

UCHUVA MÍNIMAMENTE PROCESADA IMPREGNADA AL VACÍO CON CALCIO Y VITAMINAS B₉, D Y E

MINIMALLY PROCESSED CAPE GOOSEBERRY VACUUM IMPREGNATED WITH CALCIUM AND VITAMINS B₉, D AND E

UCHUVA MÍNIMAMENTE PROCESSADA IMPREGNADA AO VACUO COM CALCIO E VITAMINAS E B₉ e D

FABIOLA PEÑA¹, MISAEL CORTÉS-RODRÍGUEZ², JESÚS HUMBERTO GIL-GONZÁLEZ³

RESUMEN

Se evaluó la respuesta a la impregnación a vacío (IV) de la uchuva ecotipo Colombia con diferentes líquidos, para formular una emulsión fortificante con calcio y vitaminas B₉, D y E. La fracción volumétrica de impregnación y porosidad efectiva de la uchuva identifican una buena porosidad disponible al proceso. De acuerdo al índice R, la emulsión de impregnación es estable durante 35 días a 4°C. El proceso de IV no afectó significativamente las uchuvas en cuanto a sus propiedades físico-químicas y niveles de vitamina C. Se obtuvieron uchuvas impregnadas que aportan, en una porción de 200g, niveles del 69, 82, 40, 50 y 15% de los valores diarios de referencia para las vitaminas C, B₉, D, y E y el calcio, respectivamente. Micrografías tomadas por microscopía electrónica de barrido, evidenciaron la incorporación de las partículas oleosas en los poros del pedúnculo de la uchuva.

Recibido para evaluación: 21 de Julio de 2014. **Aprobado para publicación:** 23 de Abril de 2015.

- 1 Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación GAF. MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Medellín, Colombia.
- 2 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Grupo de investigación GAF. Doctor en Ingeniería de Alimentos, Medellín, Colombia.
- 3 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Grupo de investigación SINBIOMENA. Doctor en Ciencias Químicas, Medellín, Colombia.

Correspondencia: mcortesro@unal.edu.co

ABSTRACT

In this work it was evaluated the gooseberry Colombian ecotype response to vacuum impregnation (VI) with different liquids, to formulate a fortifying emulsion with calcium and vitamins B₉, D and E. The volumetric fraction of impregnation and the effective porosity in the cape gooseberry identify a good porosity available to the process. According to the R index, the impregnation emulsion is stable for 35 days at 4°C. The VI process did not significantly affect the physicochemical properties and vitamin C levels of cape gooseberry. In a portion of 200 g, the impregnated cape gooseberries obtained provide levels of 69, 82, 40, 50 and 15% of the reference daily values of vitamins C, B₉, D, E and calcium, respectively. Micrographs obtained by scanning electron microscopy, showed the incorporation of oily particles in the pores of the stem of the cape gooseberry.

RESUMO

Foi avaliada a resposta a impregnação a vácuo (IV) da Uchuva ecótipo Colômbia com diferentes líquidos para formular uma emulsão fortificante com cálcio e vitaminas B₉, D e E. A fração volumétrica de impregnação e porosidade efetiva da Uchuva identifica uma boa porosidade disponível para processo. De acordo com o índice de R, a emulsão de impregnação é estável durante 35 dias a 4°C. O processo de IV não afetou significativamente as uchuvas no referente às propriedades físico-químicas e vitamina C. Foram obtidas uchuvas impregnadas que aportam numa porção de 200g, níveis de 69, 82, 40, 50 e 15% dos valores diários de referência para vitaminas C, B₉, D, E e cálcio, respectivamente. Microfotografias realizadas por microscopia eletrônica de varredura, mostrou a incorporação de partículas de óleo nos poros do pedunculo da uchuva.

INTRODUCCIÓN

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una baya redonda de peso entre 1 y 10 g, cubierta de un cáliz o capacho que la protege del entorno. Este fruto se caracteriza por su alto contenido de vitaminas A y C [1], capaces de suplir, en una porción de 200 g, alrededor del 65 y el 26% de los valores diarios de referencia (VDR), respectivamente. El capacho segrega una sustancia pegajosa, generada por tejidos glandulares ubicados en su base, cubriendo el fruto en su totalidad, y su función es repeler el ataque de insectos [2]. Esta fruta, ha sido identificada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) como promisoría de exportación; además, se le confieren efectos positivos sobre la salud humana tales como la purificación de la sangre, eliminación de la albúmina en los riñones, reconstitución y fortificación del nervio óptico, [3] calcificación de primer orden, efectos antiparasitarios, [4] y propiedades antidiabéticas [5].

La ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales [6], utiliza la impregnación a vacío (IV) como mecanismo de incorporación de soluciones, dispersiones o emulsiones que contienen componentes fisiológicamente activos (CFA), permitiendo el desarrollo de

PALABRAS CLAVE:

Physalis peruviana L., Impregnación al Vacío, Ingeniería de Matrices, Alimentos funcionales, Compuestos Activos.

KEYWORDS:

Physalis peruviana L., Vacuum Impregnation, Matrix Engineering, Functional foods, Active Components.

