

UCHUVAS (*Physalis peruviana* L.) MÍNIMAMENTE PROCESADAS FORTIFICADAS CON VITAMINA E

CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruviana* L.) MINIMALLY PROCESSED FORTIFIED WITH VITAMIN E

Ana María RESTREPO ^{1*}, Misael CORTÉS R.¹, Carlos Julio MÁRQUEZ¹.

Recibido: Julio 30 de 2008 Aceptado: Noviembre 18 de 2008

RESUMEN

Los consumidores modernos están interesados en comer más sano, con el objetivo de garantizar un envejecimiento en forma saludable. Las frutas fortificadas son una alternativa novedosa con gran expectativa desde la investigación para su logro a nivel industrial. El presente estudio evalúa el tiempo de vida útil de uchuva (*Physalis peruviana* L.) fortificada con vitamina E utilizando la técnica de impregnación al vacío (IV), en función del color, textura y estabilidad de la vitamina E a diferentes condiciones de almacenamiento. Los componentes con actividad de vitamina E se cuantifican por HPLC y los niveles en el fruto se reportan con base en 100 g de uchuva fresca. La respuesta a la IV está afectada por el área y la distribución de los poros del ápice, lo que contribuye a obtener niveles de fortificación en el producto final superiores a los criterios fijados (100% de la Recomendación Diaria de Consumo-RDC en Colombia) a $159,8 \pm 38,0\%$ RDC $\cong 35,15 \pm 8,35$ mg dl- α -tocoferol acetato con un tiempo de vida útil de 15 días. El proceso IV y el empacado al vacío fueron significativos en el color (más oscuras) y en la textura (más blandas).

Palabras claves: alimentos funcionales, uchuva, impregnación al vacío, vitamina E.

ABSTRACT

Modern consumers are interested in healthy food to ensure healthy ageing, with the aim of ensuring a healthy ageing. Research expects industry level achievement for fortified fruit as an alternative. This study assesses the useful life time cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fortified with vitamin E using the technique of vacuum impregnation (IV), depending on the colour, texture and stability of vitamin E at different storage conditions. The active components of vitamin E are quantified by HPLC and levels in the fruit are reported based on 100 grams fresh capegooseberry. The answer to the IV is affected by the area and the distribution of the pores of the apex, which contributed to obtain levels of fortification in the final product exceeding the criteria set (100% of the Consumer Daily Recommendation (RDC) Colombia): $159,8 \pm 38,0\%$ RDC $\cong 35,15 \pm 8,35$ mg dl- α -tocopherol acetate with a time of useful life of 15 days. The process IV and vacuum packaging were significant in color (darker) and the texture (more soft).

Keywords: Functional foods, capegoosberry, vacuum impregnation, vitamin E.

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, A.A. 568. Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: amrestr0@unalmed.edu.co

INTRODUCCIÓN

El interés del consumidor en la relación entre la dieta y la salud ha aumentado, por la evidencia cada vez más fuerte de que los alimentos que contienen componentes fisiológicamente activos (CFA) cumplen, al igual que los nutrientes esenciales, una función benéfica que contribuye a reducir la incidencia de ciertas enfermedades crónicas. La actitud del consumidor hacia la salud ha sido fundamental para determinar la aceptación de los alimentos funcionales (1, 2, 3). Un alimento funcional es cualquier alimento natural, transformado o ingrediente alimentario al cual se le ha incorporado, aumentado, sustituido o eliminado, algún(os) componente(s) que lo hace recomendable para la salud tanto física como mental del individuo y contribuye a la prevención de ciertas enfermedades (4, 5).

Ha sido ampliamente demostrado como el consumo de dietas ricas en frutas y hortalizas es importante para alcanzar y mantener un buen estado de salud (6, 7, 8). Dichos alimentos proporcionan una mezcla óptima de CFA y por esta razón su consumo está relacionado con la reducción en el riesgo de varias enfermedades crónicas, enfermedades coronarias y algunos tipos de cáncer (9, 10, 11).

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) pertenece a la familia de las Solanáceas. Es un fruto autóctono colombiano que se caracteriza por su buen contenido de vitaminas A y C, fósforo, hierro, potasio y zinc (12, 13, 14); la uchuva es una baya redonda y pequeña cuyo peso varía entre 4 y 10 g, se encuentra dentro de un capacho que la cubre completamente y la protege del entorno durante la etapa de poscosecha (15). El cultivo de la uchuva es originario de los Andes Suramericanos, donde crece silvestre y semisilvestre en las zonas tropicales y subtropicales con altitudes entre los 1500-3000 m.s.n.m (16). Se le han atribuido muchas propiedades medicinales tales como antiasmático, diurético, antiséptico, sedante, analgésico, fortifica el nervio óptico, dermatitis, hepatitis y reumatismo, elimina parásitos intestinales y amebas; además se informa sobre sus propiedades anti diabéticas (17, 18, 19, 20).

La vitamina E es liposoluble y evidencias científicas avalan su gran capacidad antioxidante y su gran uso en la industria alimentaria, ya que logra impedir o retardar la oxidación de diversas sustancias, principalmente los ácidos grasos, cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano, donde pueden provocar alte-

raciones fisiológicas importantes, desencadenantes de diversas enfermedades. Además, facilita el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno y formando complejos que mitigan las reacciones productoras de radicales libres y, por consiguiente, desempeña una función fundamental en la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles (21, 22). Existe evidencia científica de que la vitamina E puede ayudar a prevenir ciertas formas de cáncer (23, 24), preeclampsia (25), mal de Alzheimer (26), artritis reumatoidea (27), cataratas (28) e infertilidad (29).

La ingeniería de matrices es una metodología de obtención de alimentos funcionales, además es una herramienta de la ingeniería de alimentos que utiliza los conocimientos sobre composición, estructura y propiedades de la matriz estructural de un alimento para producir y controlar cambios que mejoren sus propiedades funcionales y/o sensoriales (30). La técnica ha sido descrita a través de la acción del mecanismo hidrodinámico (HDM), como un proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-líquido (31, 32). El sistema, durante la acción del HDM, experimenta cambios estructurales ocasionados por los cambios de presión, lo que indica que, conjuntamente, se pueden presentar fenómenos de Deformación-Relajación (DRP) en la matriz sólida del sistema. La técnica IV promueve cambios composicionales muy rápidos en frutas y vegetales por adición a la solución de impregnación de componentes que aseguran una mejor estabilidad del producto -disminución del pH y a_w , incorporación de agentes antimicrobianos o antiparásitos (30, 33, 34) o mejora de algunos atributos de calidad: sabor global del producto, fortificación con nutrientes específicos, entre otros (35, 36). El acoplamiento HDM-DRP en la matriz del producto ha sido modelizado, reflejando cambios en el volumen del producto al final de las etapas al vacío y a presión atmosférica (37). El modelo establece la relación entre la fracción volumétrica de líquido incorporado a través del mecanismo hidrodinámico (X), las deformaciones volumétricas de la estructura al final de la etapa al vacío y al final del proceso (γ_1 y γ_2 , respectivamente), la porosidad eficaz (ϵ) del producto y la relación de compresión r , ($r = P_{atm} / P_{vacío}$). La actuación acoplada del HDM y DRP, está muy afectada por la microestructura y las propiedades mecánicas del sólido, así como por la viscosidad de la solución externa (30, 37).

