (C3). Esto puede deberse a la estructura química de cada compuesto, pues el oligosacárido inulina considerado fibra prebiótica, evita la acción negativa del calcio en la actividad y la disponibilidad de los compuestos fenólicos; posiblemente por la formación de enlaces o interacciones entre los grupos hidroxilos libres de la inulina y el calcio. Estudios realizados por diferentes autores han encontrado (Lavanda et al., 2011; Whisner et al., 2018) que la inulina tiene un efecto en el incremento de la absorción del calcio, pero no se encontraron estudios de la influencia de ambos en el contenido de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.

La inulina es considerada un ingrediente funcional ya que genera un efecto positivo sobre la salud y reduce el riesgo de padecer enfermedades. La fortificación con calcio de vegetales y frutas es una estrategia para añadir valor a estos e incrementar su concentración y biodisponibilidad (Mateus de Lima et al., 2016), debido a su importancia en la salud humana. Los *snacks* formulados son una alternativa para el consumo de calcio y de prebióticos de otras fuentes diferentes a las existentes en los mercados, haciendo posible el uso de vegetales autóctonos y de fácil cultivo como matrices para la formulación de productos con alto potencial funcional y con una actividad de agua promedio menor a 0,40, lo que aumenta su vida útil y reduce su deterioro.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los resultados de esta investigación, se pueden indicar las siguientes conclusiones de los *snacks* de cidra impregnados y liofilizados: 1) se determinó que la matriz porosa de la cidra en geometría de cilindros permite la incorporación de compuestos bioactivos presentes en la pulpa de lulo, minerales como el calcio y prebiótico como la inulina; 2) se evidenció que la inulina favorece la actividad antioxidante y evita la inhibición de esta actividad producida por el calcio; 3) se confirmó que el proceso de impregnación a vacío y la liofilización mejoran las características nutricionales de la matriz vegetal cidra.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Universidad del Quindío y el de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales a través de su Convocatoria Nacional de Proyectos para El Fortalecimiento de la Investigación, Creación e Innovación a través del proyecto con código 35858. También se agradece el apoyo logístico para desarrollo de este trabajo de investigación a la Universitat Politècnica de València a través del Grupo de investigación MIQUALI.

REFERENCIAS

- Amiour, S.D. y L. Hambaba, Effect of pH, Temperature and Some Chemicals on Polyphenoloxidase and Peroxidase Activities in Harvested Deglet Nour and Ghars Dates, doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.027, Postharvest Biol. Technol., 111, 77–82 (2016)
- AOAC: Official Methods of Analysis (17th Ed.). Gaithersburg, MD, EU, (2003)
- Bandali, E., Y. Wang, Y. Lan, M.A. Rogers y S.A. Shapses, The Influence of Dietary Fat and Intestinal pH on Calcium Bioaccessibility: an In Vitro Study, doi: 10.1039/c7fo01631j, Food Funct., 9 (3), 1809-1815 (2018)
- Bvenura, C. y D. Sivakumar, The Role of Wild Fruits and Vegetables in Delivering a Balanced and Healthy Diet, doi: doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.046, Food Res. Int., 99(1), 15-30 (2017)
- Cadena, J., L. Arévalo, J.F. Aguirre y otros cuatro autores, Quality Evaluation and Influence of 1-MCP on *Sechium edule* Fruit During Postharvest, doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.013, Postharvest Biol. Technol., 40(2), 170-176 (2006)
- Castro-Rodríguez, J.M., A.M. Toledo-Díaz, B. Rodríguez-Galdón y otros tres autores, Caracterización Morfológica y Composición Química de Chayotas (*Sechium edule*) Cultivadas en las Islas Canarias (España), ISSN: 0004-0622, Arch. Latinoam. Nutr., 65(4), 243-253 (2015)
- Charles, D.J., Sources of Natural Antioxidants and their Activities, in Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources, pp. 65-138, Springer, New York, NY (2012)
- CODEX STAN 216: Codex Alimentarius (FAO / OMS), Norma del Codex para el Chayote, 1-4 (1999)
- DANE, Min. Agricultura, El Cultivo del Lulo (*Solanum quitoense*), una Fruta Agradable y de Gran Valor Nutritivo, Boletín Mensual (SIPSA), 23, 1-64 (2014)
- Department of Health and Human Services and Department of Agriculture, 2015–2020 Dietary Guidelines for Americans, 8th Ed., US (2015)
- Duque, A.L., Obtención de Jugo de Lulo *Solanum quitoense* Lam. y Maracuyá *Passiflora edulis* L. Estabilizado con hidrocoloides, Informe Proyecto de Investigación-Semillero, Universidad del Quindío, Programa de Química, Armenia, Colombia (2013)

