

DOI_10.18684/BSAA(14)27-36

IMPREGNACIÓN DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) DE FORMA SEMIESFÉRICA CON UNA EMULSIÓN FORTIFICANTE

SEMI-SPHERICAL SHAPE OF CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruviana* L.) IMPREGNATED WITH A FORTIFICATED EMULSION

IMPREGNAÇÃO DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) DE FORMA SEMI-ESFÉRICA COM EMULSÃO FORTIFICANTE

MISAEEL CORTÉS-RODRÍGUEZ¹, EDGAR ANTONIO HERRERA-HERRERA², JESÚS HUMBERTO GIL-GONZÁLEZ³

RESUMEN

*La fortificación de frutas con componentes activos (CA) mediante el proceso de impregnación a vacío (IV) es una alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales. En el presente estudio se evaluó el proceso IV en uchuva (*Physalis peruviana* L.) de forma semiesférica con emulsiones que contienen sacarosa o sucralosa, calcio y vitaminas (B9, D y E); y su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas del fruto. La respuesta a la IV se evaluó en términos de fracción y deformación volumétrica en la etapa de vacío ($X1$, $\gamma1$) y al final del proceso (X , γ), y de la porosidad efectiva (ϵ). La respuesta a la IV se afectó por el líquido de impregnación, siendo mejor con las emulsiones a base de sucralosa: $X = 24,90 \pm 0,97\%$, $X1 = -10,60 \pm 0,05\%$, $\gamma = 11,80 \pm 0,04\%$; $\gamma1 = 0,90 \pm 0,01\%$ y $\epsilon = 2,70 \pm 0,06\%$;*

Recibido para evaluación: 01 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril del 2015.

- 1 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.
- 2 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Grupo de investigación GAF. Magister en Ciencia y Tecnología 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

y los CA expresados como porcentaje del valor diario de referencia según la normativa colombiana, fueron: $16,4 \pm 3,3\%$, $12,1 \pm 1,2\%$, $104,0 \pm 2,8\%$ y $55,9 \pm 1,3\%$ para calcio y vitaminas B9, D y E, respectivamente. La ingeniería de matrices, utilizando la técnica IV y aplicada en uchuva afectó propiedades como actividad acuosa, humedad, sólidos solubles, color y textura, y representa una metodología efectiva para generar valor agregado y mayor competitividad en la cadena de uchuva.

ABSTRACT

*The fortification of fruits with active components (AC) by vacuum impregnation process (VI) is a current alternative in the development of functional foods (FF). This study evaluated: the process VI in cape gooseberries (*Physalis peruviana* L.) hemispherical shaped with emulsion containing sucrose or sucralose, calcium and vitamins (D, E and B9); and its influence on the physicochemical fruit properties. Response to VI in fraction terms and volumetric deformation, in the vacuum stage ($X1$, $\gamma1$) and at the end of the process (X , γ) and effective porosity ($\epsilon\epsilon$) were evaluated. The response to the VI was affected by the impregnation liquid, to be more favorable to emulsions composed of sucralose: were X : $24,90 \pm 0,97\%$, $X1$: $-10,60 \pm 0,05\%$, γ : $11,8 \pm 0,04\%$; $\gamma1$: $0,90 \pm 0,01\%$ and $\epsilon\epsilon$: $2,70 \pm 0,06\%$; and levels of AC as a percentage of daily reference value according to Colombian law were: $16,4 \pm 3,3\%$, $12,1 \pm 1,2\%$, $104,0 \pm 2,8\%$ and $55,9 \pm 1,3\%$ for calcium and vitamins B9, D and E, respectively. Matrix Engineering using the technique VI and implemented in cape gooseberry affects properties like water activity, moisture, soluble solids, color and texture, and is an effective methodology to generate added value and greater competitiveness in the chain of gooseberry.*

PALABRAS CLAVE:

Ingeniería de Matrices, Alimentos Funcionales, Impregnación al Vacío, Compuestos Activos.

KEYWORDS:

Matrix Engineering, Functional Foods, Vacuum Impregnation, Active Compounds.

PALAVRAS CHAVE:

Engenharia de Matrizes, Alimentos Funcionais, Impregnação a Vácuo, Compostos ativos.