PALAVRAS-CHAVE:

Physalis peruviana L., Impregnação a Vácuo, Engenharia de Matrices, Alimentos Funcionais, Compostos Activos.

alimentos innovadores como los productos mínimamente procesados, con valor agregado y de alta calidad nutricional [7]. La IV consiste en la inmersión de un producto poroso en una solución, sometiendo el sistema a presión de vacío (P_1) por un periodo determinado (t_1) en orden a promover la salida del gas interno, seguido de la restauración de la presión atmosférica (P_{at}) por un tiempo (t_{at}) durante el cual la solución penetra en el espacio intercelular por la acción capilar y por los gradientes de presión que se imponen al sistema. La cantidad de solución externa que penetra en los tejidos ha sido modelada en función de la porosidad efectiva del producto, de la rata de compresión ($r = P_{atm}/P_1$) y de la deformación volumétrica provocada por los cambios de presión [8]. Se ha demostrado que la IV en frutos porosos es un proceso efectivo en la transferencia de masa hacia el tejido [9] promoviendo cambios composicionales en tiempos cortos y sin requerimientos de temperatura [7].

Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, con alta energía libre entre fases líquidas inmiscibles, siendo indispensable la presencia de agentes tensoactivos capaces de disminuir la tensión superficial (σ) y la propia tensión interfacial [10, 11]. La estructura molecular de los tensoactivos, al poseer grupos polares y apolares (carácter anfifílico), no les permite distribuirse uniformemente en el agua, sino que se orientan hacia la superficie de ésta, disminuyendo la σ del sistema. La adición progresiva de tensoactivos llega un punto en el cual se ha cubierto la totalidad de la superficie; por lo tanto, las moléculas del tensoactivo en exceso se dirigen hacia el interior del líquido formando micelas o agregados de alto peso molecular que no van a contribuir a la disminución de la σ . La concentración mínima requerida para lograr la máxima depresión de σ en un sistema es la concentración micelar crítica (CMC) [12].

Existe un interés muy marcado de los consumidores modernos por los alimentos que, además de suplir los nutrientes esenciales, contengan otros CFA que aporten beneficios saludables, lo cual ha permitido que la industria alimentaria ofrezca cada día productos diferenciados de los convencionales con características funcionales. Las vitaminas, en cantidades muy pequeñas, son sustancias orgánicas esenciales para el funcionamiento de las células vivas, Las vitaminas C y E son aditivos frecuentemente utilizados en la industria de alimentos por su poder antioxidante [13]; la vitamina B₉ o ácido fólico, se ha destacado por participación en la síntesis de ADN, ARN y el metabolismo de algu-

nos aminoácidos, lo que la hace necesaria en la etapa de gestación [14]; además, ayuda a disminuir el riesgo de cáncer del seno [15] y a controlar el envejecimiento cerebral [16]; la Vitamina D es una prohormona esteroidea sintetizada en la piel, u obtenida en la dieta alimenticia, cuya función más importante es estimular la absorción, fijación y eliminación de calcio, lo que resulta vital en el crecimiento y desarrollo normal de los huesos y dientes, acompañado de una adecuada ingesta de dicho mineral [17].

El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta a la IV de la uchuva ecotipo Colombia con una emulsión de impregnación (EI) adicionada con CFA de características liposolubles e hidrosolubles, que permita obtener un producto mínimamente procesado, identificado con el descriptor “excelente fuente de vitaminas E, B₉, D y calcio”; y que aporte, en una porción de 200 g, el 50% del VDR de vitamina E y el 20% del VDR de calcio y vitaminas D y B₉, de acuerdo a la Resolución 288 de 2008 [18].

MÉTODO

Materiales

Se utilizaron uchuvas frescas (UF) (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia procedentes del municipio de La Unión (Antioquia-Colombia), de peso sin cáliz entre 6 y 8 g, con un grado de madurez entre 4 y 6, según la escala de la Norma Técnica Colombiana NTC 4580 [19], desinfectadas por inmersión en solución de cloro de 50 ppm. Además, se utilizaron las siguientes materias primas: ácido ascórbico, colecalciferol (vitamina D₃), DL- α -tocoferol acetato, ácido fólico (Vitamina B₉), cloruro de calcio, fumarato de calcio, sacarosa, Tween 80, Span 60, sorbato de potasio, pectina de bajo metoxilo y proteína aislada de soya.

Propiedades físico-químicas

Se evaluaron las siguientes características: sólidos solubles, en un refractómetro manual (Leica Auto ABBE) a 20°C (AOAC 932.12) [20]; acidez titulable, expresada como ácido cítrico (%) (AOAC 939.05) [20]; índice de maduración, a partir de la relación °Brix/acidez (%); pH (AOAC 981.12) [20]; actividad de agua (a_w), utilizando un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA); densidad de UF (ρ_{UF}), por el método de volumen desplazado a 20°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$); y humedad, mediante secado a 105°C durante 6 horas (AOAC 966.02) [20].

Metodología experimental de impregnación

En un homogenizador Ultraturrax (UTL 50 INLINE, Janke & Kunkel IKA- Labortechnik, Alemania) a 10.000 rpm durante 10 minutos, se preparó una solución de impregnación preliminar (SI_p) de carácter isotónico (a_w UF = $a_w SI_p$), con sacarosa, proteína de soya, sorbato de potasio, pectina de bajo metoxilo (16,3%) y calcio, en una relación de 105 mg Ca^{+2} /g pectina para inducir a la formación lenta de geles débiles [21].