Teniendo en cuenta las nuevas metodologías de obtención de alimentos funcionales y el panorama de posibilidades de aprovechamiento de la uchuva en la elaboración de productos industrializables a nivel nacional e internacional, tales como los alimentos mínimamente procesados con características funcionales, se plantea el objetivo de este trabajo como es el de desarrollar un producto de uchuva mínimamente procesada, fortificada con vitamina E, utilizando la ingeniería de matrices.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizaron uchuvas enteras de la variedad ecotipo Colombia, cultivadas en el municipio de la Unión (Antioquia), con un peso entre 6.0-7.0 g, seleccionadas con un grado de madurez de 4 según especificaciones de color (Norma Técnica Colombiana: NTC 4580) (38) y diámetro promedio en la zona ecuatorial de aproximadamente 2.4 cm. Como componente fortificante con actividad de vitamina E, se utilizó acetato de dl- α -tocoferol con una pureza 96,9%, el cual fue emulsificado en una fase acuosa de disolución isotónica de sacarosa con 20°Brix (igual actividad de agua (a_w) que la uchuva). Se utilizaron dos tensoactivos no iónicos: Tween 80[®] (Polioxi-etilen Sorbitan Monooleato, BHL=15) y Span 60[®] (Monoestearato de sorbitano, BHL=4,7) y además cloruro de sodio como estabilizante de las fuerzas electrostáticas de la emulsión (39). Lotes de 500g de emulsión fueron preparados en un homogenizador ultra-Turrax Tipo 45 S5 (Ultraturrax - Janke & Kunkel IKA- Labor-technik), las condiciones de emulsificación fueron 10000 rpm, durante 20 minutos, utilizando un recipiente de vidrio con baño de enfriamiento. La concentración teórica del dl- α tocoferol acetato en la emulsión se determinó a partir de un balance de materia, con el propósito de fortificar con el 100% de la Recomendación Diaria de Consumo (RDC) de vitamina E según la norma colombiana (10 mg α -tocoferol o 22 mg dl- α -tocoferol acetato) (40) en 100 g de uchuva fresca.

Caracterización fisicoquímica

A las muestras frescas e impregnadas se les realizaron pruebas de acidez por titulación con NaOH 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador (Norma Técnica Colombiana: NTC 4103); el contenido de humedad se determinó según la

norma oficial 7003 (41), el pH con un potenciómetro Schott CG840B, la a_w con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3TE), los sólidos solubles se midieron a partir de los índices de refracción en un refractómetro Leica auto ABBE (escala de 0-32 %) a 20 °C, la densidad aparente de las uchuvas (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, y la densidad del líquido de impregnación se determinó por el método del picnómetro a 20°C, método oficial 945.06 (AOAC, 1990) (42). La valoración de las propiedades fisicoquímicas se hizo a partir de 3 lotes, de 6 muestras/lote, para un total de 18 lecturas.

El color se determinó utilizando el espectrocolorímetro X-RITE, modelo SP60, el iluminante D65 y el observador de 10° como referencia; las medidas se realizaron con un componente especular incluido. A partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIE-L*a*b, donde L* es un indicador de la luminosidad, a* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)). La textura se determinó a partir de ensayos mecánicos de punción en uchuvas enteras, utilizando un analizador de textura TA.XT2, de la firma Stable Micro Systems (SMS), el software Texture Expert Exceed, versión 2,64 y una sonda metálica de 5 mm de diámetro, a una velocidad de penetración de 2 mm/s hasta una distancia de penetración de 10 mm. En todos los casos se registró la curva de fuerza (F) - distancia (D) y su pendiente inicial (ϵ^*). El color y la textura se evaluaron durante el almacenamiento para cada condición con un total de 10 muestras. En el caso del color se tomaron 3 lecturas/muestra realizadas a 120° en la zona ecuatorial de la uchuva.

Caracterización microestructural

El análisis estructural se realizó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) marca JEOL JSM 5950 LV, a 25 Pa de vacío y 15 kv de corriente eléctrica, previo tratamiento de las muestras, haciendo cortes apropiados e inmersión durante 30 segundos en N₂ líquido.

Estabilidad de la emulsión de impregnación

La estabilidad de la emulsión de impregnación se fundamentó en las propiedades de dispersión de la luz que está relacionada con el tamaño promedio de las gotas. Se utilizó el criterio de índice de estabilidad (R), a partir de medidas de absorbancia

(A) a dos longitudes de onda: 800 y 400 nm ($R = A_{800}/A_{400}$) (43). Las medidas se realizaron en un espectrofotómetro Thermospectonic Genesys 10UV. La muestra de emulsión recién preparada se diluyó en agua destilada en la proporción 99:1 (agua: emulsión) y se agitó durante 15 minutos manualmente antes de la medida espectrofotométrica. La evaluación de la estabilidad de la emulsión se realizó durante 4 días de almacenamiento.

Proceso de impregnación

Los ensayos de IV se llevaron a cabo en un sistema conformado por cámara de impregnación en vidrio, acoplada a través de mangueras sanitarias a un eyector, el cual proporcionó un vacío de 8,4" Hg (presión barométrica = 25,4" Hg). Se registró la masa al inicio y al final del proceso. Las uchuvas se sumergieron en una disolución isotónica de sacarosa de 20 °Brix (D.S20°Brix) (a_w D.S20°Brix = a_w de la fruta) y fueron sometidas en una primera etapa a vacío durante 10 minutos en la cámara de impregnación; posteriormente, en la segunda etapa, se restableció la presión atmosférica por 5 minutos. A cada muestra impregnada se le determinaron los parámetros de impregnación: fracción volumétrica de impregnación, X ($m^3_{emulsión}/m^3_{uchuva fresca}$); fracción másica de impregnación, X_{HDM} ($kg_{emulsión}/kg_{uchuva impregnada}$) y porosidad efectiva a la IV, ϵ ($m^3_{gas}/m^3_{uchuva fresca}$) ($\epsilon = X r / (r-1)$), donde $r = P_{atm}/P_{vacío}$. La valoración de X y X_{HDM} se determinó a partir de las masas antes y después de la impregnación (4); además, se consideró que en el proceso de IV la deformación en las etapas a presión de vacío y atmosférica son despreciables (32).