- Duque-Cifuentes, A.L., C. Mejía-Doria y L. García-Alzate, Obtención y Caracterización de la Fibra Dietaria de la Cidra *Sechium edule* (Jacq.) Sw.; en *La Cidra Sechium edule* (Jacq.) Sw. Una Matriz Modificable en la Poscosecha, 1a Ed., 53-60, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia (2017)
- Estrada, H.H., C. Restrepo, H. Saumett y L. Pérez, Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales, *dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300197*, *Inf. Tecnol.*, 29(3), 197-204 (2018)
- Fidrianny, I. y K. Hartati, Evaluation of Antioxidant Activities of Fruit Extracts of Chayote (*Sechium edule* [Jacq.] Swartz) Grown in Different Sites in Java – Indonesia, ISSN: 2455–3891, *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 9(4), 270-275 (2016)
- González, D., L. Ordóñez, P. Vanegas y D. Vásquez, Cambios en las Propiedades Fisicoquímicas de Frutos de Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Cosechados en Tres Grados de Madurez, *Acta Agron.*, 63(1), 1-9 (2014)
- Gutiérrez, G., A. Duque y C. Mejía-Doria, Impregnación de Trozos de Cidra *Sechium edule* con Soluciones de Mora *Rubus glaucus*, doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58393, *Agron. Colomb.*, 34 (1Supl.), S598-S601 (2016)
- Jaramillo, J., P. Pianda, L. Padilla, C. Mejía-Doria, Obtención de Etanol a partir de Sólidos Solubles de *Sechium edule*, empleando *Saccharomyces cerevisiae* para la Fermentación, ISSN: 2500-5782, *Revista de investigaciones Universidad del Quindío*, 1(22), 136-140 (2011)
- Lavanda I., S. Isay-Saad, A. Rodrigues-Lobo y C. Colli, Prebióticos y su Efecto en la Biodisponibilidad del Calcio, doi: 10.1590/S1415-52732011000200014, *Rev. Nutr.*, Campinas, 24(2), 333-344 (2011)
- Leterme, P., A. Buldgen, F. Estrada y A.M. Londoño, Mineral Content of Tropical Fruits and Unconventional Foods of the Andes and the Rain Forest of Colombia, doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.003, *Food Chem.*, 95(4), 644-652 (2006)
- Maisnam, D., R. Prasad y otros tres autores, Recent Advances in Conventional Drying of Foods, doi: 10.1007/s13197-010-0010-8, *J Food Technol. Pres.*, 1(1), 25-34 (2016)
- Marín, A., J.S. Rubio, V. Martínez y M.I. Gil, Antioxidant Compounds in Green and Red Peppers as Affected by Irrigation Frequency, Salinity and Nutrient Solution Composition, doi.org/10.1002/jsfa.3594, *J. Sci. Food Agric.*, 89, 1352–1359 (2009)
- Mateus de Lima, M., G. Tribuzi, J.A. Ribeiro de Souza y otros tres autores, Vacuum Impregnation and Drying of Calcium-Fortified Pineapple Snacks, doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016, *LWT - Food Sci. Techn.*, 72, 501-509 (2016)
- Mejía-Doria, C.M., D. Gaviria, A.L. Duque y otros tres autores, Physicochemical Characterization of the Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla Variety in Six Ripening Stages, *Vitae*, ISSN: 2145-2660, 19(2), 157-165 (2012)
- Modgil, M., R. Mogdil y R. Kumar, Carbohydrate and Mineral Content of Chayote (*Sechium edule*) and Bottle Gourd (*Lagenaria siceraria*), doi: 10.1080/09709274.2004.11905683, *J. Hum. Ecol.*, 15(2), 157-159 (2004)
- Molina, E., Fertilización Foliar de Cultivos Frutícolas; en *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* por G. Meléndez y E. Molina, 82-100, San José, Costa Rica (2002)
- Moreno, E., B.L. Ortiz y L.P. Restrepo, Contenido Total de Fenoles y Actividad Antioxidante de Pulpa de Seis Frutas Tropicales, doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615, *Rev. Colomb. Quim.*, 43(3), 41-48 (2014)
- Moreno, J., J. Echeverría, A. Silva, A. Escudero y otros tres autores, Apple Snack Enriched with L-Arginine using Vacuum Impregnation / Ohmic Heating Technology, doi: 10.1177/1082013217701354, *Food Sci. Technol. Int.*, 0(0), 1–9 (2017)
- Ngadze, E., T. Coutinho, D. Icishahayo y J. van der Waals, Effect of Calcium Soil Amendments on Phenolic Compounds and Soft Rot Resistance in Potato Tubers, *Crop. Prot.*, 62, 40–45 (2014)
- NMX-F-317-NORMEX: Normas Mexicanas (México), Determinación de pH en Alimentos y Bebidas No Alcohólicas – Método Potenciométrico, 1-3, México (2013)
- NTC 4623: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Determinación de la acidez titulable, 1-6, Bogotá, Colombia (2004)
- Radziejewska, E., R. Biegańska y M. Kidoń, Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review, doi: 10.3390/ijms150916577, *Int. J. Mol. Sci.*, 15, 16577-16610 (2014)
- Sanchez-Rangel, J.C., J. Benavides y otros tres autores, The Folin–Ciocalteu Assay Revisited: Improvement of its Specificity for Total Phenolic Content Determination, doi: 10.1039/c3ay41125g, *Anal. Methods*, 5, 5990-5999 (2013)
- Thaipong, K., U. Boonprakob y otros tres autores, Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC Assays for Estimating Antioxidant Activity from Guava Fruit Extracts, doi: 10.12691/ajfst-4-3-3, *J. Food Compos. Anal.*, 19, 669–675 (2006)
- Tsao, R., Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols, doi: 10.3390/nu2121231, *Nutrients*, 2(12), 1231-1246 (2010)
- Whisner, C.M. y L. Castillo, Prebiotics, Bone and Mineral Metabolism, doi: doi.org/10.1007/s00223-017-0339-3, *Calcif. Tissue Int.*, 102, 443–479 (2018)