RESUMO

*A fortificação de fruta com componentes ativos (CA) pelo processo de impregnação a vácuo (IV) é uma alternativa ao desenvolvimento de alimentos funcionais. O presente estudo avalia o processo IV na fruta uchuva (*Physalis peruviana* L.) que apresenta forma semi-esférica, em emulsões baseadas em soluções de sacarose e sucralose, e teores de cálcio e vitamina B9, D e E; e sua influência sobre as propriedades físico-químicas e físicas do fruto. A resposta para a IV foi avaliado em termos de fração e deformação volumétrica na fase de vácuo ($X1$, $\gamma1$) e no final do processo (X , γ), e da porosidade eficaz (ϵ). A resposta a IV é afetada pelo líquido de impregnação, sendo mais favorável com emulsões baseadas na solução de sucralose, onde os parâmetros foram: X : $24,90 \pm 0,97\%$, $X1$: $-10,60 \pm 0,05\%$, γ : $11,80 \pm 0,04\%$; $\gamma1$: $0,90 \pm 0,01\%$ e $\epsilon\epsilon$: $2,70 \pm 0,06\%$, e os níveis de CA expressados como porcentagem do valor diário de referência, de acordo com a lei colombiana foram: $16,4 \pm 3,3\%$, $12,1 \pm 1,2\%$, $104,0 \pm 2,8\%$ e $55,9 \pm 1,3\%$ de cálcio e de vitamina B9, D e E, respectivamente. A engenharia de matrizes, utilizando a técnica IV aplicada na uchuva afeta propriedades, atividade de água, humidade, sólidos solúveis, cor e textura, e representa uma metodologia eficaz para gerar valor acrescentado e enquadra-se no contexto de alimentos funcionais.*

INTRODUCCIÓN

Los alimentos funcionales (AF) son una gama de alimentos que presentan beneficios mayoritarios para la salud al contener, además de los nutrientes característicos, componentes activos (CA), los cuales han sido adicionados bajo técnicas especialmente desarrolladas [1]. La operación de adición de CA, como vitaminas, minerales, probióticos, prebióticos, antioxidantes y otros, se ha convertido en una práctica comercial [2], ayudando a disminuir el riesgo de padecer cierto tipo de enfermedades, como las cardiovasculares [3], osteoporosis y neurodegenerativas [4], así como la disminución del riesgo de contraer cáncer de próstata [5]; además, los CA favorecen a las mujeres en la etapa de la menopausia [6]; y compuestos como el calcio, el hierro, y las vitaminas (C, D, E y B9) presentes en los AF son indispensables para las mujeres durante la gestación, el desarrollo fetal, el crecimiento y desarrollo del lactante y del niño [7].

La ingeniería de matrices (IM) es una metodología de obtención de AF que utiliza los conocimientos sobre composición, estructura y propiedades de la matriz de un alimento para producir y controlar cambios que mejoren sus propiedades funcionales y/o sensoriales [8]. El proceso de impregnación a vacío (IV) es la técnica aplicada por la IM, descrita por Fito (1994) y Fito y Pastor (1994) [9], que promueve cambios composicionales en alimentos porosos y mejora propiedades físicas como el color y la textura; así como, permite la incorporación de CA [10, 11], generando un valor agregado en el producto final [12-15] a través de la acción del mecanismo hidrodinámico (MHD), como un proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-líquido. Aplicaciones de IV en alimentos [16-21] describen el MHD y el fenómeno de Deformación-Relajación (DRE) [9]. El acoplamiento MHD-DRE en la matriz del producto ha sido modelizado, reflejando cambios en el volumen del producto al final de las etapas a vacío y a presión atmosférica [22]. El modelo establece la relación entre la fracción volumétrica (X) de líquido incorporado a través del MDH, las deformaciones volumétricas de la estructura al final de la etapa a vacío y al final del proceso (γ_1 y γ , respectivamente), la porosidad eficaz (ϵ) del producto y la relación de compresión r ($r = P_{atm}/P_{vacío}$).

La uchuva, es un fruto autóctono de Colombia que se caracteriza por sus buenos contenidos de vitaminas A y C, fósforo, hierro, potasio y zinc, y en virtud de su contenido de vitamina A se le conoce como un fruto

carotenógeno [23]. Adicionalmente, ha sido utilizado exitosamente en la incorporación de vitamina E en el fruto entero [24].

El objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso IV sobre el fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) de forma semiesférica con una emulsión fortificante con vitaminas (B9, D, E) y calcio, y su influencia en la propiedades fisicoquímicas del fruto.

MÉTODO

Se utilizaron uchuvas (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia, con dos tamaños (tamaño 1: 3,00-3,49 g y tamaño 2: 3,50-4,00 g), de formas semiesféricas, con estado de madurez entre 3 y 5 [25] cultivadas en el Municipio de La Unión (Antioquia). Se utilizaron como ingredientes en la emulsión, proteína de soja, sacarosa, sucralosa y tensoactivos, CA de vitamina D₃ (Colecalciferol), vitamina E (DL- α -tocoferol acetato), vitamina B₉ y calcio todos de Shandong Huachen Biochem Co., Ltd. (China).

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos en muestras de uchuva fresca (UF) y uchuva impregnada (UI): actividad acuosa (aw) con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (AquaLAB Decagon serie 3TE, USA) según la Norma AOAC 978.18M [26]; sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro Leica Auto ABBE según la norma AOAC 932.12 [26]; densidad aparente (ρ_{apm}) se determinó a partir de la relación de la masa de la muestra y el volumen desplazado por la muestra en una probeta 50 mL; la densidad del líquido de impregnación (ρ_{LI}), se determinó por el método del picnómetro [27]; la acidez por titulación con NaOH 0,1 N, utilizando como indicador fenolftaleína según la norma AOAC 942.15 [26]; pH mediante medida potenciométrica (Schott CG840B, Alemania) y la humedad según la norma AOAC 7.003-84 [26].