La composición de la emulsión de impregnación se determinó en el sistema de impregnación bajo las siguientes consideraciones: Los niveles de vitamina E en la uchuva fresca son despreciables, no existe degradación de la vitamina E durante el proceso de IV debido a las condiciones y tiempos de proceso, la masa del sistema uchuva - disolución no cambia durante el proceso IV, y la composición de la vitamina E en la disolución de impregnación y sus características fisicoquímicas se mantienen constantes. Las ecuaciones 1 y 2, resultado del balance de materia, permiten determinar la fracción másica de la vitamina E en la emulsión de impregnación ($Y_{Vit.E}$) ($g_{Vit.E}/g_{emulsión}$) y la fracción másica de la vitamina E en la uchuva impregnada, $x_{Vit.E}^V$ ($g_{Vit.E}/g_{uchuva impregnada}$) (4).

$$Y_{Vit.E} = \frac{x_{Vit.E}^V (\rho_{apm} + X\rho_{emulsión})}{X\rho_{emulsión}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$x_{Vit.E}^V = \frac{100\% \text{ RDC}}{(100 + 100X \frac{\tilde{n}_{emulsión}}{\tilde{n}_{apm}})} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Almacenamiento

Las muestras fortificadas fueron almacenadas a una temperatura de 4°C y envasadas en bolsas plásticas con multicapa de poliamida-polietileno marca ALICO, con barrera al vapor de agua (<15g/m²/24h/atm, T=38 °C), O₂ (60 cc/m²/24h/atm, 23°C), N₂ y CO₂. El envasado se efectuó en condiciones atmosféricas (SV) y con aplicación de vacío (CV). Se evaluó la evolución de la estabilidad de las muestras en cuanto a la degradación del dl- α -tocoferol acetato y los cambios de color y textura. El contenido de dl- α -tocoferol acetato fue evaluado en la uchuva fresca y en la uchuva impregnada a tiempos de almacenamientos de 0 y 15 días; los atributos color y textura en tiempos de almacenamiento de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días.

Extracción y cuantificación de CFA

El proceso de extracción fue descrito por Cortés, 2004 (4) y es una modificación del método descrito por Kmostak y Kurtz, 1993 (44), que incluye procedimiento de ultrasonido. La cuantificación de la vitamina E en las muestras frescas y fortificadas se determinó en un HPLC Agilent 1100. Condiciones de operación: columna Synergi 4 μ m Hydro-RP 80 (código 00G-4375-E0), dimensiones 250 x 4,6 mm ID., fase móvil (acetonitrilo/metanol: 75/25), velocidad de flujo 2mL/min, método: isocrático, temperatura: ambiente (25°C), detector: UV- visible a 280 nm. La recta de calibración se determinó a partir del estándar de referencia dl- α -tocoferol acetato 99.9% (Supelco).

Análisis de datos

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 se obtuvo con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de la uchuva

La figura 1 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros % humedad, °Brix, % acidez, pH y a_w , en los lotes (F1, F2, F3) de uchuva fresca y en las uchuvras recién impregnadas (IV-01, IV-02, IV-03).

El ANOVA no presentó diferencias significativas por efecto de los lotes en los parámetros % humedad, °Brix, pH y % acidez, pero sí por efecto del tratamiento de impregnación. El incremento del % humedad y del pH, la disminución del % acidez, por efecto del tratamiento, se atribuye a la cantidad de emulsión incorporada en la estructura interna del fruto, la cual

presenta en su formulación un contenido de agua y un %acidez de 79 y $0,23 \pm 0,1\%$ respectivamente, lo cual causa un efecto de “dilución” en las muestras. Sin embargo, los °Brix presentan una tendencia ligeramente creciente, pero se considera que los mínimos cambios en este parámetro son absorbidos por la misma variabilidad de las muestras y en el caso de la a_w , el resultado está acorde con el criterio de impregnar a partir de una solución isotónica de sacarosa, para evitar la transferencia de masa por mecanismos diferentes al HDM (30, 45). Los valores promedios de los parámetros para la uchuva fresca e impregnada fueron respectivamente: % humedad ($80,42 \pm 0,87$ y $83,22 \pm 0,91$), °Brix ($13,80 \pm 0,32$ y $14,24 \pm 0,55$), % acidez ($2,1 \pm 0,26$ y $1,77 \pm 0,07$) y pH ($3,39 \pm 0,06$ y $3,61 \pm 0,09$).

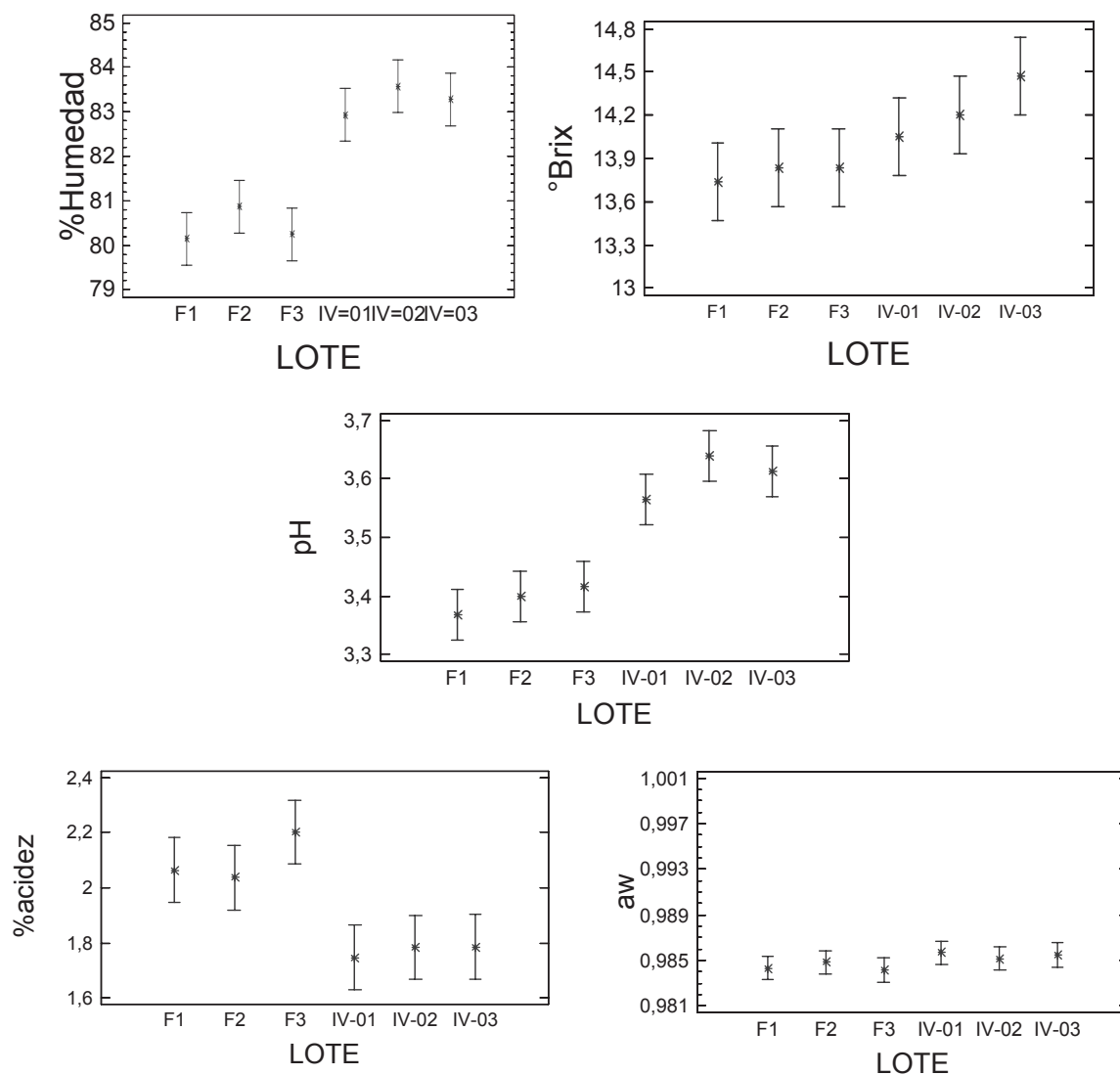


Figura 1. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de caracterización de los lotes de uchuvras frescas e impregnadas.

