

Desarrollo de nuevos productos de uchuva y fresa con valor agregado

Ana María Restrepo Duque*
Misael Cortés Rodríguez**

Resumen

Introducción. Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano, estos son los llamados: “Alimentos funcionales”. **Objetivo.** Desarrollar dos productos a partir de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) mínimamente procesadas con características funcionales, por incorporación de vitamina E utilizando la ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales, a través de la técnica de impregnación a vacío. **Materiales y métodos.** La respuesta a la impregnación se evaluó en términos de fracción volumétrica de impregnación (X), fracción másica de impregnación (X_{MHD}) y porosidad eficaz (ϵ_{IV}), las cuales se afectan por la microestructura de cada fruto; específicamente para la uchuva fue determinante el área y la distribución de los poros del área del pedúnculo. Se formularon emulsiones de impregnación para cada fruta, con una fase acuosa de sacarosa y una concentración teórica del dl- α tocoferol acetato con

* Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ingenierías, Ingeniería de Alimentos

** Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos

el propósito de incorporar el 73% del Valor Diario de Referencia (VDR) de vitamina E según la norma colombiana (30 UI \approx 30 mg de dl- α tocoferol acetato) en 100 g de fruta fresca. Para estabilizar la emulsión, se utilizaron dos tensoactivos no iónicos: Tween 80, Span 60 y NaCl. La vitamina E se cuantificó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) previa extracción con hexano de las muestras. Se evaluaron los productos fortificados en términos de contenido de vitamina E, color, textura y valoración sensorial; durante el almacenamiento a 4°C y tiempos de control hasta 9 y 15 días para la fresa y uchuva respectivamente. **Resultados.** Los niveles de vitamina E en el producto final alcanzaron valores de $117,1 \pm 27,8$ % VDR y $63,7 \pm 10,0$ % VDR, para la uchuva y fresa respectivamente por cada 100 g de fruta fresca. La textura de la fresa se vio afectada por el proceso IV, siendo las muestras menos duras; mientras que los cambios durante el almacenamiento se consideraron más por variaciones propias del fruto fresco. El proceso de IV fue significativo en el color de los frutos impregnados, siendo más oscuros que los frutos frescos, mientras que no hubo influencia por el tiempo ni por el tipo de envasado. En el análisis sensorial el efecto del proceso IV provocó un grado de aceptación global superior en los productos impregnados al tiempo cero, en comparación con la fruta fresca; contrario a lo que sucedió durante el almacenamiento con las muestras envasadas con y sin vacío. **Conclusiones.** Estos resultados permiten identificar la técnica de impregnación como un mecanismo efectivo en la obtención de alimentos funcionales, generando valor agregado y mejores beneficios para la salud del consumidor.

Palabras clave: ?????????????????????????????????

Development of new products from physalis and strawberries with added value

Abstract

Introduction. World trends for food, in the last few years, show a great interest among consumers about certain food with a high nutritional value and beneficial for the physiological functions of the human body. Such food is called “functional food”. Objective. To develop two products from physalis (*Physalis peruviana* L.) an-

strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.), minimally processed and with functional characteristics, with vitamin E incorporated, using the matrix engineering as a method to obtain functional food, through the vacuum impregnation technique. Materials and methods. The response to the impregnation was evaluated under volumetric fraction impregnation terms (X), mass impregnation fraction (XMHD) and effective porosity (ϵ_{IV}), which are affected by the microstructure of each fruit. In the specific case of physalis the area and the pore distribution in the stem area were decisive. Impregnation emulsions for each fruit were formulated, with an aqueous base of sucrose and a theoretical concentration of the dl- α tocopherol acetate aiming to incorporate a 73% of the Daily Reference Value (DRV) of vitamin E according to the Colombian rule (30 UI \approx 30 mg de dl- α tocopherol acetate) in 100 g of fresh fruit. To stabilize the emulsion, two non ionic tensoactives were used: Tween 80, Span 60 and NaCl. The vitamin E was counted by high resolution liquid chromatography, after extracting the samples with hexane. The fortified products were evaluated according to their vitamin E content, color, texture and sensory evaluation, during the storage at 4°C and control periods that reached 9 and 15 days for the strawberry and the physalis, respectively. Results: The vitamin E levels in the final product reached values $117,1 \pm 27,8$ % VDR and $63,7 \pm 10,0$ % VDR, for the physalis and the strawberry, respectively, for every 100 g of fresh fruit. The texture of the strawberry was affected by the IV process and the samples were softer, while the changes during the storage were considered to be due to the variations of the fresh fruit. The process of IV was significant in the color of the impregnated fruits, which were darker than the fresh ones, and no influence was exercised by the time or by the type of packaging. In the sensory analysis, the effect of the process IV brought a superior global acceptance degree in the products impregnated at the zero time, in comparison to the fresh fruit. The opposite took place during the storage with the samples packaged with and without vacuum. Conclusions. These results are useful to identify the impregnation technique as an effective mechanism to obtain functional food, bringing an added value and greater benefits to the consumers' health.

Key words. Strawberry. Physalis. Functional food. Added value. Vitamin E.