El color de las muestras en las UF y UI, se determinaron en la película cérica del fruto, utilizando un espectrofotómetro (X-RITE modelo SP-64) con iluminante D65 y observador de 10°. A partir del espectro de reflexión de las muestras, se obtuvieron las coordenadas CIE L*a*b* [28], donde L* es un indicador de la luminosidad, a* es la cromaticidad verde (-) rojo (+) y b* es la cromaticidad azul (-) amarillo (+). Para las UF y las UI se utilizaron 3 lotes de 25 muestras/lote y 3 lecturas por muestra.

La textura de las muestras de UF y UI, se determinó a partir de ensayos mecánicos de punción, utilizando un analizador de textura (TA: XT2i, Stable Micro Systems, London, U.K), adaptándole una aguja de penetración ($\phi = 2$ mm) y con velocidad de 2 mm/s, hasta una distancia de penetración de 7 mm [24]. En todos los casos se registró la curva de fuerza (F) vs distancia (D) y se evaluó la fuerza máxima (Fmax) a la cual se rompe la película externa de la fruta. Para la caracterización de UF se utilizaron 3 lotes de 25 muestras/lote para un total de 75 lecturas, para la UI se realizaron 25 mediciones.

Para el proceso IV, las UF fueron pesadas, cortadas por mitades y sumergidas en un recipiente con el líquido de impregnación (LI). El sistema fue sometido a una presión de vacío de 4,18 KPa durante 5 min; posteriormente, se restableció la presión barométrica local (85,33 KPa) y se mantuvieron sumergidas por 5 min adicionales. Los parámetros de impregnación: fracción y deformación volumétrica en la etapa de vacío (X1 m3 LI/m3 UF, γ 1 m3/m3 UF) y al final del proceso (X m3 LI/m3 UF, γ m3/m3 UF), y la porosidad efectiva (ϵ) se determinaron de acuerdo al modelo matemático reportado por Fito et al., (1996) [22].

La emulsión de impregnación base se diseñó a partir de una solución acuosa de características isotónicas al fruto (SI) (solución de igual a_w que la UF), que contenía sacarosa y proteína de soja (E1). A partir de esta solución se determinó la X y la fracción másica de los CA en las UI (XCAIV) [29], tomando como base de cálculo que la adición de los CA alcanzaran un mínimo el 20% del valor diario recomendado (VDR) de calcio, ácido fólico y vitamina D, y el 50% VDR de vitamina E, de acuerdo a la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de Protección Social, Colombia [30]. A partir de X, XCAIV, ρ LI, ρ papm y de la composición del CA en el fruto fresco (XCA0), se determinaron las fracciones másicas de los CA (YCA) en E1, basados en una porción de 200 g de UF [29].

Una segunda emulsión (E2) se formuló reemplazando la sacarosa por sucralosa, con un aporte en masa al equivalente endulzante de la sacarosa en la E1 (poder endulzante de la sucralosa es 600 veces mayor que sacarosa), y se reevaluó la respuesta a la IV y las YCA en la E2. Los parámetros de IV se determinaron para SI, E1 y E2 con los tamaños de muestras 1 y 2, considerando 25 muestras/tamaño. Las emulsiones se prepararon en un homogenizador Ultra-Turrax UTL 50 INLINE Janke & Kunkel IKA-Labortechnik, Alemania a 10.000 rpm, du-

rante 10 min, utilizando un sistema de recirculación con camisa enchaquetada de enfriamiento.

Para la extracción de las vitaminas se tomó una alícuota de aproximadamente 7 g de pulpa de uchuva, obtenida por homogeneización en un equipo Ultraturrax (IKA® T25 digital, Alemania) a 10.000 rpm durante 5 min. Para la extracción de α -tocoferol acetato (vitamina E) y colecalfiferol (vitamina D) en UF y UI se utilizó el método descrito por Kmostak (1993) [31], y modificado por Cortes (2004) [29] para mejorar el rendimiento en la extracción. La extracción de la vitamina B9 se basó en la metodología propuesta por Arcot y Shrestha (2005) [32] y para la vitamina C se utilizó la metodología propuesta por Klimczak y Gliśczyńska, 2015 [33]. La cuantificación del ácido fólico y las vitaminas C, D y E se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, Shimadzu, Prominence 20A, Japon), provisto de un detector UV/VIS con arreglo de diodos, una columna C18 RP- 5 μ m 4,0 mm x 250 mm y un flujo de 1,0 mL/min. Para el ácido fólico se evaluó el extracto acuoso con una temperatura de horno de 35°C; se usó una fase móvil de buffer KH₂PO₄ (0,05 M, ajustado a pH = 3,0 con ácido ortofosfórico/ acetonitrilo (90/10) a una detección de 283 nm. La evaluación de las vitaminas D y E se realizó sobre el extracto oleoso con una fase móvil acetonitrilo:metanol (25:75), una temperatura de horno de 45°C y una detección de 264 nm para la vitamina D y 292 nm para vitamina E.