En general los resultados obtenidos para la uchuva fresca revalidan lo informado por algunos autores para un grado de madurez de 4, según especificaciones de color de la Norma Técnica Colombiana: NTC 4580 ($^{\circ}$ Brix: 13,2 – 15,0, pH: 3,6 – 3,8, acidez: 1,6 – 2,2) (46, 47) y coinciden en que los $^{\circ}$ Brix varían según el tiempo y condiciones de almacenamiento; para el caso de la uchuva impregnada, los valores del % humedad son correspondientes al aplicar el balance de materia al sistema de impregnación.

Diseño de la emulsión de impregnación

La composición teórica de vitamina E ($Y_{vit.E}$) necesaria para la emulsión, fue determinada a partir de valores preliminares de X por ensayos de impregnación con disoluciones isotónicas de sacarosa correspondiente a 20 $^{\circ}$ Brix y según la ecuación 1. Los valores de X preliminar, $X_{vit.E}^{IV}$ y $Y_{vit.E}$ fueron respectivamente: 0,03240 m³ D.S20 $^{\circ}$ Brix / m³ uchuva fresca, 0,00021 kg_{vit.E} / kg uchuva impregnada, 0,006678 kg vit.E / kg emulsión y permitieron determinar la formulación de la emulsión así: vitamina E sintética (0,668%), tween 80[®] (0,168%), span 60[®] (0,162%), sal (0,051%), azúcar (20,000%) y agua (78,951%).

Estabilidad de la emulsión de impregnación

La figura 2 presenta la evolución de la emulsión de impregnación en términos del índice de estabilidad R con respecto al tiempo. Se observa una tendencia de disminución hasta el día 2, a partir del cual R tiende a mantenerse, convergiendo a valores en un intervalo 0,21 y 0,28. Este comportamiento puede atribuirse a una reorganización en la distribución de tamaño de gota en la emulsión tendiendo a un valor de equilibrio relacionado con el tamaño óptimo de las micelas de tensoactivos, dado que la pequeña cantidad de fase oleosa podría ubicarse en el *core* lipófilo de las mismas.

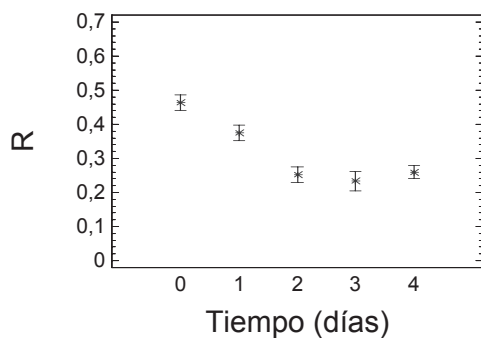


Figura 2. Evolución del índice de estabilidad R con respecto al tiempo en las emulsiones de impregnación para uchuvas.

La figura 3 representa una micrografía por SEM de 3000 aumentos, tomada en el área del pedúnculo de la uchuva impregnada. Se evidencia la presencia de la vitamina E en los espacios intercelulares del tejido en las proximidades internas del pedúnculo, con un tamaño aproximado de entre 2 y 3 micras. Este tamaño pequeño de partícula dispersa corresponde a los resultados obtenidos a partir del índice de estabilidad “R” donde, a menor tamaño de partícula, menor es R, lo que corresponde a una emulsión más estable.

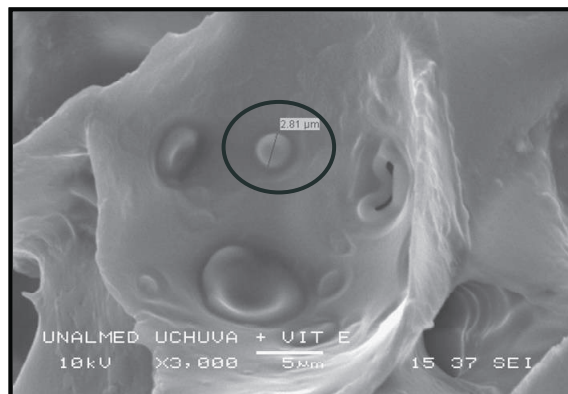


Figura 3. Micrografía del tejido de uchuva impregnada obtenida por SEM.

Por otro lado, la fuerza iónica del medio está jugando un papel muy relevante en la estabilización por carga del sistema (39, 48). Las cargas superficiales de las gotas se originan por la disociación de grupos ionizables (carboxilo, amino, etc.) del material de interfase o por absorción de iones desde la fase continua. En presencia de electrolitos disueltos en el medio continuo, alrededor de las partículas se forma una doble capa de iones o longitud de Debye (κ^{-1}), constituida por una capa sencilla de contraiones de signo opuesto al de los grupos ionizables superficiales fuertemente adsorbida y una capa difusa de coiones repartida en la disolución próxima a la interfase. Desde el punto de vista práctico, pequeñas cantidades de electrolitos monovalentes, como la utilizada en la emulsión (NaCl), favorece la estabilización del sistema coloidal por la formación de anchas dobles capas eléctricas sobre las partículas (39, 48, 49, 50). La fuerza iónica del medio ($I = \sum C_i Z_i^2$), evaluada para el NaCl a partir de la concentración de sus iones con diferente carga (C_i) y de las cargas de los iones (Z_i), fue 18×10^{-3} (mol / L) y el ancho de la doble capa eléctrica ($\kappa^{-1} = 0,304 / I^{1/2}$), evaluada a partir de la fuerza iónica del medio, correspondió a 2.2 nm, representando

un valor alto, similar al orden de la registrada en los refrescos, que es de 3 nm. (39, 48).

Caracterización de la respuesta a la impregnación

La figura 4 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de impregnación: X (%), X_{HDM} (%) y ε (%), para la uchuva con la D.S (20°Brix) y con la emulsión de fortificación con vitamina E.

