



Avances tecnológicos en el proceso de transformación de la uchuva: una revisión*

Manuela Gallón Bedoya^a ■ Soany Karola Eraso Grisales^b ■ Misael Cortés Rodríguez^c

Resumen: la uchuva es catalogada como fruta exótica y altamente apreciada en el mercado exterior por su sabor y color; además, por su alta actividad antioxidante y contenido fenólico, lo cual ha sido demostrado en diversas investigaciones. Su versatilidad de uso le otorga una mayor importancia, pues la industria alimentaria ha utilizado la uchuva en diferentes productos, tales como bebidas, postres, yogures y mermeladas. Dada la creciente popularidad de esta fruta, es importante tener una referencia integral de sus beneficios nutricionales y de su transformación. Esta revisión proporciona una visión general de los compuestos nutricionales y bioactivos presentes en la uchuva, al igual que de las investigaciones que se han llevado a cabo para su transformación y procesamiento. La revisión se realizó mediante la consulta de artículos científicos de investigaciones realizadas a nivel mundial, indexados en bases de datos como Elsevier, Spingerlink y Taylor & Francis durante los últimos veinte años. Se determinó que la uchuva es una fuente de diversos compuestos que a nivel nutricional y farmacéutico representan grandes beneficios para la salud; sin embargo, estos se pueden ver afectados por el tratamiento de conservación que se aplique. Se han realizado múltiples estudios que han permitido conservar los compuestos de interés biológico en la uchuva y aumentar su vida útil.

Palabras clave: *Physalis peruviana*; compuestos bioactivos; secado; vida útil; procesamiento

* Artículo de revisión

a Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos e Ingeniería Biológica, Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Correo electrónico: mgallonb@unal.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6192-3958>

b Ingeniera Agrindustrial, Universidad de Nariño. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Correo electrónico: skerasog@unal.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3571-5631>

c Doctor en Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia. Ingeniero Químico, Universidad del Atlántico. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Correo electrónico: mcortesro@unal.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3407-1635>

Recibido: 20/07/2020

Aceptado: 30/09/2020

Disponível em linha: 19/03/2021

Cómo citar: M. Gallón Bedoya, S. K. Eraso Grisales, y M. Cortés Rodríguez, «Avances tecnológicos en el proceso de transformación de la uchuva: una revisión», Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 16, n.º 1, mar. 2021.

Technological Advances in the Transformation Process of the Cape Goldenberry: a Review

Abstract: the cape gooseberry is classified as an exotic fruit and highly appreciated in the foreign market for its flavor and color, in addition, for its high antioxidant activity and phenolic content, which has been proven in various investigations. Its versatile use gives it greater importance, since the food industry has used cape gooseberry in different products, such as beverages, desserts, yogurts and jams. Given the growing popularity of this fruit, it is important to have a comprehensive reference of its nutritional benefits and its transformation. This review provides an overview of the nutritional and bioactive compounds present in cape gooseberry, as well as the research that has been carried out for its transformation and processing. The review was carried out by reviewing scientific articles published worldwide, indexed in databases such as Elsevier, Springerlink and Taylor & Francis during the last twenty years. It was determined that cape gooseberry is a source of various compounds that represent great health benefits at a nutritional and pharmaceutical level; however, these can be affected by the conservation treatment applied. Multiple studies have been carried out that have made it possible to conserve the cape gooseberry's biological compounds of interest and increase its useful life.

Keywords: *Physalis peruviana*; bioactive compounds; drying; useful life; prosecution

Avanços tecnológicos no processo de transformação do goldenberry: uma revisão

Resumo: o *goldenberry* (*Physalis peruviana*) é catalogado como fruta exótica e altamente apreciado no mercado exterior por seu sabor e cor, além de sua alta atividade antioxidante e conteúdo fenólico, o que tem sido demonstrado em diversas pesquisas. Sua versatilidade de uso lhe dá maior importância, pois a indústria alimentar vem utilizando o *goldenberry* em diferentes produtos, como bebidas, sobremesas, iogurtes e geleias. Tendo em vista a crescente popularidade da fruta, é relevante ter uma referência integral de seus benefícios nutricionais e de sua transformação. Nesse sentido, esta revisão proporciona uma visão geral dos componentes nutricionais e bioativos presentes no *goldenberry*, assim como das pesquisas realizadas para sua transformação e processamento. A revisão foi realizada mediante a consulta de artigos científicos de pesquisa no âmbito mundial, indexados em bases de dados como Elsevier, Springerlink e Taylor & Francis durante os últimos 20 anos. Foi determinado que o *goldenberry* é uma fonte de diversos compostos que, no contexto nutricional e farmacêutico, representam grandes benefícios para a saúde; contudo, eles podem ser afetados pelo tratamento de conservação aplicado. Vêm sendo realizados vários estudos que permitem conservar os compostos de interesse biológico da fruta e aumentar sua vida útil.

Palavras-chave: *Physalis peruviana*; compostos bioativos; secagem; vida útil; processamento

Introducción

Las frutas brindan importantes beneficios para la salud debido a sus altos contenidos de antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra, lo que ayuda a reducir la incidencia de enfermedades degenerativas tales como envejecimiento, arteriosclerosis, artritis, disfunción cerebral, cáncer, enfermedades cardíacas e inflamación [1]. Entre la gran diversidad de frutas y sus benéficos nutricionales se encuentra la uchuva.

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una fruta ampliamente conocida y consumida en el mundo. Es originaria de Perú, aunque actualmente se cultiva en toda la zona de los Andes y Sudáfrica. Hace doscientos años se introdujo en este último país como tratamiento para el escorbuto y de allí se expandió hacia el resto de África (Kenia, Zimbabue), Asia (India, Malasia y China) y Oceanía (Australia y Nueva Zelanda), de modo que resultaron ochenta diferentes ecotipos conocidos a nivel mundial [2]. En la actualidad, Colombia es el principal exportador de esta fruta y cuenta con varios ecotipos silvestres y tres comerciales: Kenia, Sudáfrica y Colombia; este último presenta una coloración más intensa y mayor contenido de azúcares, por lo que es el más demandado en los mercados internacionales [3].