La cuantificación de los CA se realizó a partir de curvas de calibración; para vitamina E se utilizaron los estándares primarios DL- α tocoferol acetato (97,8%, Supelco) y DL- α tocoferol (99,6%, Supelco), diluidos en metanol con concentraciones de 0,02 – 1,60 mg/mL y de 0,0019 – 0,9966 mg/mL, respectivamente; para la vitamina D se utilizó el estándar colecalfiferol (99,9%, Supelco) diluido en metanol con concentraciones 0,02 – 0,8 μ g/mL; y el estándar de vitamina B9 (ácido fólico, 99,0%, Supelco) se diluyó en agua tipo III a concentraciones de 0,01-1,50 μ g/mL. Para la cuantificación de cada CA se realizaron 36 mediciones. El calcio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, basado en la NTC 5151 [34].

Los resultados fueron analizados a partir de ANOVA, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0,05$). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

RESULTADOS

Emulsión de impregnación

El diseño de las emulsiones de impregnación, se basó en una fase acuosa isotónica al fruto (SI) ($a_w = 0,985 \pm 0,002$), mediante la adición de sacarosa como depresor de la actividad de agua, generando un sabor agradable en el alimento, y para evitar la transferencia de masa de agua entre uchuva-solución. Con base en los parámetros de impregnación obtenidos mediante SI, se formuló la E1 con sacarosa. Esta emulsión (E1) presentó precipitación de las fuentes de calcio y la proteína, debido a interacciones entre los ingredientes de la composición y la competencia por el agua disponible en la disolución. El grado de hidrólisis, cambios en el pH y los niveles de fuentes de calcio en la formulación, alteran significativamente las propiedades funcionales de la proteína de soya en la emulsión. En la E2 con sucralosa, se observó un aumento significativo de la solubilidad de los componentes debido al incremento del agua disponible en la emulsión, lo que podría disminuir la viscosidad y afectar la cantidad de CA incorporada. El cuadro 1 presenta la composición de cada una de las emulsiones de impregnación empleadas.

Caracterización de la respuesta a la impregnación

El ANOVA no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) por efecto del tamaño de la fruta para la fracción volumétrica de impregnación (X), siendo uniforme los niveles de impregnación, indicando que el ingreso del líquido ocurre principalmente por el área de corte, debido a las características impermeables de la película cética [10]; y por lo tanto puede usarse una misma solución de impregnación para ambos tamaños de uchuva. Los valores de X

(%) para el tamaño 1 y 2 fueron de $12,57 \pm 1,66\%$ y $13,23 \pm 1,53\%$, respectivamente.

La E1 fue diseñada a partir del valor de X obtenido con la SI, mientras que los valores de X obtenidos para la E1, permitieron plantear una nueva emulsión fortificante a base de sucralosa (E2). El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para todos los parámetros de impregnación (X, γ , X1, ϵ y γ) para la SI con respecto a E1 y E2, debidas a la influencia de los CA en la emulsión de impregnación. En la E1 existe mayor proporción de CA, principalmente de las fuentes de calcio, las cuales interactúan con el agua disponible en la emulsión de impregnación lo que podría provocar un incremento de la caída de presión del líquido a la entrada del poro y limitando la transferencia de masa [35]. Con la E2 se obtiene un X mayor en comparación con la E1 y SI, debido a que existe menor interacción entre los ingredientes y el agua disponible en la disolución, permitiendo una mejor difusión e incorporación del líquido de impregnación a través de los poros de la superficie de corte de la uchuva, determinándose la E2 como emulsión final de impregnación (EF1). El cuadro 2 presenta los valores medios y la desviación estándar de los parámetros de impregnación para la SI, E1 y E2. Otros autores reportan valores inferiores de X (%) para uchuva entera con otro tipo de emulsiones, debido a que el ingreso de líquido de impregnación se da solo por el área del pedúnculo [8, 14, 36, 37].

En la E2 los valores positivos de γ indican que en ambos periodos la estructura experimenta una expansión y liberación del gas ocluido en los poros del fruto, produciéndose incrementos en el volumen de la muestra cuando el gas es liberado; esto ha sido observado en mango biofortificado con microorganismos probióticos [38]. Para las SI y E1 los valores negativos de γ representan una contracción asociada con la depresión de los gases presentes en la matriz tal como ha sido observado en la impregnación de la papa (Diacol capiro) y uchuva [8, 40]. Los resultados negativos de X1,

Cuadro 1. Composición de las emulsiones de impregnación, E1 y E2.

Componente	E1	E2
Vitamina D	3,279	1,319
Vitamina E		
Ácido fólico		
Fuentes de calcio		
Tensoactivos	0,100	0,100
Solución de sacarosa y fuente de soja	96,621	-----
Solución de sucralosa y fuente de soja	-----	98,581

Cuadro 2. Parámetros de impregnación para la SI, E1 y E2.