Se encontró que los parámetros X , X_{HDM} y ε , presentan diferencias significativas con respecto a los dos líquidos de impregnación, lo cual se explica por factores combinados de composición del líquido de impregnación, permeabilidad de la capa cérica

superficial, el área y la porosidad del pedúnculo de la uchuva (punto de corte del capacho). Estos dos últimos factores se consideran los de mayor incidencia, ya que durante la experimentación se evidenció una mayor salida de aire del interior de la estructura en el pedúnculo, lo cual corresponde a una mayor incorporación de líquido de impregnación por esta misma vía; sin embargo, la capa cérica no se comporta en forma impermeable ya que, igualmente, presenta una ligera salida de aire de su interior y así mismo habrá un ligero ingreso de líquido de impregnación. Debido a la complejidad de la matriz, y a la no existencia de una tendencia entre el tamaño del fruto y el área del pedúnculo, no fue posible cuantificar los niveles de ingreso por cada zona.

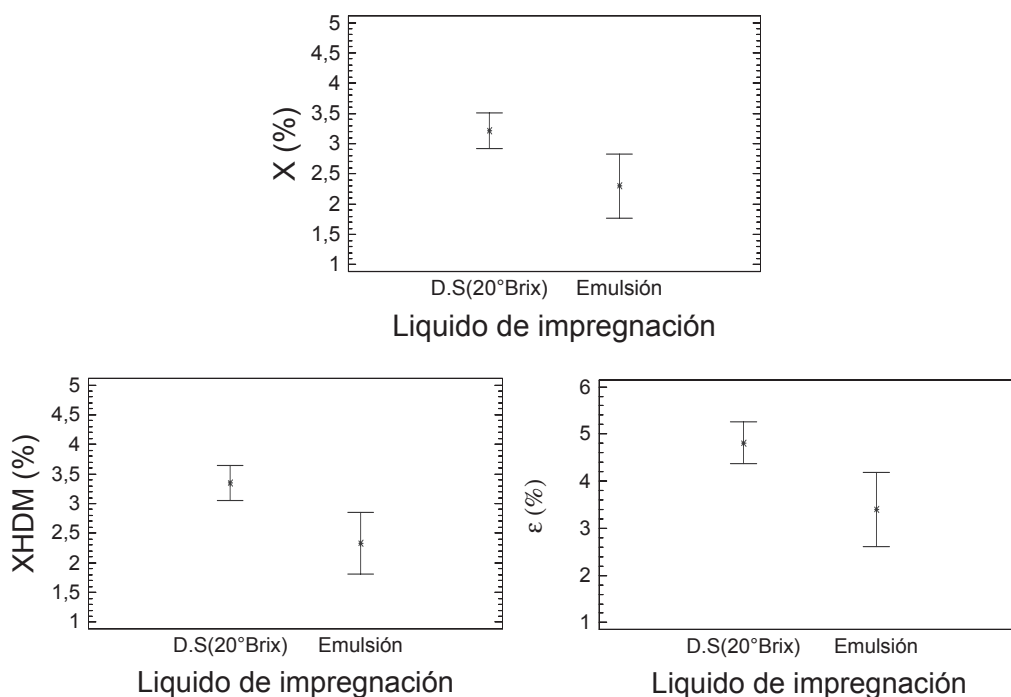


Figura 4. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros: X (%), X_{HDM} (%) y ε (%) en función del tratamiento de impregnación.

La figura 5 representa una micrografía por SEM de 100 aumentos (a) y 500 aumentos (b) tomadas en el área del pedúnculo de la uchuva fresca. La figura (5a) muestra el tejido heterogéneo de la uchuva fresca, donde la película cérica

es más compacta (lado derecho) y el pedúnculo más poroso (lado izquierdo). La micrografía (5b) a 500 aumentos revalida la mayor porosidad del pedúnculo y por donde ocurre la mayor impregnación.

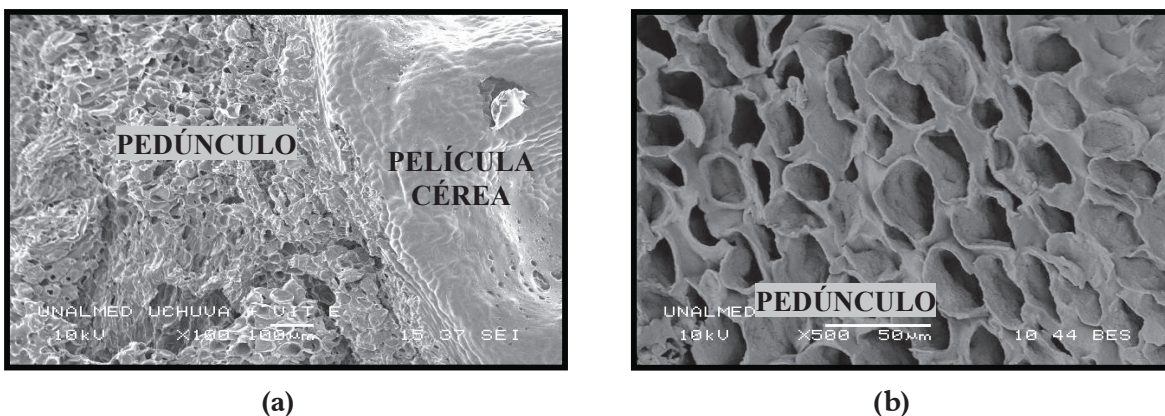


Figura 5. Micrografías del tejido de la uchuva fresca obtenidas por SEM.

Algunos trabajos de investigación informan diferencias entre los parámetros de impregnación con las disoluciones preliminares y con las disoluciones o emulsiones de impregnación con los componentes fortificantes: hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (disolución de NaCl 1% p/p y disolución de fortificación sacarosa - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + Selenio + vitamina C (51), mango Tommy Atkins (disolución de sacarosa de 16°Brix y disolución de fortificación sacarosa - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (52).

ALMACENAMIENTO

Cuantificación y estabilidad de la vitamina E

El método de determinación analítica de RRR- α -tocoferol y dl- α -tocoferol acetato por HPLC permitió establecer como tiempos de retención de estos compuestos: 11.48 y 13.08 min respectivamente. Por su parte, en la uchuva fresca

(FRESC) los valores registrados fueron insignificantes por lo que se consideraron despreciables, es decir, no representan un aporte significativo en el cálculo del % RDC del producto final. La figura 6 presenta los valores medios con intervalos LSD (95 %) de la concentración de vitamina E ($C_{\text{vit.E}}$), expresados como mg dl- α -tocoferol acetato/100 g uchuva fresca durante el almacenamiento. El ANOVA presentó diferencias significativas por efecto del tratamiento de impregnación, debido a la vitamina E incorporada con la emulsión, mientras que no presentó diferencias significativas por factor empaçado (CV y SV), ni por el tiempo de almacenamiento, debido a la misma estabilidad de la vitamina E sintética y a la protección que ofrece la matriz como medio de encapsulamiento del CFA (4, 52, 53), que evitan que el empaçado la afecte.