La respuesta a la impregnación al vacío de la uchuva, se caracterizó inicialmente con la SI_p en una unidad piloto que consta de una cámara en acero inoxidable, una bomba de vacío con registro de presiones en un vacuómetro y un sistema electromecánico acoplado a una balanza de $\pm 0,01$ g de precisión, que permite medir las masas de las uchuvas y del líquido de impregnación [8, 22, 23]. Se operó con una $P_1 = 31,4$ mm Hg, $P_{at} = 640$ mm Hg y $t_1 = t_{at} = 5$ min. La metodología permite calcular las fracciones volumétricas de impregnación y la deformación volumétrica tanto en la etapa de vacío (X_1 : m^3 de líquido impregnado/ m^3 UF, y γ_1 : m^3 de muestra deformada/ m^3 UF), así como en el proceso global con el restablecimiento de la presión atmosférica (X_γ), y la porosidad eficaz (ϵ_e : m^3 de gas/ m^3 UF). La relación de los parámetros de IV se presentan en la ecuación 1 [24].

$$\epsilon_e (\gamma - 1) = (X - \gamma) r + \gamma_1 \quad [\text{Ec.1}]$$

La fracción másica para cada CFA en la EI [Y_{CFA}], se determinó aplicando el balance de materia en el sistema de impregnación, a partir de la metodología propuesta por Cortés (2004) [23], utilizando el X calculado con la SI_p .

La composición de los tensoactivos, Tween 80 y Span 60, se determinó en la SI_p (excluyendo el cloruro de calcio y la pectina) a partir del cálculo de la CMC (tensión superficial (σ) vs. % mezcla de tensoactivos (MT)) para un balance hidrofílico-lipofílico total (BHL_T) de 10, y %MT entre 0 y 0,5. Se midió la σ en tensiómetro (KRÜSS K9, Alemania) por el método de anillo. La EI se ajustó a pH = 5,5 con ácido ascórbico para favorecer la estabilidad de la vitamina B₉ [25] y evitar la desnaturalización de la proteína de soya (punto isoeléctrico 4,2–4,6) [26]. Con la EI elaborada, se determinaron nuevamente los parámetros de impregnación anteriormente mencionados, y se realizó el estudio de estabilidad durante 15 días, a partir del cálculo del índice de estabilidad R (relación de absorbancias a

800 y 400 nm), por el método de absorción espectral [27,28], en un espectrofotómetro (Evolution 60, Thermo Scientific). Con la X calculada en la EI, se formuló y elaboró la emulsión de impregnación final (EI_p), con la cual obtuvieron uchuvas impregnadas (UI), destinadas para los análisis.

Extracción y cuantificación de CFA

Para la elaboración de los diferentes extractos, se obtuvo una pasta homogénea de muestra a partir de la maceración de 100 g de producto en un Ultraturrax (UTL 50 INLINE) a 10.000 rpm durante 5 minutos. La extracción y cuantificación de la vitamina C se realizó por modificación de la metodología de Gutiérrez *et al.*, (2007) [1]. Se tomaron 7 g de pasta homogénea, se agregaron 20 mL de agua tipo III y se llevaron a agitación magnética durante 15 min a 900 rpm. Se filtró en membranas de 0,45 μ m y la fase acuosa (FA) se llevó a un volumen 50 mL. La extracción y cuantificación de vitamina B₉ se realizó con base en la metodología de Arcot (2005) [29]; se mezclaron 7 g del homogenizado con 20 mL de agua tipo III y se hidrolizó (pH = 12) con NaOH 2 M en agitación magnética por 20 min. La mezcla se neutralizó con buffer fosfato 1 M, se filtró en membranas de 0,45 μ m y se aforó a 50 mL. Para la extracción y cuantificación de vitaminas liposolubles (D y E) se adaptó el método descrito por Kmostak, (1993) [30], modificado por Cortés (2004) [23], donde el solvente se evaporó en un rotaevaporador (Heidolph Laborta 4001) a 40°C.

La cuantificación de las vitaminas se llevó a cabo en un equipo de cromatografía líquida de alta resolución (Prominence 20A, Shimadzu Corp, Japón), provisto de una columna de fase reversa (Premier C-18, 250 mm x 4,6 mm x 5 μ m), detector UV-vis con arreglo de diodos. Se construyeron curvas de calibración con estándares primarios Supelco: DL-alfa tocoferol acetato, colecalciferol, ácido ascórbico y ácido fólico. Se trabajó a temperaturas del horno de 35°C, en vitaminas C y B₉, y 45°C para vitaminas D y E. Para la vitamina C se utilizó una fase móvil de buffer KH_2PO_4 (0,02 M, ajustado a pH = 3,0 con ácido ortofosfórico) y se detectó el compuesto a 244 nm. En vitamina B₉ se utilizó una fase móvil de Buffer KH_2PO_4 0,05 M/ acetoneitrilo (90/10) y se detectó el compuesto a 283 nm. Las vitaminas D y E se detectaron a 264 y 285 nm y se eluyeron con una fase móvil metanol/acetoneitrilo (75/25). En todas las vitaminas se trabajó a un flujo de 1 mL/min.