Introducción

El interés del consumidor por la relación entre la dieta y la salud ha aumentado, 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 de beneficio que contribuye a reducir la incidencia de ciertas enfermedades crónicas. Tal es el caso de las dietas ricas en frutas y hortalizas, las cuales proporcionan una mezcla óptima de CFA y es por esta razón que su consumo está relacionado con la reducción en el riesgo de enfermedades coronarias y algunos tipos de cáncer^{1,2,3}

La presente investigación busca aplicaciones seguras desde la ingeniería de matrices utilizando la técnica de impregnación a vacío (IV)^{4,5} como mecanismo de incorporación de líquidos que contienen componentes fisiológicamente activos (CFA) como es el caso de la vitamina E, sobre frutas tropicales propias de nuestra región. Esta herramienta novedosa de la ingeniería de alimentos, proporciona métodos sofisticados capaces de alterar la estructura física y la composición química de los alimentos, mediante transferencia de masa rápidas y mayor ganancia de solutos en tiempos cortos, con el fin de obtener productos con las características de color, sabor y textura propias del alimento fresco⁶.

El desarrollo de nuevos productos con características funcionales a partir de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) mínimamente procesadas, abre nuevas puertas al desarrollo de la agroindustria Colombiana, al desarrollo de nuevos procesos tecnológicos y lo más importante: a cumplir con las exigencias del consumidor actual que busca en el mercado alimentos de calidad, que además del valor nutritivo le proporcionen beneficios a la salud⁷. La fortificación de frutas como uchuva y fresa se muestra interesante por ser estructuras alimentarias porosas que permiten un proceso de impregnación eficiente debido a que en ellas los poros quedan llenos de la emulsión que contiene la vitamina E.

El interés en la aplicación de la técnica de impregnación a vacío sobre estructuras alimentarias como la fresa y uchuva, está fundamentado en sus excelentes bondades nutricionales que pueden verse potenciadas por la incorporación de la vitamina E dentro de la matriz alimentaria. La combinación de la vitamina E incorporada con las vitaminas y minerales propios de la fruta, permite darle un valor agregado a estas estructuras y lo novedoso es que no existen en el mercado este tipo de productos. La alternativa resulta interesante ya que el consumidor actual apoya y requiere de estos desarrollos por sus cualidades saludables. En la actualidad se están llevando a cabo

acuerdos de competitividad de productos hortofrutícolas promisorios exportables en Colombia que tienen como propósito contribuir al fortalecimiento y la modernización de la producción, comercialización y distribución de las frutas y hortalizas que exporta el país con miras a aprovechar plenamente las oportunidades que se presentan en los mercados internacionales.

En Colombia, las exportaciones de frutas exóticas comenzaron en forma continua a finales de 1986, principalmente a Alemania. La uchuva, tiene como principales destinos los países bajos, seguido de Alemania, Francia e Inglaterra. Durante los últimos años los volúmenes de exportaciones y sus registros económicos, presentan incrementos demasiado importantes, correspondiendo a Europa valores mayores del 95 %. Entre los años 2004 y 2005 se incrementaron las exportaciones en un 48 %, correspondiendo a Europa el 97,3 % y un 2,4 % entre Estados Unidos y Canadá. Otros mercados a muy baja escala son el de Arabia, Brasil y Honk Kong. Es importante resaltar que las perspectivas de crecimiento son cada día mayores, aún más por las aperturas de nuevos mercados como el de Estados Unidos desde el año 2003⁸.

Uchuva

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una planta originaria de los Andes Suramericanos perteneciente a la familia de las Solanáceas, con alto potencial de multiplicación. Se caracteriza por tener un fruto azucarado y con buenos contenidos de vitaminas A y C, fibra, proteínas, fósforo, hierro, potasio y zinc^{9,10}. La Tabla 1 presenta la composición nutricional del fruto por cada 100 gramos de producto. Su jugo, presenta valores de pH entre 3,6 a 4,1; éste parámetro favorece la estabilidad del ácido ascórbico en la fruta, frente a procesos de oxidación, tratamientos térmicos, exposición a la radiación, etc.¹¹.

Se le han atribuido muchas propiedades medicinales tales como anti-tiasmático, diurético, antiséptico, sedante, analgésico, fortifica el nervio óptico, alivia problemas de garganta, dermatitis, hepatitis y reumatismo, elimina parásitos intestinales y amebas; además se reportan sus propiedades antidiabéticas^{13,14}.

Tabla 1. Valor nutricional de la Uchuva en 100 g de masa comestible¹²

FACTOR NUTRICIONAL	CONTENIDO	
Calorías	54,0	
Agua	79,4	%
Grasa	0,5	g
Proteína	1,5	g
Carbohidratos	13,1	g
Fibra	4,8	g
Ceniza	0,7	g
Calcio	9,0	mg
Fósforo	21,0	mg
Hierro	1,7	mg
Vitamina A	1730,0	U.I
Tiamina	0,01	mg
Riboflavina	0,17	mg
Niacina	0,8	mg
Ácido ascórbico	20,0	mg

Fresa

La fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) es una planta perteneciente a la familia Rosaceae, considerada fruta de placer por excelencia¹⁵. Se destaca por su contenido de vitamina C, taninos, flavonoides, antocianinas, catequina, quercetina y kaempferol, ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, salicílico y elágico) y minerales (K, P, Ca, Na y Fe), además de pigmentos y aceite esencial. Estos compuestos presentes en la fresa tienen un potente poder antioxidante y ayudan a disminuir el riesgo de eventos cardiovasculares, mejoran la función endotelial vascular y disminuyen la trombosis¹⁶. La Tabla 2 presenta la composición de la fresa por 100 g de porción comestible. Por otra parte, se ha demostrado en varios sistemas experimentales la actividad anticancerígena de extractos de fresas, así como su bloqueo de iniciación de la carcinogénesis y proliferación de tumores. Estudios preliminares con animales indican que las dietas ricas en fresas también pueden tener el potencial para proporcionar beneficios para el envejecimiento cerebral^{17,18, 19}.