Parámetro IV	SI	E1	E2
X (%)	$12,9 \pm 1,5$	$9,4 \pm 0,8$	$24,9 \pm 1,0$
X1 (%)	$-9,8 \pm 0,1$	$-8,2 \pm 0,1$	$-10,6 \pm 0,1$
γ (%)	$-6,0 \pm 0,1$	$-0,6 \pm 0,1$	$11,8 \pm 0,1$
γ 1 (%)	$-0,4 \pm 0,1$	$-1,4 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,1$
(ϵ)	$10,0 \pm 0,1$	$3,0 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,1$

indican una salida de líquido nativo del interior del fruto de uchuva durante la etapa de vacío, principalmente en la E2. Este fenómeno igualmente está relacionado con el acoplamiento del MHD que genera cambios en la célula vegetal y liberación de líquido nativo. Los valores positivos de ε indican la disponibilidad de los espacios intercelulares para la incorporación de los CA. Algunos investigadores han reportado resultados similares: uchuvas [8], plátano [12], mango [38], papa [39], entre otros. Esta situación permite concluir que existen factores combinados, que están incidiendo en la respuesta a la IV de la uchuva semiesférica, sumado a posibles cambios en otras propiedades en la fase acuosa que podrían estar ocurriendo, como la densidad, la viscosidad y el potencial químico de la emulsión de impregnación (debido a la presencia de la proteína, CA y tensoactivos); y de esta forma, contribuyen a una mayor caída de presión para su ingreso al interior del fruto.

Caracterización fisicoquímica

El cuadro 3 presenta los valores medios y la desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos a_w , °Brix, humedad, pH, y acidez de las uchuvas frescas para UF y UI con E1 (UIE1) y E2 (UIE2). Resultados similares han sido obtenidos por otros investigadores para la caracterización de la uchuva fresca procedente de la misma región [8, 14, 24, 36]. El ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) por efectos del proceso de IV respecto a la a_w , °Brix, humedad y acidez. El incremento de la a_w y de humedad en la UIE1 y UIE2 se puede atribuir a la incorporación de la E1 y E2, presentándose aumentos superiores en la UIE2, la cual posee el valor más alto de fracción volumétrica de impregnación alcanzado por efecto de una mayor incorporación del líquido de impregnación en los poros de la fruta. La disminución de la acidez y los °Brix se puede presentar debido a que los poros de la superficie de corte tienen mayor área disponible para que se genere una pérdida del líquido nativo de la uchuva, los cuales pueden aportar sólidos solubles.

Color

La Figura 1 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de color: L^* , a^* y b^* de la UF y las UI con la emulsión de impregnación a base de sacarosa (UIE1) y la emulsión fortificante a base de sucralosa (UIE2). Los valores de a^* y b^* para la UF denotan un producto con cromaticidades amarillas y rojizas, aportados por los pigmentos carotenoides originales del fruto [40]. Valores similares han sido reportados por Restrepo (2009) [24]. El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en todos los parámetros de color con respecto al tipo de uchuva, lo cual se atribuye a que el proceso de IV confiere el llenado de los espacios intercelulares de las UF con el líquido de impregnación que contiene los CFA, produciendo un cambio en las propiedades ópticas en la zona superficial del fruto, que potencian la absorción de la luz y hacen que las muestras impregnadas se vean más oscuras ($< L^*$) [8, 24, 36]. Por otro lado, los valores de las cromaticidades a^* y b^* en las muestras impregnadas fueron menos rojizas y menos amarillas que las UF, lo cual podría atribuirse a un fenómeno de dilución de los pigmentos rojos y amarillos durante el proceso IV, sumado a la disminución de las tonalidades amarilla y roja por efecto e coloración de la emulsión de impregnación. Un comportamiento similar ha sido reportado para uchuvas enteras, [24].

En las UI el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) solo en la cromaticidad a^* , por efecto del tipo de emulsión. Los valores de los parámetros de color fueron L^* : $47,85 \pm 5,27$ y $46,73 \pm 2,38$, a^* : $13,72 \pm 2,12$ y $15,10 \pm 1,81$, b^* : $37,28 \pm 4,70$ y $34,13 \pm 1,54$ para las E1 y E2, respectivamente.