La planta de la uchuva crece inicialmente como hierba y en el segundo año forma un arbusto perenne y semileñoso, con hojas acorazonadas simples, alternas y pubescentes con tamaños que van desde 5-10 cm de largo y 4-10 cm de ancho. El tallo de la planta forma entre 8-12 nudos, con dos ramificaciones discales; las plantas alcanzan entre 1-1,5 m de altura, pero si se podan y soportan pueden llegar a medir hasta 2 m de alto. Las flores de esta planta son hermafroditas, de color amarillo y con forma de campana, y son polinizadas con la ayuda de los insectos y el viento, aunque también presentan autopolinización [4].

Los frutos están envueltos en una especie de cubierta llamada cáliz o capacho formada por cinco sépalos de color verde en el inicio, pero amarillo opaco después de 40-45 días de haberse formado. La función de esta cubierta es brindar protección al

fruto contra agentes externos que puedan causarle daños, como, por ejemplo, condiciones climáticas severas, aves, insectos, plagas y microorganismos patógenos [5].

El fruto de la uchuva es una baya, climatérica, de forma esférica y diámetros que van desde los 1,25-2,50 cm y pesos entre los 4-10 g por fruto. En su interior contiene de 100 a 300 semillas de forma redonda y plana [6], mientras el exterior del fruto está cubierto por una piel delgada y brillante y alta en pectinas. Al ser un fruto carotenogénico, su color cambia del verde al amarillo naranja durante el proceso de maduración, lo cual se debe a la alta presencia de carotenos almacenados en los cromoplastos de la célula vegetal [7]-[9]. Durante el proceso de maduración ocurre una gran cantidad de cambios en la fruta, tales como variaciones en su sabor, color, aroma, firmeza y aumento en la cantidad de sólidos solubles y su capacidad antioxidante [5]. Se caracteriza por presentar elevados contenidos de vitaminas A y C, además de hierro y fósforo. A pesar de que la especie *Physalis peruviana* crece como planta silvestre en las zonas tropicales de América, ha sido introducida en África e India, de modo que existen hoy más de ochenta ecotipos a nivel mundial [5].

En general, la uchuva se considera una “Superfruta” debido a sus propiedades nutricionales, funcionales y medicinales [10]. Por ejemplo, es una base excelente para productos funcionales y dietéticos debido a su alto nivel de fructosa y su bajo valor energético [11], y de algunas vitaminas del complejo B (tiamina, niacina y vitamina B 12). Además, la fruta es rica en proteínas crudas, fósforo, potasio y hierro, aunque el contenido de calcio es bajo. Se destaca su alto contenido de antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados y fitoesteroles [5], [12].

El procesamiento es una alternativa de conservación para productos ricos en elementos nutritivos, como, por ejemplo, carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y fibras. De esta manera, el objetivo de esta revisión fue identificar la literatura reportada sobre los compuestos bioactivos de la uchuva y los procesos utilizados en la industria que permiten aumentar la vida útil de este alimento.

Metodología

La búsqueda se realizó para artículos, libros y capítulos de libro publicados en las bases de datos de Taylor & Francis, Wiley, Science Direct, Springer y Scielo. Se realizó una búsqueda del material de los últimos veinte años sobre los compuestos bioactivos de la uchuva y el procesamiento de la fruta para el aumento de su vida útil.

A continuación, se muestra la ecuación de búsqueda utilizada.

Topic= (cape gooseberry) OR (physalis peruviana) AND Year Published = (2000 - 2020) AND Publication Type = (journal article , book chapter , book) AND Publisher = (Elsevier Limited , Elsevier , Wiley-Blackwell , Elsevier BV , Universidad Nacional de Colombia , Springer New York , Taylor and Francis Ltd. , Wiley , Springer Netherlands , Springer Verlag , Elsevier Ireland Ltd , John Wiley and Sons Ltd , Springer International Publishing , Springer Science and Business Media LLC , Elsevier Inc. , Elsevier Masson , Springer Berlin Heidelberg , Springer Wien , Springer International Publishing AG , Sociedade Brasileira de Fruticultura , Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas , SciELO)

Se encontraron un total de 245 documentos, de los cuales se depuraron y se seleccionaron 47 que cumplieran con la temática específica del tema a revisar.

Compuestos bioactivos presentes en la uchuva y su efecto en la salud

Contenido nutricional general en la uchuva

La planta de uchuva tiene grandes propiedades nutricionales, tanto sus hojas como frutos han sido estudiados ampliamente con el fin de identificar los compuestos que presentan beneficios para la salud, como, por ejemplo, propiedades antiinflamatorias, hipoglicémicas, antihepatotóxicas, antioxidantes y purificadoras de la sangre, las cuales se le atribuyen a la alta concentración de polifenoles, carotenos, vitamina C, vitamina E y vitaminas del complejo

B [13], entre otros compuestos con actividad biológica, como β -carotenos, catequinas y epicatequinas [14], ácido cafeico, gálico, clorogénico, ferúlico y p-cumárico, flavonoides tales como quercetinas, rutina, myricetina y kaempferol, y alta actividad antioxidante [15].

El fruto de uchuva se ha utilizado como una buena fuente de provitamina A, minerales, vitamina C y complejo de vitamina B. La fruta contiene un 15 % de sólidos solubles (principalmente azúcares) y su alto nivel de fructosa la hace valiosa para los diabéticos. El nivel de fósforo es alto para una fruta. Su alto contenido de fibra dietética es importante, ya que la pectina de la fruta actúa como un regulador intestinal [11]. A su vez, Ramadan [11] expone que el contenido total de azúcar en el jugo es de 4,9 g/100 g y los compuestos con mayor presencia son sacarosa (35 g/100 g de azúcar) y fructosa (29 g/100 g de azúcar), lo que es comparable al contenido de azúcar en la mayoría de los jugos. Por otra parte, el nivel de ácido ascórbico en la uchuva (46 mg/100 g) es mayor que en la mayoría de las frutas, como, por ejemplo, en la pera (4 mg/100 g), la manzana (6 mg/100 g) y el durazno (7 mg/100 g), de modo que se compara con la naranja (50 mg/100 g) y la fresa (60 mg/100 g).