Para la extracción y cuantificación de calcio se siguió el protocolo de la Norma Técnica Colombiana 4807 [31] utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAAnalyst 100, Perkin Elmer Inc., Waltham, USA), y un titrisol estándar de calcio marca Merck.

Microestructura del fruto

Se obtuvieron imágenes en muestras de UF y UI, previamente deshidratadas (60°C x 12h), en un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 5910 LV), acoplado con detectores EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), con el cual se hizo un análisis químico cualitativo en diferentes puntos de la muestra.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizaron diseños factoriales completamente aleatorizados (TxLxR: tratamientos x lotes x No. Repeticiones) en: estabilidad de la emulsión (8x2x3), tensión superficial (8x1x3), parámetros de impregnación (2x2x25), propiedades fisicoquímicas (2x2x5) y concentración de CFA (2x3x3). Los datos fueron analizados a partir de análisis de varianza ANOVA, aplicando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de significancia del 95% ($\alpha=0,05$) y una potencia del 80%, en el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.

RESULTADOS

Análisis Físico-químicos

El cuadro 1 presenta los valores medios y la desviación estándar de los parámetros físico-químicos de las UF y las UI. El ANOVA no reportó diferencias significativas ($p<0,05$) con respecto al tratamiento de IV. En la literatura se han reportado valores similares para UF [32, 33, 34, 35, 36].

En las UI se observa una ligera tendencia a incrementar °Brix, a_w , acidez, densidad y humedad debido a que la EI_F tiene 18°Brix, acidez <0,01%, pH = 5,5 y densidad = 1,056 g/mL; sin embargo, debido a la poca cantidad de líquido que se incorpora, éste es absorbido por la desviación estándar. Botero (2008) [37] y Restrepo (2008) [38] también encontraron incremento en cuanto a SS, acidez, a_w y humedad por efecto de la IV en uchuva, pero con diferencias significativas respecto al fruto fresco.

Cuadro 1. Características físico-químicas de UF y UI.

Parámetros fisicoquímicos	UF	UI
°Brix	14,74 ± 0,6	15,10 ± 0,5
Acidez [%]	1,65 ± 0,31	1,67 ± 0,34
IM	9,17 ± 1,5	8,98 ± 1,9
pH	3,58 ± 0,09	3,53 ± 0,14
aw	0,980 ± 0,001	0,981 ± 0,002
Densidad [g/mL]	1,070 ± 0,043	1,088 ± 0,063
Humedad [%]	79,87 ± 0,73	79,98 ± 0,72

Formulación y estabilidad de la emulsión

Concentración micelar crítica. La figura 1 ilustra la σ_{agua} y la σ_{SIP} a diferentes concentraciones de MT con BHL_T de 10. Se obtuvo valores de σ_{agua} de 73 ± 0,06 mNm, similar al reportado por Chiralt *et al.*, (1998) [39]; y se observó una disminución de σ con la adición de tensoactivos en la SI_p. Para la SI_p al 0%MT, σ disminuyó un 23,3% (56 ± 0,06 mNm), lo cual se atribuye a la presencia de proteína de soja de características anfífilas (grupos polares y apolares), confiriéndole características estabilizantes [26]. La adición de la MT no iónicos, disminuyó la σ en un 43,2% hasta alcanzar un valor asintótico ($\sigma = 41,5 \pm 0,55$ mN/m) en la CMC (0,1 %MT); valores por encima de ésta, no aportarán un efecto estabilizador superior. Cortés (2004) [23], obtuvo un valor similar de CMC en una solución de glucosa de 9 °Brix con un BHL_T de 8, utilizando el método de volumen de gota.

Parámetros de impregnación. La figura 2 presenta los valores medios y los intervalos LSD (95%) de los parámetros de impregnación obtenidos en las UI con la SI_p y la EI. No hubo diferencias significativas ($p>0,05$)

Figura 1. Obtención de la CMC con mezcla de tensoactivos de BHL_T 10.

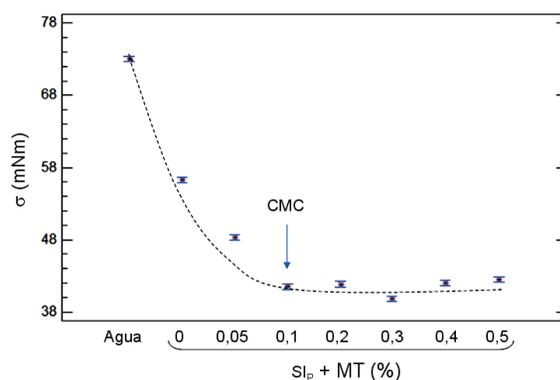
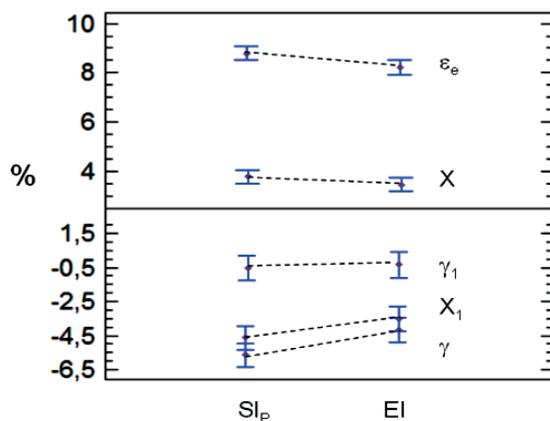