Tabla 2. Composición de la fresa por 100 g de porción comestible²⁰.

FACTOR NUTRICIONAL	CONTENIDO	
Calorías	37,0	
Agua	80-90	%
Grasa	0,1-0,4	%
Proteína	0,5-0,9	%
Carbohidratos	5,0-10,0	%
Ceniza	1,0-3,0	%
Calcio	21,0	Mg
Sodio	1,0	Mg
Potasio	164,0	Mg
Fósforo	21,0	Mg
Hierro	1,0	Mg
Vitamina A	60,0	U.I
Tiamina	0,03	Mg
Riboflavina	0,03	Mg
Niacina	0,6	Mg
Ácido ascórbico	20,0-70,0	Mg

Alimentos funcionales

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación generaron una nueva área de desarrollo en la ciencia y tecnología de los alimentos, que corresponde a la de los alimentos funcionales²¹.

El término Alimento Funcional fue propuesto por primera vez en Japón durante la década de 1980 con la publicación de la reglamentación de los “Alimentos de uso específico para la salud” (“Foods for specified health use” o FOSHU) y se refiere a “cualquier alimento o ingrediente alimenticio modificado que pueda proporcionar beneficios a la salud que van más allá de los nutrientes tradicionales que contiene”²². El término “funcional” implica que el alimento tiene algún valor identificado que conduce a beneficios para la salud, incluyendo la reducción del riesgo de enfermedad, para la persona que lo consume²³.

Existen actualmente 11 categorías de ingredientes funcionales incluidos en el sistema FOSHU²⁴: fibra alimentaria, oligosacáridos, alcoholes derivados de azúcares, ácidos grasos poliinsaturados, péptidos y proteínas, glucósidos, isoprenoides y vitaminas, alcoholes y fenoles, colinas (lecitina), bacterias del ácido láctico (BAL), Minerales: macrominerales y microminerales, Otros.

En los países occidentales la historia de este tipo de alimentos se remonta a las primeras prácticas de fortificación con vitaminas y minerales, así como también a la práctica de incluir ciertos componentes en los alimentos procesados con el objeto de complementar alguna deficiencia de la población²⁵. Hoy en día se vienen desarrollando trabajos de investigación en torno al enriquecimiento y fortificación de diferentes alimentos con disoluciones suspensiones o emulsiones que contienen componentes fisiológicamente activos utilizando la técnica de IV, con el fin de desarrollar productos con características funcionales^{26,27,28}.

En Colombia también se ha despertado un reciente interés por el tema de los alimentos funcionales y las universidades y centros de investigación, comienzan a consolidar grupos de trabajo en el tema. Legalmente no existe aún una normativa que defina y regularice la producción, verificación científica de las propiedades saludables, desarrollo tecnológico y comercialización de los alimentos funcionales. Sin embargo algunas normas establecidas regularizan alimentos con propiedades adicionales para la salud, por ejemplo: El Decreto 1944 de 1996 reglamenta la fortificación obligatoria de la harina de trigo con vitamina B1, vitamina B2, niacina, ácido fólico y hierro; La Resolución 11961 de 1989 de la leche cultivada con *Bifidobacterium*; la Resolución 11488 de 1984 que precisa las normas técnicas relacionadas con alimentos infantiles, alimentos o bebidas enriquecidas y alimentos o bebidas de uso dietético, en los cuales se permite la adición de nutrientes y la denominación de fortificados; El Decreto 3636 de noviembre de 2005 por el cual se reglamentan los productos de uso específico, incluidos los productos importados con denominación del país de origen como “suplemento dietario”, “complemento alimenticio”, o “nutracéutico”²⁹.

Vitamina E

El término general vitamina E se utiliza para designar a un grupo de ocho especies naturales de tocoferoles y tocotrienoles (α , β , γ , y δ). Junto con las vitaminas A, D y K constituyen el grupo de las vitaminas liposolubles, caracterizadas por ser derivados del núcleo isoprenoide, solubles en lípidos y disolventes orgánicos. Son compuestos esenciales, puesto que el organismo no puede sintetizarlas, por lo que su aporte se realiza a través de la dieta en pequeñas cantidades³⁰.

El interés por la vitamina E ha aumentado en los últimos años debido a su potente poder antioxidante³¹. Se caracteriza por tener una función

primordial y es impedir o retrasar la oxidación de diversas sustancias, principalmente de los ácidos grasos, cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano, en el cual puede provocar alteraciones fisiológicas desencadenando diferentes enfermedades.

Existen evidencias científicas de que la vitamina E está relacionada con la reducción de enfermedades cardiovasculares³², prevención de cáncer³³, mejoramiento del sistema inmune, disminución de enfermedades inflamatorias entre otras³⁴.