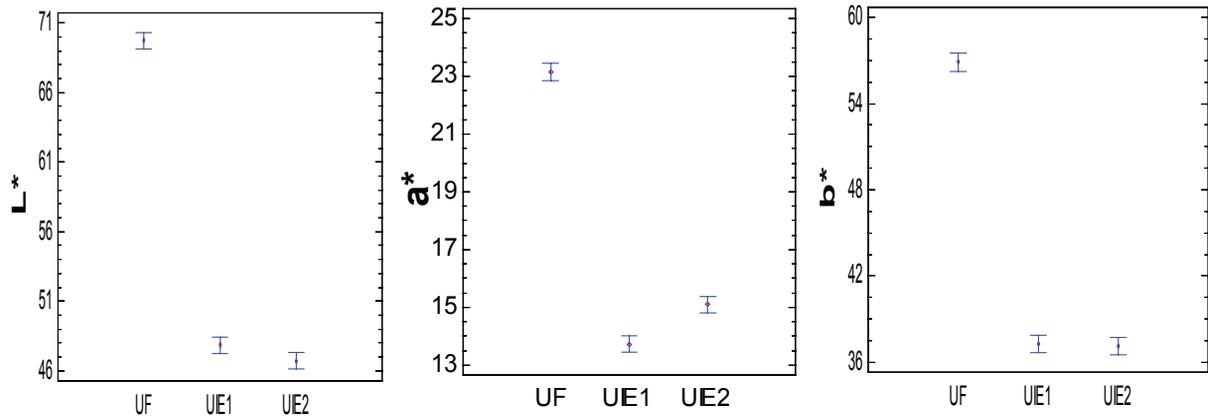
Textura

La figura 2 presenta una curva típica de fuerza vs distancia, obtenida para las muestras de UF. Posteriormente, se presenta una zona donde la fuerza es prácticamente constante, que corresponde a la resistencia de la pulpa a la deformación (F_{pulpa}). El ANOVA

Cuadro 3. Valores promedio de las propiedades fisicoquímicas de las UF, UIE1 y UIE2.

Uchuva	a_w	°Brix	Humedad (%)	pH	Acidez (%)
UF	$0,985 \pm 0,002$	$14,7 \pm 0,6$	$80,50 \pm 1,03$	$3,50 \pm 0,01$	$2,60 \pm 0,36$
UIE1	$0,988 \pm 0,008$	$12,6 \pm 0,8$	$81,96 \pm 1,22$	$3,55 \pm 0,04$	$1,88 \pm 0,42$
UIE2	$0,989 \pm 0,006$	$12,4 \pm 0,3$	$82,01 \pm 1,42$	$3,58 \pm 0,06$	$1,75 \pm 0,25$

Figura 1. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros: de color: L*, a* y b* en función del tratamiento de impregnación.



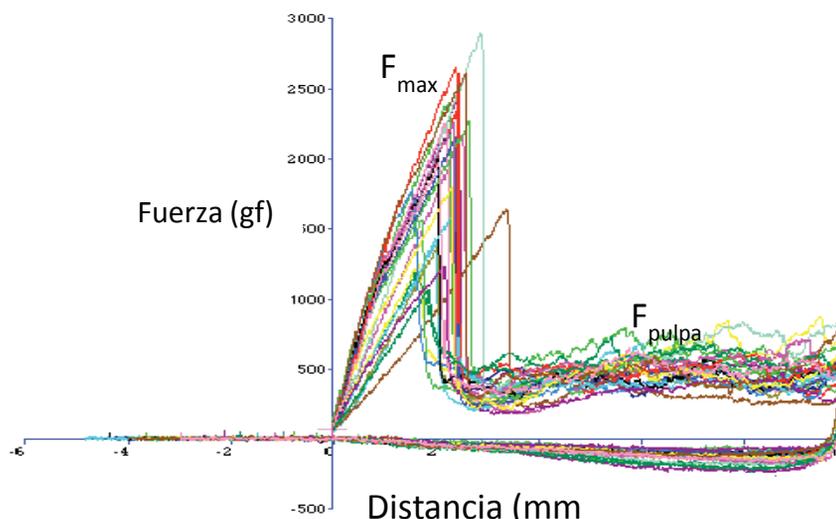
presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en F_{max} para la UF y la UIE2. Los valores medios y desviaciones estándar para la F_{max} de la UF y la UIE2 fueron de $2279,3 \pm 496,4$ y $1827,53 \pm 328,69$ gf, respectivamente, indicando que hay una disminución en la resistencia de la película cerosa. La actuación acoplada del MHD y DRE, está afectada por la microestructura y las propiedades mecánicas del sólido, así como por la viscosidad de la solución externa incorporada [9, 12].

Cuantificación de los CFA

Debido a las características impermeables de la película cerosa, el ingreso del líquido de impregnación ocurre principalmente por el área de corte [4], alcanzando

en la UIE2 niveles de %VDR de CFA de $16,4 \pm 3,3\%$, $12,1 \pm 1,2\%$, $104,0 \pm 2,8\%$ y $55,9 \pm 1,3\%$ VDR para el calcio y las vitaminas B9, D y E, respectivamente, catalogándose el producto, de acuerdo a la Resolución 333 de 2011, como “*excelente fuente de vitaminas D y E*” y “*buena fuente de vitamina B9 y calcio*” por cada 248 g de UI [36]. Por otro lado, el contenido de vitamina C de su fuente original alcanzó valores de $15,08 \pm 1,70$ %VDR, lo cual la define con el descriptor “*buena fuente de vitamina C*”. El valor inferior al 20% del VDR de la vitamina B9 y calcio, podría deberse a que la solubilidad de la vitamina es limitada en medios ácidos o interacciones con otros componentes, mientras que la fuente de calcio utilizada tiene poca solubilidad debido a su estructura química. Para el caso de la vitamina D

Figura 2. Curva típica fuerza–distancia en uchuvas frescas.



y E se obtuvieron %VDR superiores a los fijados según el criterio de fortificación. Resultados similares han sido reportados para uchuvas enteras [24].