Figura 2. Parámetros de impregnación de uchuva con la SI_p y la EI.



en los parámetros X, X₁, γ₁ y ε_e, con respecto al tipo de líquido de impregnación, pero sí en γ (p<0,05). En la SI_p y en la EI, se alcanzaron valores de X del orden de 3,79 ± 0,43% y 3,47 ± 0,67%, y de ε_e de 8,79 ± 0,19 y 8,23 ± 0,21%, respectivamente; lo que identifica a la uchuva como una estructura adecuada para la incorporación de los CFA. Para ambas soluciones, los valores de X₁ fueron negativos, denotando una salida de líquido del interior de la estructura en la etapa de vacío, siendo ligeramente mayor con la SI_p. Estas pérdidas incidieron proporcionalmente en la deformación volumétrica en la etapa de vacío (valores negativos de γ₁), lo que hace colapsar ligeramente a la matriz (contracción volumétrica), alcanzándose valores de -0,53 ± 0,20% en la SI_p y -0,34 ± 0,23% en la EI. Las diferencias estadísticas en γ son atribuibles al acople del mecanismo hidrodinámico y al fenómeno de deformación-relajación, lo cual genera una contracción de la matriz al final del proceso (γ = -5,64 ± 0,50 en SI_p y γ = -4,18 ± 0,53% en EI), como consecuencia del estrés mecánico ante el ΔPresión del proceso. La mayor deformación se presentó con la SI_p, lo que se relaciona con la mayor salida de líquido nativo (X₁) y una cantidad superior de líquido impregnado (X).

Restrepo (2008) [38] y Botero (2008) [37] impregnaron uchuva ecotipo Colombia con emulsiones de vitamina E, según la metodología de Cortes, (2004) [23], considerando despreciables X₁, γ y γ₁, obteniendo valores inferiores de X (2,5 - 3,5%) y ε_e (3 - 5%); Restrepo (2008) [38], calculó adicionalmente los parámetros de IV en una solución isotónica de sacarosa 20 °Brix, encontrando valores aproximados de X y ε_e de 3,4 y 4,6%, respectivamente. Por otro lado, Marín, (2009) [40] encontró, en uchuvas impregnadas con soluciones de inoculadas con bacterias ácido lácticas, valores superiores de X (5 - 9%), ε_e (9-11%) y γ (-1,5 a -4), y valores inferiores de γ₁ (-12,03 ± 3,43), y resultados semejantes de X₁. Estas diferencias responden a diversos factores tales como composición y viscosidad del líquido de impregnación, interacciones líquido-matriz alimentaria, las presiones de trabajo, entre otros [22, 23]; y además, existen otros factores genéticos, climáticos y agro culturales, típicos de cada cultivo y región, que pueden influir [41].

Formulación y estabilidad de la EI_F. El balance de materia permitió obtener la siguiente composición de la EI_F (% p/p): fuentes de vitaminas y minerales (8,35), solución de tensoactivos iónicos, sacarosa, pectina, sorbato de potasio y fuente de soya (91,65). El índice de estabilidad R no presentó diferencias significativas (p<0,05) en el tiempo, obteniéndose un valor promedio de 0,322 ± 0,043, resultados que son favorables para la estabilidad de la EI por su relación con el menor tamaño de gotas de vitaminas liposolubles en el sistema coloidal [28]. Restrepo (2008) [38] reportó resultados similares en emulsiones con balance BHL₁ de 8 y 0,33% MT.

Cuantificación de CFA

El cuadro 2 presenta los promedios y desviaciones estándar de los contenidos de CFA por cada 200 g de producto. El ANOVA presentó diferencias significativas

Cuadro 2. Concentración y VDR de los CFA.

CFA	UF		UI	
	Cantidad	%VDR	Cantidad	%VDR
Vit C [mg/200g]	39,52 ± 3,95	65,86 ± 6,59	41,98 ± 1,96	69,96 ± 3,26
Vit D [μg /200g]	0	0	4,01 ± 0,83*	40,13 ± 8,32*
Vit E [mg/200g]	0	0	15,07 ± 1,56*	50,24 ± 5,21*
Vit B ₉ [μg /200g]	0	0	326,4 ± 42,0*	82,43 ± 10,5*
Calcio [mg/200g]	23,24 ± 3,65	2,32 ± 0,37	153,6 ± 21,3*	15,36 ± 0,21*