Impregnación al vacío

El proceso IV ha sido descrito^{35,36} a través de la acción del mecanismo hidrodinámico (MHD), como un proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-líquido. El sistema durante la acción del MHD experimenta cambios estructurales ocasionados por los cambios de presión, lo que indica que conjuntamente se pueden presentar fenómenos de Deformación-Relajación (FDR) en la matriz sólida del sistema. Este acoplamiento MHD-FDR 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 atmosférica³⁷.

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 a vacío y al final del proceso (γ_1 y γ , respectivamente), la porosidad eficaz (ε^{IV}) del producto y la relación de compresión $r = P_{atm} / P_{vacío}$ (ecuación 1).

$$\varepsilon^{IV} = \frac{(X - \gamma)r + \gamma_1}{r - 1} \quad (1)$$

La determinación experimental de la deformación volumétrica en la etapa de vacío (γ_1) es compleja, no obstante cuando se trabaja a presiones muy bajas, r es muy grande y puede aceptarse, la condición establecida en la ecuación (2). Con esto, la ecuación 1 se simplifica a la 3

$$(X - \gamma)r \gg \gamma_{1..} \quad (2) \quad \varepsilon^{IV} = \frac{X - \gamma}{1 - \frac{1}{r}} \quad (3)$$

La actuación acoplada del MHD y FDR, está muy afectada por la microestructura y las propiedades mecánicas del sólido, así como por la viscosidad de la solución externa³⁸.

La impregnación a vacío está afectada por diversos factores³⁹: composición del tejido, estructura del tejido (tamaño y distribución de poros), propiedades mecánicas del alimento, velocidad de flujo del gas y del líquido durante la acción del MHD, que a su vez depende de la estructura del tejido y de la viscosidad de la solución y finalmente el tamaño y forma de la muestra

La impregnación a vacío 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 antipardeantes⁴⁰ o mejora de algunos atributos de calidad (sabor global del producto, fortificación con nutrientes específicos)^{41,42}.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizaron uchuvas enteras de la variedad Ecotipo Colombia cultivadas en el Municipio de la Unión, con un peso entre 6,0 – 7,0 g seleccionadas con un grado de Madurez de 4 según especificaciones de color (Norma Técnica Colombiana) y fresas enteras de la variedad Camarrosa, cultivadas en el Municipio de Santa Rosa de Osos, Antioquia; cosechadas según características homogéneas de color, con un peso aproximado entre $12,0 \pm 2,0$ g y con un grado de madurez de 5. Como componente fortificante con actividad de vitamina E se utilizó acetato de dl- α -tocoferol con una pureza 96,9 % (Merck). Se utilizó una fase acuosa a partir de sacarosa, dos tensoactivos no iónicos: Tween 80 (Polioxietilén Sorbitan Monooleato, BHL=15) y Span 60 (Monoesterato de sorbitano, BHL=4,7) y NaCl como estabilizante de las fuerzas electrostáticas de la emulsión de impregnación⁴³.

Emulsiones de impregnación

Las emulsiones se prepararon en lotes de 500 g en un homogenizador Ultraturrax Tipo 45 S5 - Janke y Kunkel IKA- Labortechnik, las condiciones de emulsificación fueron 10.000 rpm, durante 20 minutos, utilizando un recipiente de vidrio con baño de enfriamiento. Las emulsiones se diseñaron con una composición definida para cada fruto, siendo la fase acuosa de cada emulsión una disolución isotónica de sacarosa con actividad de agua (a_w) igual a la del fruto: 14 °Brix (fresa) y 20 °Brix (uchuva). La composición de la emulsión utilizada para la fresa fue la siguiente: Vitamina

E sintética; 0,78 %, Tween 80; 0,17 %, Span 80; 0,16 %, NaCl; 0,05 %, sacarosa; 14 % y agua: 84,80 % p/p y para uchuva la composición de la emulsión fue: Vitamina E sintética; 0,67 %, Tween 80; 0,17 %, Span 80; 0,16 %, sal; 0,05 %, sacarosa; 20 % y agua; 78,90 % p/p.

Caracterización Fisicoquímica

A las muestras frescas e impregnadas, se le realizaron pruebas de acidez por titulación con NaOH 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador (Norma técnica Colombiana: NTC 4103⁴⁴); el contenido de humedad se determinó según la norma oficial 7003⁴⁵, 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 del fruto (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°C⁴⁶. La valoración de las propiedades fisicoquímicas fue realizada 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 componente especular incluida. 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.

Caracterización microestructural

El análisis estructural de las muestras impregnadas se realizó en 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 seg en N_2 líquido.