CONCLUSIONES

La IV es una metodología efectiva para el desarrollo de AF, que permite la incorporación de líquidos de impregnación con CA al interior de la UF, generando un valor agregado que podría contribuir a la prevención de enfermedades en los consumidores. La respuesta a la IV en uchuvas semiesféricas está afectada por factores combinados como el líquido de impregnación (composición, viscosidad, densidad) y por la microestructura compleja del fruto, que identifica una película cerosa impermeable y un área de corte muy asequible a la impregnación. El proceso de IV influye sobre las propiedades fisicoquímicas (aw, °Brix, humedad), los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) y la Fmax de las UI de forma semiesféricas. Los niveles de impregnación alcanzados con la E2, fueron los mayores en uchuva semiesférica, X: $24,90 \pm 0,97\%$, X1: $-10,60 \pm 0,05\%$, γ : $11,80 \pm 0,04\%$; γ_1 : $0,90 \pm 0,01\%$ y ϵ : $2,70 \pm 0,06\%$, lo cual denota una salida de líquido nativo del interior del fruto, una deformación volumétrica por efecto del proceso y poca porosidad disponible al proceso IV. Los niveles de %VDR de CA alcanzados fueron de $16,4 \pm 3,3\%$, $12,1 \pm 1,2\%$, $104,0 \pm 2,8\%$, $55,9 \pm 1,3\%$ para el calcio y las vitaminas B9, D y E, respectivamente, por cada 200 g UF (correspondientes a 248 g de UI), catalogándose el producto como “*excelente fuente vitaminas D y E*” y “*buena fuente de vitamina B9 y calcio*” de acuerdo a la Resolución 333 de 2011.

REFERENCIAS

- [1] SHIN, G.H., KIM, J.T. and PARK, H.J. Recent developments in nanoformulations of lipophilic functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, p. 1–14.
- [2] MC CLEMENTS, D.J. Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: Potential and limitations of colloidal delivery systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 219, 2015, p. 27–53.
- [3] ASSMANN, G., BUONO, P., DANIELE, A. and DELLA-VALLEE, E. Functional foods and cardiometabolic diseases: International Task Force for Prevention of Cardiometabolic Diseases. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 24(12), 2014, p. 1272–1300.
- [4] PANG, G., XIE, J., CHEN, Q. and HU, Z. How functional foods play critical roles in human health. *Food Science and Human Wellness*, 1(1), 2012, p. 26–60.
- [5] MOHAMED, S. Functional foods against metabolic syndrome (obesity, diabetes, hypertension and dyslipidemia) and cardiovascular disease. *Trends in Food Science & Technology*, 35(2), 2014, p. 114–128.
- [6] BORRELLI, F. and ERNST, E. Alternative and complementary therapies for the menopause. *Maturitas*, 66(4), 2010, p. 333–343.
- [7] MENON, K.C., FERGUSON, E.L., THOMSON, Ch.D., GRAY, A.R., ZODPEY, S., SARAF, A., KUMAR, P., PANDAV, Ch.S. and SKEAFF, S.A. Iron status of pregnant Indian women from an area of active iron supplementation. *Nutrition*, 30(1), 2014, p. 291–296.
- [8] PEÑA, P., CORTÉS, M. y GIL, J.H. Uchuva mínimamente procesada impregnada al vacío con calcio y vitaminas B9, D y E. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 2015, p. 110-119.
- [9] FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 1994, p. 313-328.
- [10] HERRERA, E., CORTÉS, M. and RODRÍGUEZ, E. Experimental optimization of the freeze dry process of cape gooseberry added with active compounds by vacuum impregnation. *Vitae*, 22(1), 2015, p. 47-56.
- [11] GARZÓN, D., CASTELLANOS, F. y CORTÉS, M., Impregnación al vacío de Rodajas de plátano (Dominico Hartón) con calcio y vitamina D. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(2), 2014, p. S714 - S716.
- [12] DÁVILA, R.M., CORTÉS, M. and GIL, J.H. Impregnation Solution Influence on the Pulp Color of Plantains (*Musa paradisiaca*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 66(1), 2013, p. 6949 – 6958.
- [13] ANDRES-BELLO, A., DE JESÚS, C., GARCÍA-SEGOVIA, P., PAGAN-MORENO, M.J. and MARTÍNEZ-MONZO, J. Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*). *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 2015, p. 758-765.
- [14] PEÑA, R.F., CORTÉS, M. y GIL, J.H. Estabilidad fisicoquímica y funcional de uchuva (*Physalis*