* Diferencias significativas al 95% de confianza

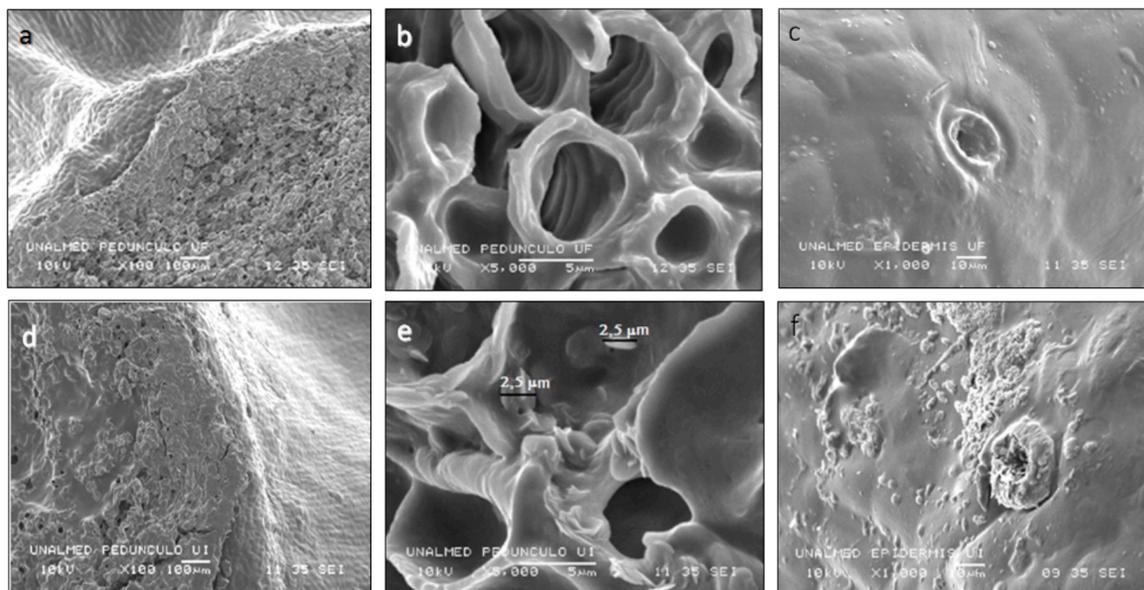
($p < 0,05$) para el calcio y las vitaminas E, D y B_9 con respecto al factor IV, atribuibles a la incorporación de los CFA presentes en la EI_F . Los resultados de vitamina C en las UF fueron similares a los encontrados por Gutiérrez *et al.*, (2007) [1], representando un aporte importante en el VDR de esta vitamina; por otro lado, se presenta un ligero incremento en las UI debido a la presencia de ácido ascórbico como acidulante de la EI_F . El contenido de vitaminas B_9 y D en las UI fueron superiores al criterio de fortificación (20% VDR); mientras que en vitamina E, se obtuvo la cantidad esperada (50%). Estos niveles de fortificación permiten que las UI sean catalogadas como "excelente fuente de vitaminas E, D y B_9 ", según la normatividad colombiana [18]. Otros autores han fortificado uchuva por la técnica de IV, con emulsiones de base acuosa adicionadas de vitamina E y/o vitamina C y/o calcio [37,38] y bacterias probióticas [40], superando también los valores esperados. El contenido de calcio en las UF fue similar a los obtenidos por otros autores [42, 43,44], representando un nivel bajo del VDR de este nutriente. Debido a la solubilidad limitada de las sales de calcio, sólo fue posible obtener en las UI el 15%VDR, lo que le confiere el descriptor "buena fuente de Calcio". En general, los resultados obtenidos, permiten definir a la uchuva como una matriz con una complejidad microestructural, debido en parte a la epidermis, de características impermeables, que cubre aproximadamente el 95% de su superficie, y al área del pedúnculo ($\cong 5\%$), con una distribución porosa irregular, que permite el ingreso del

líquido de impregnación al interior de la estructura, la cual no tiene una relación directa con el peso de la uchuva. Por otro lado, un fenómeno que puede estar influyendo, puede ser la adhesión de CFA (verificado en las pruebas EDS) en la superficie del fruto, la cual para efectos de los cálculos teóricos, se consideró despreciable, asumiendo que la epidermis de la uchuva era una barrera totalmente impermeable.

Microscopía

La Figura 3 presenta micrografías con aumentos de 100, 5.000 y 1.000 X en UF [(a), (b), y (c)] y en UI [(d), (e) y (f)]. En las imágenes a y e se aprecia el pedúnculo, el cual se caracteriza por su rugosidad y porosidad; y la epidermis [imagen c], de textura lisa y escasa porosidad, la cual presenta partículas de resina propias del fruto. Por efecto del tratamiento de IV se aprecia un sellamiento parcial de los poros del pedúnculo (imagen d), a causa de los geles de formación lenta presentes en la EI_F [45], así como la presencia de partículas de forma oval de aproximadamente $2,5 \mu\text{m}$ de diámetro (imagen e) que probablemente corresponden a pequeñas gotas de vitaminas E y D. Restrepo (2008) [38] también encontró gotículas de vitamina E de $2,81 \mu\text{m}$. En la Figura 3f se aprecian partículas adheridas a la epidermis y a sus poros, lo que demuestra que la capa cerosa del fruto presenta propiedades adherentes, lo que puede contribuir con los niveles de fortificación. El análisis cualitativo ele-

Figura 3. Imágenes de UF y UI. Límite entre el pedúnculo y la epidermis a 100X en UF (a) y UI (d); pedúnculo a 5000X en UF (b) y UI (e); poros de la epidermis a 1000X en UF (c) y UI (f).



mental por EDS encontró en las imágenes de las UI, y en otras imágenes del interior de la misma, calcio y cloro a diferencia de las UF, lo que indica que parte de los niveles de calcio obtenidos, y probablemente los de los otros CFA, se atribuyan a una adhesión.