Estabilidad de la emulsión de impregnación

La estabilidad de la emulsión de impregnación se fundamentó en las propiedades de dispersión de la luz, la cual 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 ($R = A_{800} / A_{400}$)⁴⁷. Las medidas se realizaron en un espectrofotómetro Thermospectonic Genesys 10UV. La muestra de emulsión recién preparada se diluyó con agua destilada en la proporción 99:1 (agua: emulsión) y se agitó durante 15' 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 realizaron 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 local = 25,4" Hg). Los frutos de uchuva y fresa, se impregnaron inicialmente con una disolución isotónica de sacarosa de 20 y 14 °Brix (DS20°, DS14°) respectivamente. Durante la 1ª etapa del proceso IV, las frutas fueron sometidas a vacío durante 10 minutos en la cámara de impregnación y en la 2ª etapa se restableció la presión atmosférica por 5 minutos más; a cada muestra impregnada se le determinaron los parámetros de impregnación: fracción volumétrica de impregnación, X ($m^3_{emulsión} / m^3$ fruta fresca); fracción másica de impregnación, X_{MHD} ($kg_{emulsión} / kg_{fruta impregnada}$) y porosidad efectiva a la IV, ϵ ($m^3_{gas} / m^3_{fruta fresca}$) ($\epsilon = X r / (r-1)$), donde $r = P_{atm} / P_{vacío}$. La valoración de X y X_{MHD} se determinó a partir de las masas antes y después de la impregnación⁴, además se consideró que en el proceso de IV la deformación en las etapas a presión de vacío y atmosférica son despreciables⁴⁸.

La composición de la emulsión de impregnación se determinó en el sistema de impregnación bajo las siguientes consideraciones: los niveles de vitamina E en los frutos frescos son despreciables, no existe degradación de la vitamina E durante el proceso de IV, la masa total del sistema fruta - 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 4 y 5, 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 fruta impregnada, $x_{Vit.E}^{IV}$ ($g_{Vit.E} / g_{fruta\ impregnada}$).

$$Y_{Vit.E} = \frac{x_{Vit.E}^{IV} (\rho_{apm} + X\rho_{emulsión})}{X\rho_{emulsión}} \quad (4)$$

$$x_{Vit.E}^{IV} = \frac{100\% \text{ VDR}}{(100 + 100X \frac{\rho_{emulsión}}{\rho_{apm}})} \quad (5)$$

Almacenamiento

Las muestras fortificadas fueron almacenadas a una temperatura de 4°C y envasadas en bolsas plásticas con multicapa de poliamida-polietileno marca ALICO S. A., con barrera al vapor de agua (< 15 g/m²/24hr/atm, T=38 °C), O₂ (60 cc/m²/24hr/atm, 23 °C), N₂ y CO₂. El envasado se realizó 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 las frutas frescas e impregnadas, durante un tiempo de almacenamientos de 15 días (uchuva) y 9 días (fresa); los atributos color y textura fueron evaluados cada 3 días.

Extracción y cuantificación de CFA

El proceso de extracción fue descrito por Cortés, 2004⁴⁹. 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).

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó mediante pruebas descriptivas escalares para cada fruto, con el objetivo de cuantificar las diferencias sensoriales de los atributos, introducidas por la emulsión de impregnación, respecto al fruto

fresco (control). Las pruebas escalares fueron de nueve bloques⁵⁰, donde el control fue posicionado en el parte central y los jueces evaluaron el grado de intensidad del atributo en comparación con el control, calificando la muestra en casillas más o menos alejadas del centro a la derecha o a la izquierda (calificación 1, 2, 3, 4 y -1, -2, -3, -4 respectivamente), donde los valores positivos representan una mayor intensidad en el atributo y los negativos una disminución del atributo con respecto al control. Los jueces podían ubicar su calificación en la misma casilla del control (calificación: 0). Los atributos evaluados fueron; color, sabor ácido, sabor dulce, sensación grasa, dureza, jugosidad y aceptación global.

La valoración de los atributos en los frutos fortificados con vitamina E fueron realizados por un panel de 10 jueces entrenados y por triplicado, en muestras recién impregnadas ($t=0$) y en el tiempo de almacenamiento de 9 y 15 días para la fresa y la uchuva respectivamente. Las muestras fueron almacenadas con y sin vacío a una temperatura de 4°C y en bolsas plásticas multicapa de poliamida-polietileno marca ALICO S. A., con barrera al vapor de agua ($< 15 \text{ g/m}^2/24\text{hr/atm}$, $T=38 \text{ }^\circ\text{C}$), O_2 y CO_2 ($60 \text{ cc/m}^2/24\text{hr/atm}$, $23 \text{ }^\circ\text{C}$) En todos los casos se realizaron un total de 30 evaluaciones por atributo; que es igual al número de respuestas mínimas que se consideraran necesarias para tomar una decisión apropiada⁵¹.

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 fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

Análisis y resultados

Caracterización fisicoquímica de uchuva y fresa

Las Figura 1 y 2 presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros % Humedad, °Brix, % acidez, pH y a_w en los lotes de uchuva y fresa fresca (F1, F2, F3) y en las uchucas y fresa recién impregnadas (IV-01, IV-02, IV-03).