Compuestos con actividad antioxidante en uchuva

Los compuestos fenólicos en las frutas son de gran interés debido a sus propiedades farmacológicas importantes; algunas de las propiedades medicinales de la fruta de *P. peruviana* L. están asociadas con la capacidad antioxidante de los polifenoles presentes en la fruta [12]. En la uchuva, la quercetina es el principal compuesto fenólico, seguido de la miricetina y el kaempferol. El nivel de fenoles totales en el jugo de uchuva se estima en 6,30 mg/100 g de jugo como equivalentes de ácido cafeico [16].

La actividad antioxidante del jugo de uchuva se evaluó mediante la prueba de 1,1-difenil-2-picrylhidrazil (DPPH); el jugo fresco produce una disminución del 78 % frente a la absorbancia de los radicales DPPH de una solución de control y el jugo tratado con enzimas resultó en una disminución del 82 % [16].

Los compuestos fenólicos son responsables de la actividad antioxidante de los jugos y vinos. El ácido ascórbico desempeña un papel menor en la actividad antioxidante de los zumos frente a los compuestos fenólicos, ya que la metodología DPPH se ve afectada al reducir el ácido ascórbico; Puente *et al.* [12] y Ramadan [11] afirman que la presencia de una buena cantidad de fenoles en el jugo de uchuva podría contribuir a su alto nivel antioxidante.

Corazza *et al.* (2018) [17] realizaron un estudio de extracción de antioxidantes de la uchuva mediante la aplicación de presiones de 100 y 200 bar y reportaron la presencia de ácido gálico, ácido elálgico, ácido cafeico, quercetina y manguiferina, los cuales presentan actividad atrapadora de radicales libres y metales a nivel celular. Además de tener efecto en la reducción de diferentes enfermedades como asma, cáncer, malaria, hepatitis, dermatitis y reumatismo.

Ácidos grasos en la uchuva

Otros compuestos benéficos reportados en la uchuva son los ésteres de sucrosa, los cuales tienen efectos inhibitorios de la absorción de glucosa en el intestino inhibiendo la α -amilasa. Estos compuestos se denominan peruviosas y tienen un efecto importante en la reducción de los niveles de glucosa en la sangre [18].

También se ha encontrado en esta fruta una buena cantidad de ácidos grasos, la mayoría de ellos presentes en las semillas (1,8 %), y el resto (0,2 %) presentes en la pulpa y la cáscara; los principales ácidos grasos encontrados fueron linoleico, oleico, palmítico y esteárico, que representan el 95 % del total de ácidos grasos presentes en la uchuva [12].

Según Ramadan y Morsel [16], el fruto de *P. peruviana* L. contiene 2 % de aceite, de los cuales el 1,8 % se extrae de las semillas y el 0,2 % de la pulpa y la piel de la fruta. Los aceites extraídos de los frutos son quince ácidos grasos, entre los cuales se encuentran el ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico, que constituyen el 95 % del total de ácidos grasos. El ácido linoleico es el ácido graso dominante seguido del ácido oleico, en el que la proporción de ácido linoleico y oleico en la pulpa y la piel es de 2:1 y 5:1 semilla. Los lípidos en la dieta ricos en ácido linoleico previenen trastornos cardiovasculares como

la enfermedad coronaria, la aterosclerosis y la hipertensión. Los derivados del ácido linoleico sirven como componentes estructurales de la membrana plasmática, precursores y reguladores metabólicos de algunos componentes [12].

A su vez, Ramadan y Morsel [16] afirman que hay cantidades significativas de ácidos grasos saturados de cadena normal. El ácido palmítico (9 %) y el ácido esteárico (~2,5 %) son ácidos grasos saturados que se encuentran, principalmente, en aceites extraídos del fruto de *P. peruviana* L. [16].

El aceite extraído de la piel y la pulpa de la fruta podría contener triens como el ácido γ -linolénico (GAL), el ácido α -linolénico y el dihomogammalinolénico (DHGLA), de modo que es una buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). El ácido linolénico, al ser tan saludable como el ácido linoleico, se considera un ácido graso esencial (AGE), ya que son necesarios para una buena salud. La composición de ácidos grasos y las altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados que se encuentran en los aceites extraídos de *P. peruviana* L. hacen que esta fruta sea ideal para la nutrición [16].

Efectos en la salud

Hassan *et al.* [19] realizaron un estudio en ratas con el fin de evaluar el efecto protector de la uchuva sobre el hígado; en esta investigación de seis grupos de ratas se separaron dos grupos con cáncer de hígado, a los cuales se les administró 1 ml/kg de jugo de uchuva; este demostró tener un efecto hepatoprotector debido a sus propiedades antioxidantes y antimutágenicas.

A su vez, Diab *et al.* [20] estudiaron el efecto protector hepatorenal de la uchuva en ratas a las que se les había suministrado cadmio y sufrían de daño en riñones e hígado. Este efecto se dio gracias a la reducción en la peroxidación lipídica, el óxido nítrico y el aumento de la actividad enzimática y no enzimática de los glutationes antioxidantes en tejidos hepáticos y renales.

En las hojas y el fruto de la uchuva se han encontrado y aislado más de treinta compuestos withanólidos, los cuales son lactonas esteroideas de veintiocho carbonos a las que se les ha encontrado actividad antiinflamatoria, antitumoral, citotóxica, antihepatotóxica y antimicrobiana [21], [22].

Lan *et al.* [23] identificaron diecisiete withanolidos en *P. peruviana* L. Siete de estos fueron descubiertos recientemente: phyperunolid A, phyperunolid B, phyperunolid C, phyperunolid D, peruvianoxid, phyperunolid E y phyperunolid F, y diez corresponden a withanolidos previamente conocidos, los cuales presentan actividad citotóxica contra el cáncer de pulmón, el cáncer de mama y el cáncer de hígado.