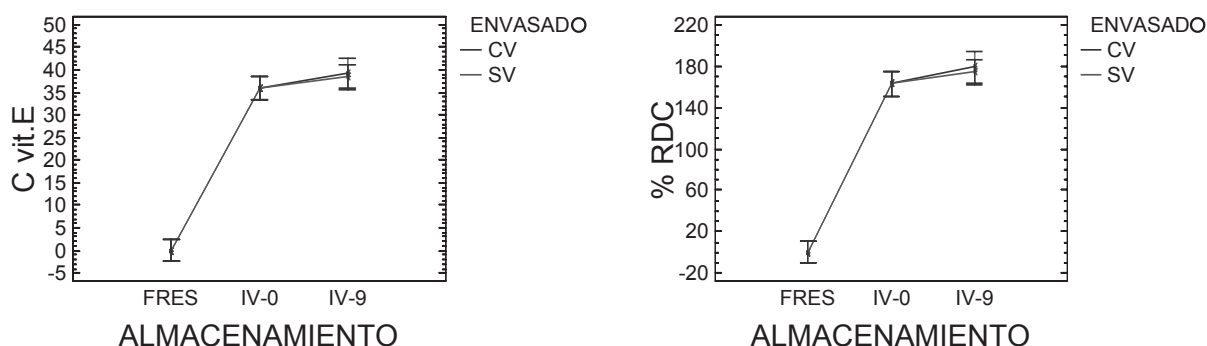


Figura 6. Valores medios con intervalos LSD (95 %) de la $C_{\text{vit.E}}$, (mg dl- α -tocoferol acetato/100 g uchuva fresca) durante el almacenamiento a 4°C.

Los niveles alcanzados de $C_{\text{vit.E}}$, tomando en forma unificada las muestras recién impregnadas y las almacenadas SV y CV, permiten concluir lo efectivo

del proceso IV en la obtención de un producto de uchuva mínimamente procesado fortificado con vitamina E y con unos niveles superiores a los fijados

según el criterio de fortificación: $35,15 \pm 8,35$ mg de vitamina E sintética/100 g de uchuva fresca, que corresponde al $159,8 \pm 38,0\%$ RDC/100 g uchuva fresca. Esta situación revalida el efecto importante comentado anteriormente por la porosidad y el área del pedúnculo de la uchuva en la respuesta a la impregnación, que genera una variabilidad en los niveles del producto final.

Color

La figura 7 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de color en términos de L^* , a^* , b^* durante el almacenamiento (0, 3, 6, 9, 12, 15 días). El ANOVA registró diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros de color por efecto del proceso de impregnación. En general, los comportamientos de los parámetros fueron similares. La presencia de la emulsión en los espacios intercelulares hace más homogéneo el índice de refracción, potenciando

la absorción de la luz en la zona superficial, por lo que las muestras IV se observan más oscuras ($< L^*$), lo cual se acentúa entre los valores de 66 – 58 durante el almacenamiento para ambos empacados. Es importante resaltar que las muestras IV no presentan un color homogéneo debido a que sólo en los espacios intercelulares reemplazados con emulsión se observa la muestra más oscura, principalmente alrededor del pedúnculo de la uchuva; esto genera unos coeficientes de variación apreciables en las muestras IV. La disminución de las coordenadas de color a^* y b^* , se asocia al fenómeno de dilución de pigmentos rojos y amarillos de la uchuva, y principalmente en los espacios intercelulares que ocupa la emulsión de impregnación; además, con el grado de maduración y el comportamiento fisiológico de la maduración de la uchuva. Un comportamiento similar ha sido informado en diferentes frutas impregnadas: manzana, papaya, kiwi, fresa, mango (45, 54, 55).

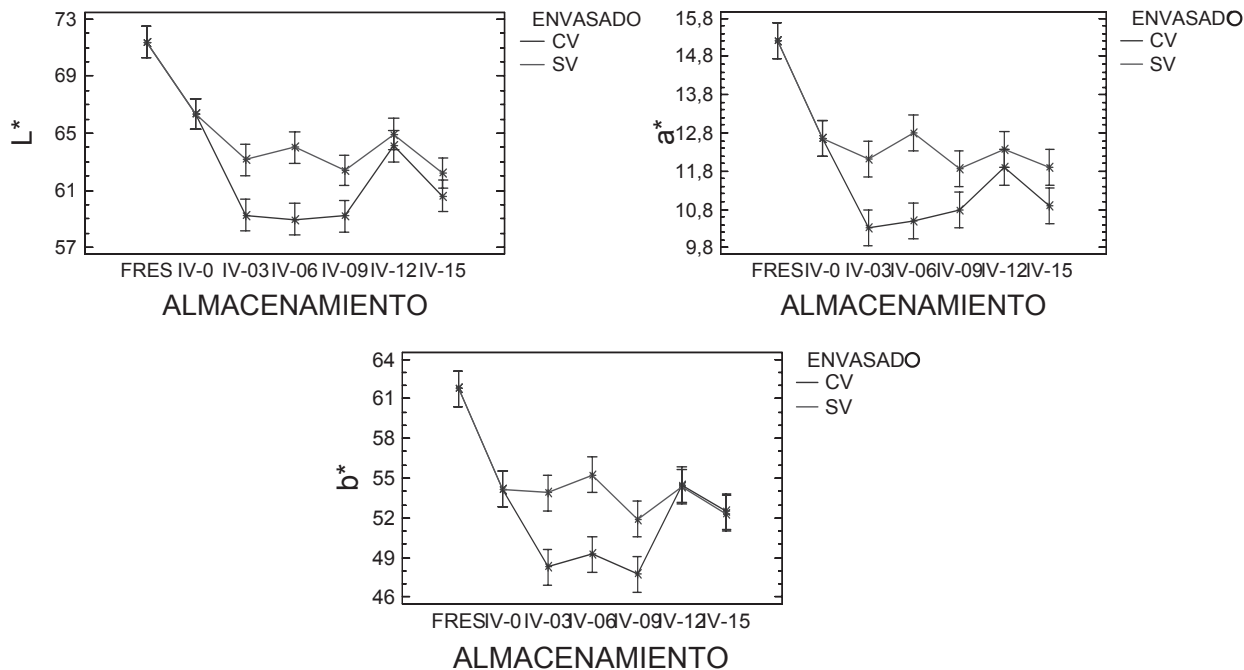


Figura 7. Evolución los parámetros de color L^* , a^* , b^* en uchuva fortificada con vitamina E en función del tiempo de almacenamiento a 4°C.

Textura

En la figura 8 se presenta una curva típica fuerza-distancia, obtenida para las muestras de uchuvas (frescas e impregnadas). Se puede observar el punto donde la fuerza es máxima (F_r) que coincide con el punto en que la muestra se rompe a una distancia

de ruptura (D_r). Este fruto presenta una relación esfuerzo-deformación lineal antes de la ruptura que refleja un comportamiento elástico de la película cérica que protege el fruto. Posteriormente se presenta una zona donde la fuerza es prácticamente constante, que corresponde a la resistencia de la pulpa a la deformación.

El ANOVA presentó diferencias significativas en la fuerza media de la pulpa por efecto del tratamiento IV, y no hubo diferencia ni por el tiempo de almacenamiento ni con el envasado. Esta situación se atribuye a la solubilización del componente péctico de las paredes celulares que las hace más blandas. Los valores obtenidos de la fuerza media de la pulpa para las uchuvas frescas e impregnadas fueron de $2,72 \pm 0,32$ N y $1,96 \pm 0,33$ respectivamente.