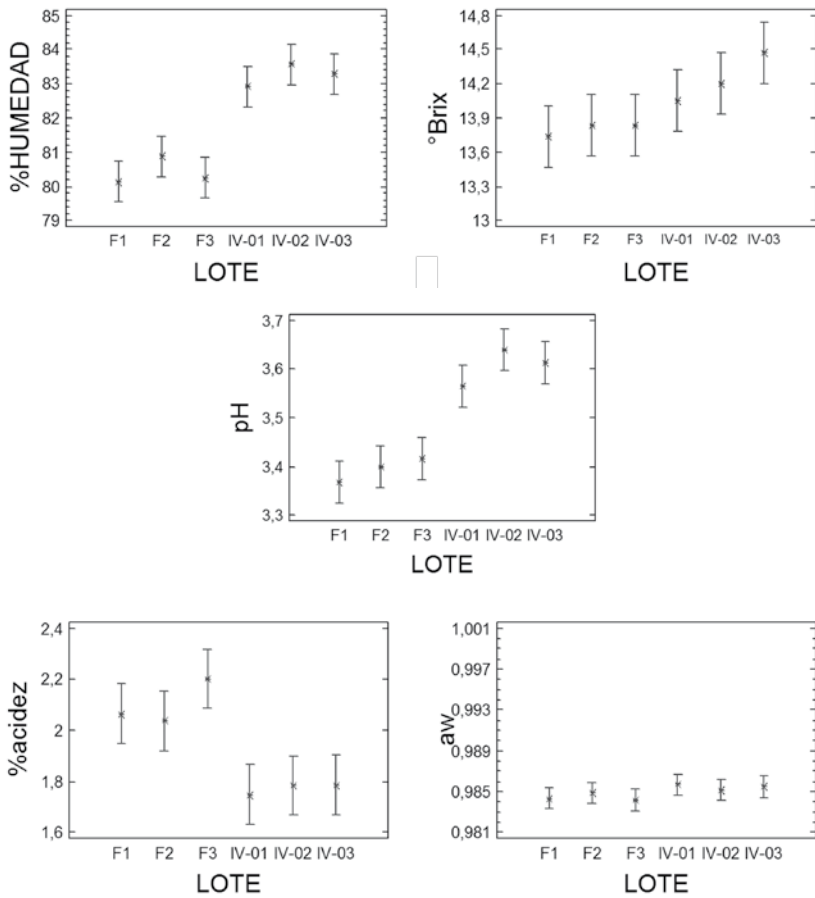


Figura 1. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de caracterización de los lotes de uchuvas frescas e impregnadas

Fuente: Elaboración propia

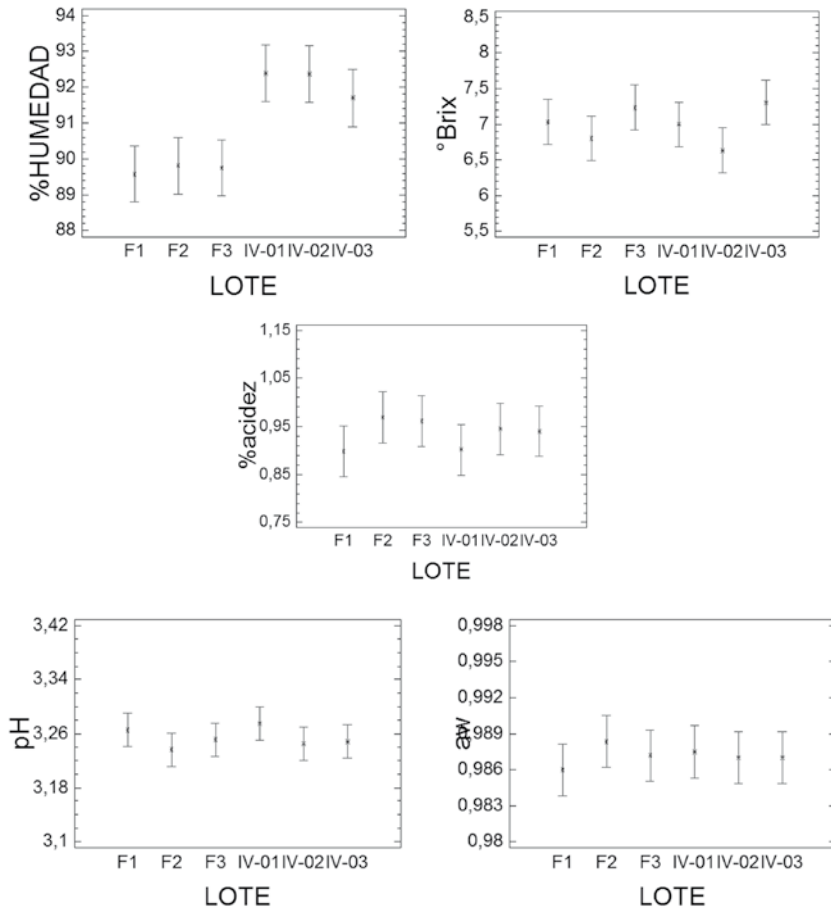


Figura 2. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de caracterización de los lotes de fresas.

Fuente: Elaboración propia

Para la uchuva, el ANOVA no presentó diferencias significativas por efecto de los lotes en los parámetros % humedad, °Brix, pH y % acidez, pero si 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 del 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 es acorde con el criterio de impregnar a partir de una solución isotónica de sacarosa, para evitar la transferencia de masa por mecanismos diferentes al MHD^{52,53}. 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 ($2,10 \pm 0,26$ y $1,77 \pm 0,07$) y pH ($3,39 \pm 0,06$ y $3,61 \pm 0,09$).