Los fitoesteroles son de gran interés debido a su capacidad antioxidante y su impacto en la salud; el aceite extraído de la piel y de la pulpa de uchuva tiene altos niveles de esteroides vegetales [16].

Como lo exponen Puente *et al.* [12], al citar a Valenzuela y Ronco [24], estos establecen que tanto la literatura científica como médica describe a los fitoesteroides como proveedores de una amplia variedad de efectos fisiológicos. Sin embargo, el efecto mejor caracterizado y probado científicamente es el efecto hipocolesterolemico tanto del colesterol total como del colesterol LDL. El campesterol es el fitosterol más abundante en los aceites de uchuva, además contiene β -sitosterol y estigmasterol; la presencia de estos esteroides en la fruta podría ser responsable de la capacidad de reducir los niveles de colesterol [11], [12].

Un ensayo realizado por Reyes *et al.* (2015) [25] en veintiocho pacientes con hipercolesterolemia mostró un efecto significativo en la reducción del colesterol total del 9,93 % y del LDL del 14,79 %, al consumir jugo de uchuva durante ocho semanas.

Los aceites extraídos de los frutos de *P. peruviana* L. contienen altos niveles de vitamina K1, también llamada filoquinona. El acual es adicionado durante el procesamiento y la industrialización de algunos alimentos, y aporta así un efecto benéfico para la salud del consumidor [11].

De acuerdo con Puente *et al.* [12], los niveles de vitamina E en el aceite extraído de la pulpa y la piel del fruto de *P. peruviana* L. son altos en comparación con la cantidad presente en el aceite de semilla. El mismo autor estudió cuatro tocoferoles en aceites extraídos de frutos de *P. peruviana* L. Estos fueron: α , β , γ y δ . Los tocoferoles son antioxidantes naturales que puede eliminar las especies reactivas de oxígeno. Se encuentra dentro de la bicapa de fosfolípidos de las membranas celulares para

proteger contra la peroxidación lipídica. El β -tocopherol representa entre el 25 % y el 50 % de la actividad antioxidante del α -tocopherol y el γ -tocopherol entre el 10 y el 35 % [12].

Algunos autores han incrementado de forma efectiva el contenido de vitamina E en la uchuva utilizando la técnica de impregnación al vacío [26]. La eficacia de los tocoferoles (vitamina E) y los antioxidantes lipídicos se ha atribuido, principalmente, a su capacidad de prevenir el daño de la membrana en las células por radicales libres, al reducir los niveles de peróxidos lipídicos.

Procesamiento y tratamientos para aumentar la vida útil de productos a base de uchuva

Durante la poscosecha de la uchuva ocurre una gran cantidad de cambios en el fruto y, en varias ocasiones, estos llevan a la pérdida de materia prima en la industria; uno de los principales factores es la alta actividad de agua que tiene el fruto fresco, la cual facilita el crecimiento microbiano y las reacciones de deterioro en el alimento [27], [28]. Con el fin de aumentar la vida útil de la fruta se han planteado varios procesos que implican la reducción en la actividad de agua o el control de los cambios poscosecha.

Fruta fresca

Lanchero *et al.* [29] estudiaron el proceso de envasado de uchuva madura ecotipo Colombia en tres tratamientos de atmósferas modificadas con 5 % CO₂ y 5 % O₂, así como 5 % CO₂ y 10 % O₂ y una mezcla comercial Mapax-314[®]; las frutas se almacenaron a 7 °C. También se evaluó un tratamiento sin empaque, el cual presentó una mayor pérdida de peso y firmeza, dado que un buen empaque permite conservar mejor las características fisicoquímicas del producto fresco. A su vez, Reyes-Medina *et al.* [7] investigaron sobre el efecto de la aplicación de cloruro de calcio a la fruta entera, lo que resultó en una disminución de la pérdida de masa y la firmeza del fruto, durante 35 días de

almacenamiento a 21 °C. Para los consumidores son muy importantes las características sensoriales del fruto, especialmente su textura; por tanto, la aplicación de compuestos o la implementación de técnicas que permitan aumentar la vida útil en fresco y conservar la firmeza del fruto se vuelven interesantes para los productores, los comercializadores y los exportadores de uchuva.

Pretratamientos

El secado de la uchuva es un proceso lento debido a la baja permeabilidad a la humedad de la piel cerosa de la fruta; es así como se han realizado estudios de aplicación de pretratamientos que permitan mejorar los tiempos de secado y las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final. Algunos compuestos químicos alteran la estructura cerosa de la piel de la uchuva y permiten mejorar la transferencia de masa y calor, lo que disminuye los tiempos de secado y resulta beneficioso para las industrias procesadoras, así como evita degradaciones de pigmentos y compuestos de interés biológico y mejora la aceptación de los consumidores.

Vásquez *et al.* [30] evaluaron el efecto de los pretratamientos químicos (aceite de girasol/ K_2CO_3 o aceite de oliva/ K_2CO_3 a 28 °C y NaOH/aceite de oliva a 96 °C) y se evaluaron los pretratamientos físicos (escaldado) para descomponer la superficie cerosa y acelerar la difusión de la humedad durante el secado. El secado se realizó a 60 °C y 2 m/s de velocidad del aire durante 10 h. El contenido de humedad más bajo (0,27 kg de agua/kg producto seco), el contenido más alto de vitamina c (0,36 mg/g) y la mayor capacidad de rehidratación (1,89 %) se obtuvo en frutas pretratadas con aceite de oliva (9,48 %) y K_2CO_3 (4,74 %). Sin embargo, los mayores cambios en el color ($\Delta E^* = 15,05$) y el croma ($\Delta C^* = 9,03$) también se asociaron a frutas pretratadas con aceite de oliva y K_2CO_3 . La difusividad efectiva del agua durante el secado fue de $7,37 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ en muestras pretratadas en comparación con $6,61 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ para muestras no tratadas.