CONCLUSIONES

La adición de la mezcla de tensoactivos, Tween 80 y Span 60 al 0,1% con un $BHL_T = 10$, permite disminuir al máximo la σ de la SI_p y favorece la estabilidad del sistema coloidal de la EI, observada en el comportamiento del índice "R", que correspondió a tamaños de partículas oleosas pequeñas por un período de 15 días, a 4°C.

Los parámetros de impregnación de la uchuva calculados con la EI ($\gamma = -4,18 \pm 0,53\%$, $\gamma_1 = -0,34 \pm 0,23\%$; $X_1 = -3,51 \pm 0,53\%$; $\epsilon_e = 8,23 \pm 0,21\%$ y $X = 3,47 \pm 0,67\%$) muestran que esta es una matriz que favorece la incorporación de CFA, debido a la baja contracción volumétrica del sistema, la pequeña cantidad de líquido nativo que sale en la etapa de vacío, y la buena porosidad disponible para el proceso.

Se formuló una EI_F que permitió obtener uchuva fortificada, capaz de aportar en una porción de 200 g VDR aproximados del 40, 50, 82 y 15% en vitaminas B₆, D y E y calcio, respectivamente, por lo que el proceso de IV genera un valor agregado importante en la uchuva, sin alterar significativamente sus características físico-químicas y la cantidad de vitamina C.

Las micrografías presentaron la morfología superficial compleja de la uchuva, observándose la epidermis de características casi compactas, adherentes y de mínima porosidad; y el área del pedúnculo con un relieve poroso. Se observaron partículas esféricas de vitaminas D y E con un diámetro aproximado de 2,5 μm .

El análisis cualitativo elemental EDS evidenció la presencia de calcio en la epidermis, el pedúnculo, y la pulpa de las UI, lo que indica que la emulsión de impregnación en el proceso de IV, después de ingresar mayoritariamente por el pedúnculo, se desplaza hacia su interior y además puede adherirse a la epidermis.

REFERENCIAS

[1] GUTIÉRREZ, T., HOYOS, O. y PÁEZ, M. Determinación del contenido de ácido ascórbico en

uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Facultad de Ciencias Agropecuarias, 5(1), 2007, p. 71-79.

- [2] MAZORRA, M., QUINTANA, Á., MIRANDA, D., FISCHER, G. y CHAPARRO, M. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solanaceae). Acta Biológica Colombiana, 11(1), 2006, p. 69 - 81.
- [3] CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL (CCI). Perfil de producto. Inteligencia de mercados, Bogotá (Colombia): Corporación Colombia Internacional, 13, 2000, p.1-12.
- [4] HERRERA, A. Manejo poscosecha. En: Flórez, V.J., G. Fischer y A.D. Sora. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Bogotá (Colombia): 2000.
- [5] RODRÍGUEZ, S., y RODRÍGUEZ, E. Efecto de la ingesta de *Physalis peruviana* [aguaymanto] sobre la glicemia postprandial en adultos jóvenes. Revista Médica Vallejana, 4(1), 2007, p. 43-53.
- [6] FITO, P., CHIRALT, A., BETORET, N., GRAS, M., CHÁFER, M., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., ANDRÉS, A. and VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. Journal of Food Engineering, 49(2-3), 2001, p. 175-183.
- [7] CHIRALT, A., FITO, P., ANDRÉS, A., BARAT, J.M., MARTÍNEZ-MONZÓ, J. and MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization y Process Assessment. Boca Ratón (USA): CRC Press, 1999.
- [8] FITO, P., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. and PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. Journal of Food Engineering, 27(3), 1996, p. 229-240.
- [9] GRAS, M.L, VIDAL, D., BETORET, N., CHIRALT, A. and FITO, P. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: Interactions with cellular matrix. Journal of Food Engineering, 56(2-3), 2003, p. 279-284.
- [10] HUNTER, R. Foundations of colloid science. Oxford (USA): Oxford University Press, 2001.
- [11] MOLINA, M. Estudio biofarmacéutico de una emulsión de vitamina a palmitato liofilizada.. Madrid (España): Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia, Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, 381, 1994.