En general los resultados obtenidos para la uchuva fresca revalidan lo reportado por algunos autores para un grado de madurez de 4 según especificaciones de color de la Norma técnica Colombiana: NTC 4580 (°Brix: 13,2 – 15,0, pH: 3,6 – 3,8, acidez: 1,6 – 2,2)⁵⁴ y coinciden en que los °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.

Para la fresa, El ANOVA no presenta diferencias significativas en el % humedad por efecto de los lotes, pero si por efecto del tratamiento de impregnación, esto debido a que la cantidad de emulsión incorporada en la estructura interna del fruto según su formulación tiene una composición de agua del 84,8 %. Los valores promedio de todas las muestras para la fruta fresca e impregnada son respectivamente: $89,71 \pm 0,74$ y $92,15 \pm 1,66$. El resto de parámetros, no presentó diferencias significativas por efecto de los lotes ni por la impregnación, Los mínimos cambios son absorbidos por la misma variabilidad de las muestras y en el caso de la a_w , el resultado es acorde con el criterio de impregnar a partir de una solución isotónica de sacarosa, para evitar la transferencia de masa por mecanismos diferentes al MHD^{55,56}.

Los resultados son coherentes con algunos autores que han caracterizado la fresa fresca en términos de propiedades fisicoquímicas como: humedad, a_w , acidez, °Brix, densidad aparente^{57,58}, en frutas impregnadas con solución

isotónica de glucosa⁵⁹ y en frutas impregnadas con solución isotónica de sacarosa⁶⁰.

Diseño de la emulsión de impregnación

La composición teórica de vitamina E ($Y_{vit.E}$) necesaria para la emulsión, fue determinada a partir valores preliminares de X por ensayos de impregnación con disoluciones isotónicas de sacarosa correspondiente a 20 °Brix para la uchuva y 14° Brix para la fresa y según la ecuación 1. Los valores de X preliminar, $X^{IV}_{vit.E}$ y $Y_{vit.E}$ fueron respectivamente: $0,03240 \text{ m}^3_{DS20^\circ} / \text{m}^3_{\text{uchuva fresca}}$, $0,00021 \text{ kg}_{vit.E} / \text{kg}_{\text{uchuva fresca impregnada}}$, $0,006678 \text{ kg}_{vit.E} / \text{kg}_{\text{emulsión}}$ para la uchuva, y $0,02570 \text{ m}^3_{DS14^\circ} / \text{m}^3_{\text{fresa fresca}}$, $0,00021 \text{ kg}_{vit.E} / \text{kg}_{\text{fresa impregnada}}$, $0,00759 \text{ kg}_{vit.E} / \text{kg}_{\text{emul}}$ para la fresa. La tabla 3 presenta las formulaciones de las emulsiones para la uchuva y la fresa.

Tabla 3. Formulaciones de las emulsiones de impregnación para las uchuvas y fresas

Formula de la emulsión	%	
	UCHUVA	FRESA
Sacarosa	20,00	14,00
Agua	78,95	84,83
Vitamina E	0,67	0,78
Tween 80	0,17	0,17
Span 60	0,16	0,16
NaCl	0,05	0,05

Fuente: Elaboración propia

Estabilidad de la emulsión de impregnación

La Figura 3 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 0,29. 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, dada que la pequeña cantidad de fase oleosa podría ubicarse en el *core* lipófilo de las mismas.

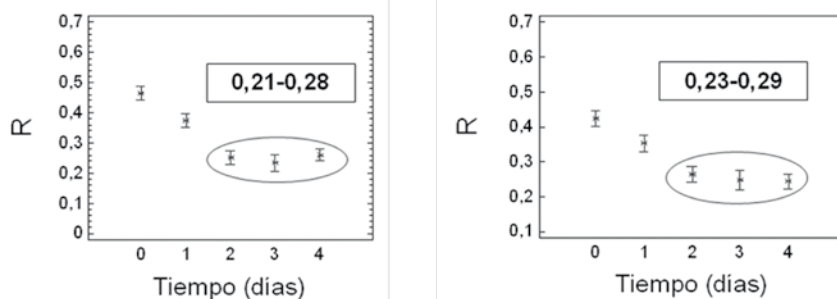


Figura 3. Evolución del índice de estabilidad R con respecto al tiempo en las emulsiones de impregnación para uchuva y fresa.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 representa una micrografía obtenida por SEM a 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 entre 2 y 3 micras. Este tamaño pequeño de partícula dispersa es correspondiente con los resultados obtenidos a partir del índice de estabilidad “R”. A menor tamaño de partícula menor es el índice de estabilidad R, que corresponde a una emulsión mas estable.