Los autores concluyeron que todos los pretratamientos de inmersión estudiados redujeron de forma significativa el contenido de humedad de uchuvas secas en relación con las frutas no tratadas. El pretratamiento con una solución de aceite

de oliva (9,48 %) y K_2CO_3 (4,74 %) fue la mejor opción teniendo en cuenta las variables de respuesta medidas.

Por su parte, Junqueira *et al.* [31] determinaron el efecto de los pretratamientos físicos (sin pretratamiento, congelación rápida con nitrógeno líquido y congelación lenta seguida de descongelación) y químicos (solución alcalina de oleato de etilo) sobre la cinética y los parámetros de calidad de la uchuva en el secado por convección a 60 °C y la velocidad de aire de 2 m/s. Las variables independientes evaluadas fueron: la influencia de los pretratamientos en la cinética de secado, deformación, capacidad de rehidratación, retención de ácido ascórbico, actividad de agua, perfil de textura y color. Se evaluaron cinco ecuaciones de capa delgada para determinar su capacidad de predecir la cinética de secado, de las cuales la ecuación empírica de Wang y Singh se ajustó mejor. Todos los pretratamientos redujeron el tiempo de secado al reducir la resistencia de la piel cerosa de la uchuva a la transferencia de masa. El pretratamiento químico promovió el menor tiempo de secado y la mayor retención de ácido ascórbico, capacidad de rehidratación, el mejor mantenimiento de la textura, así como la menor deformación y actividad de agua. Se observaron valores más bajos de dureza, adhesividad y goma con pretratamientos de congelación. Las frutas no tratadas presentaron la menor diferencia de color total.

Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica se ha aplicado como un tratamiento previo a los procesos de secado en frutas, el cual permite disminuir tiempos de secado y mejorar propiedades sensoriales del alimento. En el caso de la uchuva, se han realizado estudios sobre los efectos de la deshidratación osmótica sobre el contenido de humedad, carotenoides, sólidos solubles y color del fruto, con lo que se obtuvo resultados interesantes en cuanto a preservación de compuestos bioactivos y mejoras en los procesos de secado; es interesante destacar que en los estudios analizados se encontraron mejores resultados con soluciones osmóticas a 70 °Bx.

Luchese *et al.* [32] afirman que el rápido crecimiento de la demanda de producción de *Physalis*

peruviana L. está asociado a sus características nutraceuticas y medicinales; sin embargo, un aspecto que dificulta su comercialización es su baja vida útil. Por tanto, propusieron la deshidratación osmótica como proceso para prolongar su vida útil. Para tal fin evaluaron los efectos de la temperatura (40-70 °C) y la concentración de la solución de sacarosa osmótica (40-70 g/100 g solución). El contenido de humedad y el análisis del contenido de azúcar total se realizaron a lo largo del proceso de deshidratación y se analizó el contenido total de carotenoides para la fruta fresca y después de 10 h de procesamiento. Los resultados obtenidos por la solución de la segunda ley de Fick para la difusión de la difusividad efectiva del agua se encontraron en el rango $1,4-2,9 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y la difusividad efectiva de sacarosa varió de $1,4$ a $2,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Las condiciones experimentales para el procesamiento más eficiente de *Physalis* por deshidratación osmótica fueron a temperatura de 70 °C y concentración de solución osmótica de 70 g de sacarosa/100 g de solución, durante 10 h con agitación. En estas condiciones, la pérdida de agua fue aproximadamente del 40 %. Sin embargo, se observó la mayor pérdida de carotenoides totales (aproximadamente 50 %).

En otro estudio se optimizó la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica a vacío pulsante (DOVP) de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante la metodología de superficies de respuesta [33]. Se evaluó el efecto de temperatura (25-45 °C), sólidos solubles (50-70° Brix), velocidad de rotación (60-100 rpm), presión (50-100 mBar) y número de pulsos de vacío (1-3), sobre los parámetros de deshidratación osmótica pérdida porcentual de peso (%PP), pérdida porcentual de humedad (PH) y ganancia porcentual de sólidos (GS). Se utilizó jarabe de sacarosa en relación jarabe/fruta de 5/1 durante dos horas.

Los resultados de optimización fueron de 45 °C, 70 °Brix, 99,99 rpm, 98,92 mbar y 2,87 pulsos de vacío, para una %PP de 47,52 %, %PH de 21,12 % y %GS de 118,40 %. A las condiciones óptimas se ajustaron modelos matemáticos para describir la cinética de DOVP de uchuvas. Los autores concluyeron que las condiciones de operación afectan de

forma significativa el DOVP de uchuva, principalmente la temperatura y los grados Brix afectan al porcentaje de reducción de peso y porcentaje de pérdida de agua y porcentaje de ganancia de sólidos, mientras que el pulso de vacío afecta la ganancia de sólidos.

El secado de uchuva posterior al tratamiento osmótico se realizó de manera convencional y en un microondas a presión reducida a 120 W y 480 W. Después del secado, las frutas se sometieron a pruebas de resistencia y reología. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando secado por microondas a una potencia de 480 W. La fruta secada al microondas por este método se caracteriza por una mayor resistencia a la compresión que la fruta secada por convección. Los frutos secos obtenidos de esta manera se caracterizaron por un mayor contenido de compuestos bioactivos, mejores propiedades antioxidantes y, al mismo tiempo, la menor actividad del agua.

Secado por altas temperaturas

Si bien la deshidratación en frutas tiene efectos positivos en el aumento de la vida útil, el efecto de la temperatura puede traer pérdidas a nivel nutricional, por lo cual se hace importante determinar las condiciones óptimas de secado que permitan la mayor conservación de compuestos de interés biológico, especialmente en frutas que son apetecidas, como la uchuva. En los procesos de secado convencional o lecho fluidizado se ha logrado demostrar que temperaturas de 60 °C han resultado efectivas en la conservación de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de los frutos de uchuva. En otros procesos como el secado por aspersión se ha demostrado la efectividad del uso de maltodextrina como agente termoprotector de algunos compuestos con actividad antioxidante.