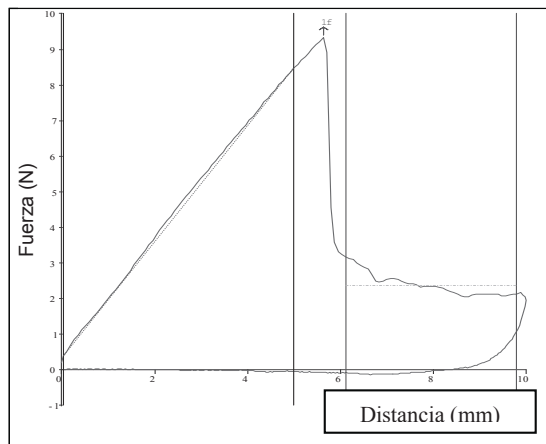


Figura 8. Curva típica fuerza–distancia obtenida en el ensayo de punción en uchuvas frescas e impregnadas.

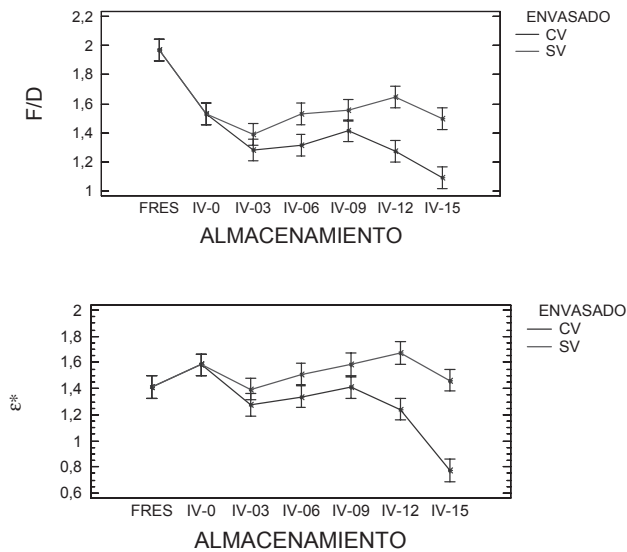


Figura 9. Valores medios e intervalos LSD (95%) de la relación F_r/D_r y la pendiente inicial (ϵ^*) en uchuvas frescas y fortificadas con vitamina E en función del tiempo de almacenamiento a 4°C.

La figura 9 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la relación F_r/D_r y la pen-

diente inicial (ϵ^*) para la uchuva fresca e impregnada durante el almacenamiento. El ANOVA registró diferencias significativas por efecto del tratamiento de impregnación para F_r/D_r y no para ϵ^* ; sin embargo, esta situación se presenta en un rango de variación muy pequeño (2,1 – 1,3 N/mm) por lo que se considera atribuible a las características propias de la película cética del fruto. En las muestras envasadas SV, el tiempo de almacenamiento no influyó en ninguno de los parámetros, mientras que en las muestras CV sí fue significativo, con una tendencia a disminuir, principalmente a partir del día 9. Este cambio puede estar asociado con la evolución de la maduración del fruto y con los cambios fisiológicos durante el almacenamiento, al ser un producto climatérico (56).