- peruviana* L.) impregnada al vacío con calcio y vitaminas B9, D y E, durante el almacenamiento. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 66(1), 2013, p.6929 – 6938.
- [15] MANJARRES, K., CORTÉS, M. and RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E. Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 30(3), 2013, p. 667 – 676.
- [16] OCCHINO, E., HERNANDO, I., LLORCA, E., NERI, L. and PITTIA, P. Effect of Vacuum Impregnation Treatments to Improve Quality and Texture of Zucchini (*Cucurbita Pepo*, L). Procedia Food Science, 1, 2011, p. 829–835.
- [17] HIRONAKA, E.K., ODA, Y. and KOAZE, H. Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. LWT - Food Science and Technology, 59(1), 2014, p. 504–509.
- [18] SCHULZE, B., HUBBERMANN, E.M. and SCHWARZ, K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. LWT - Food Science and Technology, 57(1), 2014, p. 426–433.
- [19] BETORET, E., BETORET, N., ROCCULI, P. and ROSA, M.D. Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. Trends in Food Science & Technology, 46(1), 2015, p. 1-12.
- [20] PANARESE, V., DEJMEK, P., ROCCULI, P. and GALLINDO, F. Microscopic studies providing insight into the mechanisms of mass transfer in vacuum impregnation. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 18, 2013, p. 169–176.
- [21] SCHULZE, B., PETH, S., HUBBERMANN, E.M. and SCHWARZ, K. The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. Journal of Food Engineering, 109(3), 2012, p. 380–387.
- [22] 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.
- [23] PUENTE, L.A., CORTÉS, M., PINTO-MUÑOZ, C.A. and CASTRO, E. *Physalis peruviana* Linnaeus, The Multiple Properties of a Highly functional fruit: A review. Food Research International, 44(7), 2011, p. 1733-1740.
- [24] RESTREPO, A.M., CORTÉS, M. and MARQUÉS, C.J. Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. Vitae, 16(1), 2009, p. 19-30.
- [25] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones, Bogotá (Colombia): 2004, 3 p.
- [26] ASSOCIATION OF ANALYTICAL COMMUNITIES (AOAC). Official methods of analysis of AOAC international, Basic calculations for chemical and biological analyses. 16 th ed. Gaithersburg (USA): AOAC International, M.D, 1996.
- [27] OCHOA, A., MARIN, J., RIVERO, D. y AGUILERA, E.M. Caracterización física, físico-química y química de extractos totales de hojas frescas de *Petiveria alliacea* L. con acción antimicrobiana. Revista Mexicana Ciencias Farmacéuticas, 44(1), 2013, p.52-59.
- [28] OCHOA, A., MARIN, J., RIVERO, D. y AGUILERA, E.M. Caracterización física, físico-química y química de extractos totales de hojas frescas de *Petiveria alliacea* L. con acción antimicrobiana. Revista Mexicana Ciencias Farmaceuticas, 44(1), 2013, p.52-59.
- [29] CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E [Tesis de doctorado en ingeniería]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, 2004, 256 p.
- [30] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 333 de 2011. Bogotá (Colombia): Diario Oficial No. 46.894, 2011, 56 p.
- [31] KMOSTAK, S. and KURTZ, D. Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Premixes by Capillary Gas Chromatography. Journal of AOAC International, 76(4), 1993, p. 735-741.
- [32] ARCOT, J. and SHRESTHA, A. Folate: methods of analysis. Trends Food Science and Technology, 16(6-7), 2005, p. 253-266.
- [33] KLIMCZAK, I. and GLISZCZYNSKA, A. Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. Food Chemistry, 175(1), 2015, p. 100–105.
- [34] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 5151 Alimentos para animales. Determinación de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectro-

- metría de absorción atómica, Bogotá (Colombia): 2003, 2 p.
- [35] OSTOS, S.L., DÍAZ, A.C. y SUAREZ, H. Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (*Tommy atkins*) con calcio mediante impregnación a vacío. Revista Chilena de Nutrición, 39(2), 2012, p. 181-190.
- [36] PEÑA, R.F., CORTÉS, M. and MONTOYA, O.I. Evaluation of the physicochemical, physical and sensory properties of fresh cape gooseberry and vacuum impregnated with physiologically active components. Vitae, 20(1), 2013, p.13-22.
- [37] CORTÉS M. Ingeniería de matrices: una herramienta efectiva para la generación de valor agregado en alimentos porosos. Vitae, 19(2), 2012, p. S39 – S40.
- [38] MORANTES, P. Proceso de obtención de mango biofortificado con microorganismos probióticos mediante la técnica de impregnación a vacío [Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2015, 80 p.
- [39] HERNÁNDEZ, D.Y. Evaluación tecnológica de snacks de papa (*Solanum tuberosum* L.) obtenidos mediante la aplicación combinada ingeniería de matrices y fritura al vacío [Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2015, 66 p.
- [40] VÁSQUEZ-PARRA, J.E., OCHOA-MARTÍNEZ, C.I. and BUSTOS-PARRA, M. Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*). Journal of Food Engineering, 119(3), 2013, p. 648–654.