Hincapié y Zapata (2019) [34] estudiaron la cinética de secado de la uchuva en un secador de lecho fluidizado y evaluaron el efecto de la temperatura de secado entre los niveles de 60, 70 y 80 °C y la velocidad de aire de 9,5 m/s sobre las características fisicoquímicas del producto tales como pH, sólidos solubles, acidez, humedad y color. Se estableció la cinética de pérdida de humedad, velocidad de

secado y se obtuvo el coeficiente de difusión efectivo para cada temperatura de trabajo. Los resultados obtenidos indicaron que el color de la uchuva se vio afectado, principalmente, por el tratamiento a 80 °C. Además, los tiempos de secado para alcanzar un equilibrio fueron de 8,0, 5,5 y 5,0 h para 60, 70 y 80 °C, respectivamente, con pérdidas de humedad de 92, 85 y 94 %.

Los autores afirman que las temperaturas del secado en lecho fluidizado de la uchuva afectan parámetros tales como la velocidad mínima de fluidización, la velocidad de secado y la Deff, además de las características fisicoquímicas y la apariencia del producto seco. Entre las temperaturas evaluadas la más favorable para el secado de uchuva en lecho fluidizado es 60 °C, dado que genera el menor efecto sobre la afectación de las características del producto y obtiene humedades de equilibrio por debajo de las del secado a 70 °C.

Cabrera *et al.* [35] realizaron un estudio sobre la influencia del secado en la calidad de uchuva impregnada al vacío con calcio y vitaminas B9, C, D3 y E; con esto se obtuvo que a condiciones de procesamiento de secado de 60 °C y velocidad del aire de 2 m/s se disminuyeron las pérdidas en vitaminas.

En cuanto a la obtención de uchuva en polvo se ha estudiado el proceso de secado en liofilización y en secado por aspersión. Cortés *et al.* [36] optimizaron el proceso de secado por aspersión para la obtención de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en polvo adicionado con componentes activos (vitamina c, hierro, ácido fólico, proteína de soya texturizada y fibra), las cuales se adicionaron a las suspensiones que fueron sometidas a secado por aspersión para la obtención de un producto en polvo fortificado. El proceso de secado fue optimizado de acuerdo con las características de formulación de la suspensión y las condiciones de operación del secador considerando un diseño central compuesto que presentó como factores los siguientes: maltodextrina, temperatura del aire de entrada, temperatura del aire de salida y velocidad del disco atomizador. Se logró una mayor retención de vitamina c, ácido fólico y hierro con la formulación de la suspensión que contenía 24,4 % de maltodextrina y condiciones de operación del proceso de secado definidas por una velocidad de

disco atomizador de 19 848 rpm y temperatura del aire a la entrada y salida de 194,2 °C y 87,7 °C, respectivamente. Esta investigación permitió establecer que el proceso de secado por aspersión es una tecnología efectiva que proporciona valor agregado a la agrocadena de la uchuva.

Dag *et al.* [37] obtuvieron un encapsulado de uchuva usando maltodextrina, goma arábica, alginato y pectina y liofilizando por 48 horas, con el fin de obtener unas microcápsulas de uchuva con compuestos fenólicos y, posteriormente, simular su estabilidad al pasar por el tracto gastrointestinal.

Uso de nuevas tecnologías

Izli *et al.* [38] investigaron los efectos de los tratamientos de secado por microondas, convección y convección por microondas sobre la cinética de secado, el color, el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de la uchuva. Los resultados verificaron que el tiempo de secado se redujo significativamente al combinar el tratamiento de microondas con el secado convencional. Un tratamiento combinado con microondas y secado convectivo de 160 W-100 °C ofreció el tiempo de secado más corto, a un promedio de 2 h, seguido de 160 W-75 °C, 100 °C, 160 W y 75 °C.

De los nueve modelos matemáticos de secado probados, el de Midilli *et al.* (2002) [39] y el modelo de Wang y Singh fueron más satisfactorios al describir el comportamiento de secado de uchuva en las condiciones experimentales evaluadas. El tratamiento con microondas a 160 W produjo los mejores valores de color del producto que estaban más cerca de los valores L^* , a^* y b^* de la muestra fresca, al igual que el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante. Los valores de croma (C) y ángulo de matiz (α) de uchuva seca se redujeron. En comparación con la muestra fresca, las muestras secas exhibieron una disminución de 64-75 % y 65-75 % en el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante, respectivamente. La disminución de la capacidad antioxidante como resultado de los tratamientos de secado puede ser causada por la degradación de los compuestos fenólicos. Los resultados presentados del estudio demostraron que el método de secado convectivo por microondas es adecuado para la uchuva, y no solo puede reducir

ampliamente el tiempo de secado, sino que también retiene el contenido fenólico bioactivo total y la capacidad antioxidante en comparación con el secado convectivo tradicional.

Ordóñez-Santos *et al.* [40] estudiaron el efecto del tratamiento con ultrasonido como alternativa al tratamiento térmico de pasteurización en jugo de uchuva, el cual permitió aumentar la disponibilidad de carotenoides y fenoles totales en el jugo, de manera similar a lo que hicieron Eitzbach *et al.* (2019) [41], quienes evaluaron el efecto de la pasteurización y el ultrasonido en la actividad peroxidasa, contenido de carotenoides y propiedades fisicoquímicas de un puré de uchuva, de modo que mostró mejores resultados en la conservación de los antioxidantes el tratamiento de ultrasonido.

Vega-Gálvez *et al.* (2016) [42] evaluaron el efecto de las altas presiones hidrostáticas en la pulpa de uchuva inmediatamente después de ser procesada y a los treinta días de almacenamiento a 4 °C, con el fin de determinar los cambios en la fibra dietaria, los polifenoles, las vitaminas B y E, la capacidad antioxidante y las características microbiológicas, encontrando que los valores más altos en la capacidad antioxidante se obtuvieron en el procesamiento a 500 MPa por 5 min, en el que se logró conservar la mayor cantidad de vitaminas; a partir del tratamiento a 300 MPa por 1 min la carga microbiana se logró reducir a valores indetectables, lo que hace a este tipo de tratamiento eficaz en la conservación de la pulpa de uchuva y sus propiedades nutricionales.