- [12] LEWIS, M. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado. Zaragoza (España): Acribia, 1993, 514 p.
- [13] PITA, G. Funciones de la vitamina E en la nutrición humana. Revista Cubana de Alimentación y Nutrición, 11(1), 1997, p. 46-57.
- [14] FOHR, I., PRINZ, R., BRONSTRUP, A., BOHLMANN, A., NAU, H. and BERTHOLD, H. 5, 10-Methylenetetrahydrofolate reductase genotype determines the plasma Homocysteine-lowering effect of supplementation with 5-methyltetrahydrofolate or folic acid in healthy young woman. Journal of Clinical Nutrition 75(2), 2002, p. 275-282.
- [15] ZHANG, S., WILLET, W., SELHUB, J., HUNTER, D., GIOVANNUCCI, E., HOLMES, M., COLDITZ, G. and HANKINSON, S. Plasma Folate, Vitamin B₆ and B₁₂, Homocysteine and Risk of Breast Cancer. Journal of National Cancer Institute, 95, 2003, p. 373-380.
- [16] KRUMAN, I., KUMARAVEL, I., LOHANI, A., PEDERSEN, W., CUTLER, W., KRUMAN, Y., HAUGHEY, N., LEE, J. and EVANS, M. Folic Acid Deficiency and Homocysteine Impair DNA Repair Hippocampal Neurons and Sensitize them to Amyloid Toxicity in Experimental Models of Alzheimer Disease. Journal of Neuroscience, 22(5), 2002, p. 1752-1762.
- [17] HOLICK, M. Resurrection of vitamin D deficiency and rickets. Journal of Clinical Investigation, 116(8), 2006, p. 2062-2072.
- [18] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 288 de 2008. Bogotá (Colombia): 2008.
- [19] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). NTC 4580. Frutas frescas: Uchuva, Especificaciones. Bogotá (Colombia): 1999, 15 p.
- [20] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). Official methods of analysis, Maryland (USA): 2000.
- [21] LOOTENS, D., CAPEL, F., DURAND, D., NICOLAI, T., BOULENGUER, P. and LANGENDORFF, V. Influence of pH, Ca concentration, temperature and amidation on the gelation of low methoxyl pectin. Food Hydrocolloids, 17(3), 2003, p.237-244.
- [22] SALVATORI, D., ANDRÉ, S.A., CHIRALT, A. and FITO, P. Characterization of some properties of fruits related to Vacuum Impregnation. Journal of Food Process Engineering, 21, 1998, p. 59-73.
- [23] CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis de PhD]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [24] MARTÍNEZ, N., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. and FITO, P. Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento y Entorno. En mecanismo difusional en Alimentos. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, servicio de publicaciones, 1998.
- [25] GREGORY, J. and TOTH, J. Chemical synthesis of deuterated folate monoglutamate and in vivo assessment urinary excretion of deuterated folates in man. Analytical Biochemistry, 170, 1988, p. 94-104.
- [26] DENAVI, G.A., PÉREZ-MATEOS, M., AÑÓN, M.C., MONTERO, P., MAURI, A.N., and GÓMEZ-GUILLEN, M.C. Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. Food Hydrocolloids, 23(8), 2009, p. 2094-2101.
- [27] KAUFMAN, V. and GARTI, N. Spectral Absorption for Determination of ease of Formation and Stability of oil in water emulsions. Journal of Dispersion Science and Technology, 2(4), 1981, p. 475-490.
- [28] KIYOSHI, H., SHOJI, T. and TOSHIYUKI, A. Determination of Emulsion Stability by Spectral Absorption I: Relationship between Surfactant type, Concentration, and Stability index. Cosmetic and Toiletries, 93, 1978, p. 53-62.
- [29] ARCOT, J. and SHRESTHA, A. Folate: methods of analysis. Trends in Food Science & Technology, 16(6-7), 2005, p. 253-266.
- [30] KMOSTAK, S. and KURTZ, D. Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Premixes by Capillary Gas Chromatography. Journal AOAC International, 76(4), 1993, p. 735-741.
- [31] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). NTC 4807. Productos de frutas y verduras, determinación del contenido de cobre, método espectrométrico de absorción atómica de llama. Bogotá (Colombia):, 2000, 8 p.
- [32] ÁVILA, J.A, MORENO, P., FISCHER, G. y MIRANDA, D. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.) almacenada a 18°C. Acta Agronómica, 55(4), 2008, p. 29-38.
- [33] CASTAÑEDA, G. y PAREDES, R. Estudio del proceso respiratorio, principales ácidos orgánicos,

- azúcares y algunos cambios físico-químicos en el desarrollo del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) [Tesis]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2003.
- [34] LÓPEZ, E. y PÁEZ, G. Comportamiento fisiológico de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo condiciones de refrigeración y películas plásticas para su conservación y poscosecha. [Tesis] Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2002.
- [35] NOVOA, R., BOJACA, M. and GALVIS, J. Fruit maturity and calyx drying influence post-harvest behavior of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) stored at 12°C. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 2006, p. 77-86.
- [36] RODRÍGUEZ, M. Estudio de la conservación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) utilizando los métodos de atmósfera modificada, refrigeración y encerado.. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química, 123 p, 2003.
- [37] BOTERO, A. Aplicación de la ingeniería de matrices en el desarrollo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesada fortificada con calcio y vitaminas C y E [Tesis de MSc]. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica y Alimentos, 2008.
- [38] RESTREPO, A. Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E [Tesis de MSc]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [39] CHIRALT, A., MARTÍNEZ, N. and CAMACHO, M. Valencia (España): Laboratorio de Coloides en Alimentos, Servicio de Publicaciones de la UPV - SPUPV-98.4012, 1998.
- [40] MARÍN, Z. Viabilidad de desarrollo de productos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesados con características probióticas a partir de la ingeniería de matrices. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Agrícola, 2009.
- [41] MÁRQUEZ, C., TRILLOS, O., CARTAGENA, J. y CÓTES, J. Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Vitae*, 16(1), 2009, p. 42-48.
- [42] MORTON J. Fruits of warm climates. New York (USA): Creative Resource Systems, Inc., 1987.
- [43] FLOREZ, V., FISCHER, G. y SORA, A. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva [Tesis]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2000, 131 p.
- [44] REPO, R. y ENCINA, C. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista Sociedad Química del Perú*, 74(2), 2008, p. 108-124.
- [45] CAPEL, F.N., DURAND, D., BOULENGUER, P. and LANGENDORFF, V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 20, 2006, p. 901-907.