CONCLUSIONES

- La emulsión de fortificación utilizada, de acuerdo con el comportamiento observado en el índice de estabilidad “R”, garantiza una buena estabilidad.
- La respuesta a la impregnación y los niveles de fortificación están principalmente afectados por la porosidad y el área del pedúnculo de la uchuva, alcanzando niveles de ingesta > 100 % RDC/100 g uchuva fresca, lo que se puede ajustar con una modificación en la composición de la vitamina E en la emulsión de impregnación.
- El color estuvo afectado por el tratamiento IV. Se observan las muestras más oscuras y con un grado de variabilidad causado por la distribución heterogénea de la emulsión de impregnación en los espacios intercelulares. Por otro lado, las tonalidades rojas y amarillas estuvieron afectadas por el efecto de dilución de los pigmentos por la fase acuosa de la emulsión de impregnación.
- La firmeza de la uchuva fue afectada por el tratamiento IV. En las uchuvas impregnadas almacenadas SV, el tiempo de envasado no influyó en la textura, mientras que en las envasadas CV sí. Esto está asociado a la maduración del fruto y a las condiciones ambientales del medio.
- El tiempo de vida útil se fijó en 15 días, de acuerdo con valoraciones de color, textura y estabilidad de la vitamina E, en la uchuva impregnada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Verbeke W. Consumer acceptance of functional foods: Socio-demographic, cognitive and attitudinal determinants. *Food Qual Pref.* 2005; 16 (1): 45–57.
- Urala N, Lahteenmaki L. Attitudes behind consumers' willingness to use functional foods. *Food Qual Pref.* 2004; 15 (7-8): 793–803.
- Urala N y Lahteenmaki I. Reasons behind consumers' functional food choices. *Nutritional and Food Science.* 2003; 33 (4): 148–158.
- Cortés M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis doctoral]. España: Universidad Politécnica de Valencia; 2004.
- Robertfroid M. Defining Functional Food. En: Gibson G, Williams CM, editores. *Functional Foods: Concepts to product.* Cambridge: Woodhead; 2000. p. 9-29.
- Nicoli MC, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol.* 1999; 10 (3): 94-100.
- Schieber A, Stintzing FC, Carle R. By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent development. *Trends Food Sci Technol.* 2001; 12 (1): 401-413.
- Barberán T, Espín J. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric.* 2001; 81 (1): 853-876.
- Schaefer S, Baum M, Eisenbrand G, Dietrich H, Will F, Janzowski C. Polyphenolic apple juice extracts and their major constituents reduce oxidative damage in human colon cell lines. *Molecular Nutrition & Food Research.* 2006; 50 (1): 24–33.
- Zhang Y, Seeram NP, Lee R, Feng L, Heber D. Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties. *J Agric Food Chem.* 2008; 56 (1): 670–675.
- Zhang Y, Vareed SK, Nair MG. Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. *Life Sci.* 2005; 76 (13): 1465–1472.
- Fischer G, Almanza PJ. Nuevas tecnologías en el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana* L. *Agrodesarrollo.* 1993; 4 (1-2): 294.
- Ahmad S, Malik A, Yasmin R. Withanolides from *Physalis peruviana*. *Phytochemistry* 1999; 50 (4): 647-651.
- Wu S, Huang Y, Lin D, Wang S. Antioxidant activities of *Physalis peruviana*. *Biol Pharm Bull.* 2005; 28 (6): 963-966.
- Rojas M, Peñuela A, Chaparro M, Gómez C, Aristizábal G, López J. Caracterización y normalización de los recipientes de cosecha y empaques de la comercialización de frutas en Colombia. *Cenicafé;* 2005.
- Corporación Colombia Internacional – CCI. Inteligencia de mercados: perfil de producto No. 13; 2000.
- Gutiérrez T, Hoyos O, Páez M. Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.* 2007; 5 (1): 70-79.
- Wu SJ, Ng LT, Lin DL, Wang SS, Lin CC. *Physalis peruviana* extract induces apoptosis in human Hep G2 cells through CD95/CD95L system and mitochondrial signalling transduction pathway. *Cancer Lett.* 2004; 215 (2): 199–208.
- Wu SJ, Tsai JY, Chang SP, Lin DL, Wang SS, Huang SN, Ng LT. Supercritical carbon dioxide extract exhibits enhanced antioxidant and anti-inflammatory activities of *Physalis peruviana*. *J Ethnopharmacol.* 2006; 108 (3): 407–413.
- Ryan E, Pick M, Marceau C. Use of alternative medicines in diabetes mellitus. *Diabetic Med.* 2001; 18 (1): 242-250.
- Yoshida Y, Niki E, Noguchi N. Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant: chemical y physical effects. *Chem Phys Lipids.* 2003; 123 (1): 63-75.
- Curtay J, Lyon J. La Enciclopedia Práctica de las Vitaminas, las Sales Minerales y los Oligoelementos. España: Salvat; 2000. p. 127-136.
- Zheng W, Seller TA, Doyle TJ. Retinol, antioxidant vitamins, and cancer of the upper digestive tract in a prospective cohort study of postmenopausal women. *Am. J. Epidemiol.* 1995; 142 (1): 955-960.
- Heionen OP, Albanes D, Virtamo J. Prostate cancer and supplementation with α -tocopherol and β -carotene: incidence and mortality in a controlled trial. *J Natl Cancer Inst.* 1998; 90 (1): 440-446.
- Chappell LC, Seed PT, Briley AL. Effects of antioxidants on the occurrence of pre-eclampsia in women at increased risk: a randomised trial. *Lancet.* 1999; 354 (9181): 810-816.
- Sano M, Ernesto C, Thomas RG. A controlled trial of selegiline, α -tocopherol, or both as treatment for Alzheimer's diseases. *N Engl J Med.* 1997; 336 (1): 1216-1222.
- Knekt P, Heliovaara M, Aho K. Serum selenium, serum α -tocopherol, and the risk of rheumatoid arthritis. *Epidemiology.* 2000; 11 (1): 402-405.
- Tavani A, Negri E, La Vecchia C. Food and nutrient intake and risk of cataract. *Ann Epidemiol.* 1996; 6 (1): 41-46.
- Suleiman SA, Ali ME, Zaki ZM. Lipid peroxidation and human sperm motility: protective roles of vitamin E. *J Androl.* 1996; 17 (1): 530-537.
- Chiralt A, Fito P, Andrés A, Barat JM, Martínez-Monzó J, Martínez-Navarrete N. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Oliveira FAR, Oliveira JC, editors. *Processing of foods: Quality optimization and process assesment.* Boca Ratón: CRC Press; 1999. p. 341-356.
- Fito P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. *J Food Eng.* 1994; 22(1-4): 313-328.
- Fito P, Pastor R. On some diffusional mechanism occurring Vacuum Osmotic Dehydration (VOD). *J Food Eng.* 1994; 21(4): 513-519.
- Tapia MS, López-Malo A, Consuegra R, Corte P, Welti-Chanes J. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) Techniques. *Food Sci Technol Int.* 1999; 5 (1): 43-52.
- Muntada V, Gerschenson LN, Alzamora S.M, Castro MA. Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. *J Food Science.* 1998; 63 (1): 616-620.
- Betoret N, Puentes L, Díaz MJ, Pagán MJ, García MJ, Grass ML, et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *J Food Eng.* 2003; 56 (2-3): 273-277.
- Grass M, Vidal-Brotos D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. Calcium Fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. *J Food Eng.* 2003; 56 (2-3): 279-284.
- Fito P, Andrés A, Chiralt A, Pardo P. Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxion Phenomena During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. *J Food Eng.* 1996; 27 (1): 229-240.
- NTC 4580. Norma Técnica Colombiana. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones.
- Dickinson E. An introduction to food colloids. En: Dickinson E, editor. *Dispersions.* EEUU: Oxford Science Publications; 1992. p.175-199.
- Resolución 11488 del 22 de Agosto de 1984. Ministerio de Salud. Colombia.
- AOAC. 1980. Official Methods of analysis. 13ª ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists; 1980.
- AOAC. 1990. Official Methods of analysis. 15ª ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists; 1990.
- Kaufman VR, Garti N. Spectral absorption for determination of ease of formation and stability of oil in water emulsions. *J Disper Sci Technol.* 1981; 2(4): 475-490.

44. Kmostak S, Kurtz D. Rapid determination of supplemental vitamin E acetate in feed premixes by capillary gas chromatography. *J AOAC International* 1993; 76(4): 735-741.
45. Fito P, Chiralt A. Vacuum impregnation of plant tissues. En: Alzamora SM, Tapia MS, López-Malo A. Design of minimal processing technologies for fruits and vegetables. Maryland: Aspen; 2000. p.189-204.
46. Alvarado P, Verdugo C, Fisher G. Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5° C) y la humedad relativa sobre las características físico-químicas de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. durante el posterior transporte y almacenamiento. *Agronomía Colombiana*. 2004; 22 (2): 147-159.
47. Gutiérrez T. Seguimiento de la degradación térmica y lumínica de las vitaminas A y C en la uchuva (*Physalis peruviana* L.). [Tesis de Maestría]. Cali: Universidad del Valle; 2006.
48. Larsson K, Friberg SE. Food emulsions. En: Surface forces in emulsions, 2ª ed. EEUU: Marcel Dekker; 1990: 41-96
49. Dickinson E, Stainsby G. Advances in food colloids. Glasgow: Blackie Academic & Professional; 1996.
50. Becher P. Dictionary of colloid and surface science. New York: Marcel Dekker; 1990.
51. García A. Desarrollo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesados fortificados con Calcio, Selenio y vitamina C, por aplicación de la técnica de impregnación al vacío. [Proyecto de grado]. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2007.
52. Cortés M, Guardiola L, Pacheco R. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (variedad Tommy Atkins) con calcio. *Dyna*. 2007; 74 (153): 19-26,
53. Cortés M, Osorio A, García E. Manzana deshidratada fortificada con vitamina E utilizando la ingeniería de matrices. *Vitae*. 2007; 14 (2): 17-26.
54. Alzamora SM, Gerschenson LN. Effect of water activity depression on textural characteristics of minimally processed fruit. En: Barbosa-Canovas GV, Lombardo S, Narsimhan G, Okos MR, editors..New frontier in food engineering. Proceedings of the 5th Conference of Food Engineering. New York: AICHE; 1997. p.72-75.
55. Igual M, Castelló ML, Ortola MD, Andrés A. Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. *J Food Eng*. 2008; 86 (3): 315-323.
56. Novoa R, Bojacá M, Galvis J, Fischer G. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*. 2006; 24 (1): 77-86.