De la uchuva también se han aprovechado los desperdicios generados en las industrias después del proceso de despulpado (cáscara, semillas y pequeñas partes del fruto), tal como lo hicieron Mokhtar *et al.* (2018) [43] en su estudio, en el cual recogieron este desperdicio y lo secaron en estufa convectiva a 45 °C, a una velocidad de 0,6 m/s y un tiempo de veinticuatro horas, posteriormente lo molieron y lo analizaron, encontrando una gran cantidad de minerales, tales como el potasio, el sodio y el fósforo, además de una buena relación de aminoácidos cisteína/metionina, histidina y tirosina/fenilalanina, así como de ácidos grasos, en especial ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico.

Conclusiones

La uchuva es un fruto promisorio, con una alta cantidad de vitaminas, fitoesteroles, ácidos grasos y compuestos antioxidantes, de los que se han probado sus efectos benéficos para la salud, entre los cuales los más reportados son la actividad antihepatotóxica, la reducción en colesterol y la actividad anticancerígena. Estos efectos en la salud hacen que el fruto sea muy apetecido por los consumidores, quienes cada día se preocupan más por su salud; sin embargo, para la industria y la comunidad académica esto representa un reto tecnológico debido a la corta vida útil del fruto.

Se han realizado, entonces, múltiples investigaciones que tienen como objetivo aumentar la vida útil de la uchuva, conservando la mayor cantidad de los compuestos bioactivos, así como sus propiedades sensoriales, con el fin de mantener el fruto atractivo para el consumidor final. Adicionalmente, se ha tenido en cuenta la reducción de costos de procesamiento para sus perspectivas de agroindustrialización en busca de una mayor competitividad de la agrocadena. Entre los procesos que se han estudiado se destacan pretratamientos químicos y deshidratación osmótica que mejoren los tiempos de secado y conserven las características de color y textura en el fruto; la optimización de tratamientos térmicos como el lecho fluidizado y el secado por aspersión, con el fin de conseguir la temperatura óptima de secado que conserve la mayor cantidad de compuestos bioactivos, así como el uso de agentes encapsulantes que disminuyan la degradación térmica y, finalmente, el uso de tecnologías emergentes como el secado por microondas y las presiones hidrostáticas que eviten el uso de altas temperaturas y, por tanto, la pérdida de algunos de los compuestos de interés biológico del fruto.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Minciencias, al Sistema Nacional de Regalías del Departamento de Antioquia, a Proexcar y a la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Referencias

- [1] E. N. Ellong, C. Billard, S. Adenet y K. Rochefort, "Polyphenols, carotenoids, vitamin c content in tropical fruits and vegetables and impact of processing methods", *Food Nutr. Sci.*, vol. 6, n.º 3, pp. 299-313, 2015.
- [2] V. Flórez, G. Fischer y Á. Sora, *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, 2000.
- [3] N. Rodríguez y M. Bueno, "Study of the cytogenetic diversity of *Physalis peruviana* L. (Solanaceae)", *Acta Biol. Colomb.*, vol. 11, n.º 2, pp. 75-85, 2006.
- [4] G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero, *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, 2005.
- [5] G. Fischer, P. J. Almanza-Merchán y D. Miranda, "Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)", *Rev. Br. Frut.*, vol. 36, n.º 1, pp. 1-15, 2014.
- [6] E. López-Gaytán, J. J. Ayala-Hernández, D. Ponce-Aguirre, R. Mora-Aguilar y A. Peña-Lomelí, "Agrofenología de *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego", *Rev. Chapingo Hort.*, vol. 12, n.º 1, pp. 57-63, 2006.
- [7] A. J. Reyes-Medina, E. H. Pinzón y J. G. Álvarez-Herrera, "Effect of calcium chloride and refrigeration on the quality and organoleptic characteristics of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)", *Acta Agron.*, vol. 66, n.º 1, pp. 15-20, 2017.
- [8] M. L. Olivares-Tenorio, M. Dekker, M. A. J. S. van Boekel y R. Verkerk, "Evaluating the effect of storage conditions on the shelf life of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)", *LWT-Food Sci. and Tech.*, vol. 80, pp. 523-530, 2017.
- [9] A. Duque, G. Giraldo y V. Quintero, "Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana* L.)", *Temas Agrarios*, vol. 16, n.º 1, p. 75-83, 2018.
- [10] G. Fischer, A. Herrera y P. J. Almanza, "Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)", en E. M. Yahia, Ed., *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Acai to citrus*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011, cap. 2, pp. 374-396.
- [11] M. F. Ramadan, "Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview", *Food Res. Int.* vol. 44, n.º 7, pp. 1830-1836, 2011.
- [12] L. A. Puente, C. A. Pinto-Muñoz, E. S. Castro y M. Cortés, "*Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: a review", *Food Res. Int.*, vol. 44, n.º 7, pp. 1733-1740, 2011.
- [13] T. B. Jurado *et al.*, "Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) de diferentes lugares del Perú", *Rev. Soc. Quím. Perú*, vol. 82, n.º 3, pp. 272-279, 2016.
- [14] M.-L. Olivares-Tenorio, R. Verkerk, M. A. J. S. van Boekel y M. Dekker, "Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)", *J. Func. Foods*, vol. 32, pp. 46-57, 2017.
- [15] M. L. Olivares-Tenorio, M. Dekker, R. Verkerk y M. A. J. S. van Boekel, "Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): review from a supply chain perspective", *Tr. Food Sci. Tech.*, vol. 57, pp. 83-92, 2016.
- [16] M. F. Ramadan y J. T. Morsel, "Oil goldenberry (*Physalis peruviana* L.)", *J. Agr. Food Chem.*, vol. 53, n.º 3, pp. 566-573, 2005.
- [17] G. O. Corazza *et al.*, "Pressurized liquid extraction of polyphenols from goldenberry: influence on antioxidant activity and chemical composition", *Food Bioprod. Process.*, vol. 112, pp. 63-68, 2018.
- [18] C. A. Bernal *et al.*, "Peruvioses A to F, sucrose esters from the exudate of *Physalis peruviana* fruit as α -amylase inhibitors", *Carbohydr. Res.*, vol. 461, pp. 4-10, 2018.
- [19] H. A. Hassan, H. M. Serag, M. S. Qadir y M. F. Ramadan, "Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) juice as a modulator agent for hepatocellular carcinoma-linked apoptosis and cell cycle arrest", *Biomed. Pharmacother.*, vol. 94, n.º 2017, pp. 1129-1137, 2017.
- [20] M. M. S. Diab, A. M. Aref, M. S. Othman, S. Al-Quraishy, A. E. Abdel Moneim y M. A. Dkhil, "The potential protective role of *Physalis peruviana* L. fruit in cadmium-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity", *Food Chem. Toxicol.*, vol. 74, pp. 98-106, 2014.
- [21] M. Sang-Ngern *et al.*, "Withanolides derived from *Physalis peruviana* (Poha) with potential anti-inflammatory activity", *Bioorganic Med. Chem. Lett.*, vol. 26, n.º 12, pp. 2755-2759, 2016.
- [22] S. Ahmad *et al.*, "Withanolides from *Physalis peruviana*", *Phytochem.*, vol. 50, pp. 647-651, 1999.
- [23] Y.-H. Lan *et al.*, "New cytotoxic withanolides from *Physalis peruviana*", *Food Chem.*, vol. 116, n.º 2, pp. 462-449, 2009.

- [24] A. Valenzuela B. y A. M. Ronco M., “Fitoesteroles y fitoestanoles: aliados naturales para la protección de la salud cardiovascular”, *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 21, n.º 1, pp. 161-169, 2004.
- [25] M. E. D. Reyes, C. K. Guanilo, M. W. Ibáñez, C. E. García, J. J. Idrogo y J. J. Huamán, “Efecto del consumo de *Physalis peruviana* L. (aguaymanto) sobre el perfil lípido de pacientes con hipercolesterolemia”, *Acta Méd. Per.*, vol. 32, n.º 4, pp. 195-201, 2015.
- [26] A. Restrepo, M. Cortés y C. Márquez, “Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) minimally processed fortified with vitamin E”, *Vitae*, vol. 16, n.º 1, pp. 19-30, 2009.
- [27] M. Mathlouthi, “Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs”, *Food Cont.*, vol. 12, n.º 7, pp. 409-417, 2001.
- [28] S. S. Sablani, S. Kasapis y M. S. Rahman, “Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability”, *J. Food Engin.*, vol. 78, n.º 1, pp. 266-271, 2007.
- [29] O. Lancho, G. Velandia, G. Fischer, N. Varela y H. García, “Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa”, *Cien. Tecn. Agrop.*, vol. 8, n.º 1, pp. 61-68, 2007.
- [30] J. E. Vásquez-Parra, C. I. Ochoa-Martínez y M. Bustos-Parra, “Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*)”, *J. Food Engin.*, vol. 119, n.º 3, pp. 648-654, 2013.
- [31] J. R. de J. Junqueira, J. L. G. Corrêa, H. M. de Oliveira, R. Ivo Soares Avelar y L. A. Salles Pio, “Convective drying of cape gooseberry fruits: effect of pretreatments on kinetics and quality parameters”, *LWT-Food Sci. Techn.*, vol. 82, pp. 404-410, 2017.
- [32] C. L. Luchese, P. D. Gurak y L. D. F. Marczak, “Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.). Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids”, *LWT-Food Sci. Techn.*, vol. 63, n.º 2, pp. 1128-1136, 2015.
- [33] J. E. Zapata, G. L. Ciro y P. Marulanda, “Optimization of pulsed vacuum osmotic dehydration of the cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) using the response surface methodology”, *Agron. Colomb.*, vol. 34, n.º 2, pp. 228-238, 2016.
- [34] M. A. Hincapié y J. E. Zapata, “Estudio de la cinética de deshidratación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en un secador de lecho fluidizado”, *Inform. Tecn.*, vol. 30, n.º 2, pp. 115-124, 2019.
- [35] Y. A. Cabrera O., E. M. Estrada M. and M. Cortés R., “The influence of drying on the physiological quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits added with active components”, *Acta Agron.*, vol. 66, n.º 4, pp. 512-518, 2017.
- [36] M. Cortés, E. M. Estrada y G. Hernández, “Optimization of the spray drying process for obtaining Cape gooseberry powder: an innovative and promising functional food”, *Vitae*, vol. 24, n.º 1, pp. 59-67, 2017.
- [37] D. Dag, M. Kilercioglu y M. H. Oztop, “Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder”, *LWT-Food Sci. Techn.*, vol. 83, pp. 86-94, 2017.
- [38] N. Izli, G. Yildiz, H. Ünal, E. Işık y V. Uylaşer, “Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.)”, *Int. J. Food Sci. Techn.*, vol. 49, n.º 1, pp. 9-17, 2014.
- [39] A. Midilli, H. Kucuk y Z. Yapar, “A new model for single-layer drying”, *Drying Techn.*, vol. 20, n.º 7, pp. 1503-1513, 2002.
- [40] L. E. Ordóñez-Santos, J. Martínez-Girón y M. E. Arias-Jaramillo, “Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice”, *Food Chem.*, vol. 233, pp. 96-100, 2017.
- [41] L. Etzbach, A. Pfeiffer, A. Schieber y F. Weber, “Effects of thermal pasteurization and ultrasound treatment on the peroxidase activity, carotenoid composition, and physicochemical properties of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) puree”, *LWT*, vol. 100, pp. 69-74, 2019.
- [42] A. Vega-Gálvez *et al.*, “Assessment of quality parameters and microbial characteristics of Cape gooseberry pulp (*Physalis peruviana* L.) subjected to high hydrostatic pressure treatment”, *Food Bioprod. Process.*, vol. 97, pp. 30-40, 2016.
- [43] S. M. Mokhtar, H. M. Swailam y H. E. S. Embaby, “Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: composition of goldenberry juice waste”, *Food Chem.*, vol. 248, pp. 1-7, 2018.