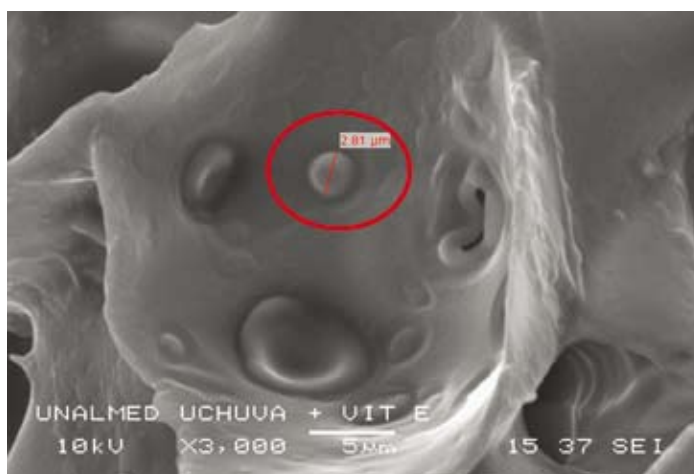


Figura 4. Micrografía del tejido de uchuva impregnada obtenida por SEM

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la fuerza iónica del medio juega un papel muy relevante en la estabilización por carga del sistema. Las cargas superficiales de las gotas se originan por la disociación de grupos ionizables (carboxilo, amino,...) 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 el utilizado en la emulsión (NaCl), favorece la estabilización del sistema coloidal por la formación de anchas dobles capas eléctricas sobre las partículas. La fuerza iónica del medio ($I = \sum C_i Z_i^2$), calculada a partir de concentración de los iones con diferente carga (C_i) y las cargas de los iones (Z_i), obteniéndose para la concentración de NaCl un valor de $I = 18 \times 10^{-3}$ (mol / L). El ancho de la doble capa eléctrica ($\kappa^{-1} = 0,304 / I^{1/2}$), evaluada a partir de la fuerza iónica del medio fue de 2.2 nm, la cual representa un valor alto, similar al orden de la encontrada en los refrescos que es de 3 nm.^{61,62}

Caracterización de la respuesta a la impregnación

La Figura 5 y 6 presenta los valores medios con intervalos LSD (95 %) de los parámetros de impregnación: X (%), X_{MHD} (%) y ε (%), para la uchuva con la DS (20°Brix) y para la fresa con la DS (14°) y la respuesta a los mismos parámetros con la emulsión de fortificación con vitamina E.

Se encontró que los parámetros X, X_{MHD} 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 en el interior de la estructura en el pedúnculo, lo cual es correspondiente también 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.

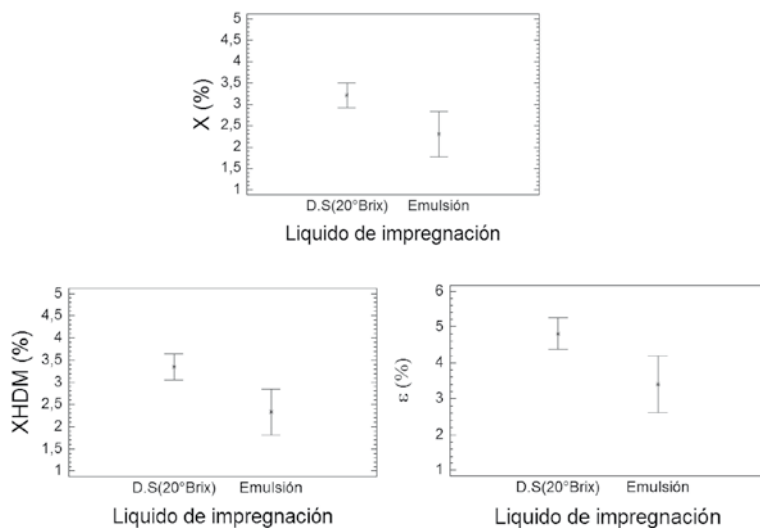


Figura 5. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros: X (%), X_{MHD} (%) y ϵ (%) en función del tratamiento de impregnación para la uchuva

Fuente: Elaboración propia

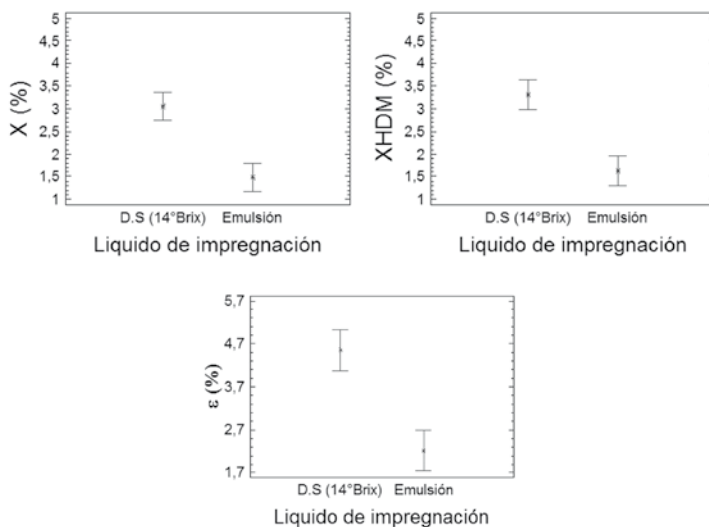


Figura 6. Valores medios con intervalos con intervalos LSD (95 %) de los parámetros: X (%), X_{MHD} (%) y porosidad eficaz (%) en función del tratamiento de impregnación para la fresa

Fuente: Elaboración propia

La Figura 7, representa micrografías del tejido de uchuva fresca obtenidas por SEM a 100 aumentos (a) y 500 aumentos (b). La figura (a) muestra el tejido heterogéneo de la uchuva fresca, donde la película cerosa es más compacta (lado derecho) y el pedúnculo más poroso (lado izquierdo). La micrografía (b) a 500 aumentos revalida la mayor porosidad del pedúnculo y por donde ocurre la mayor impregnación.

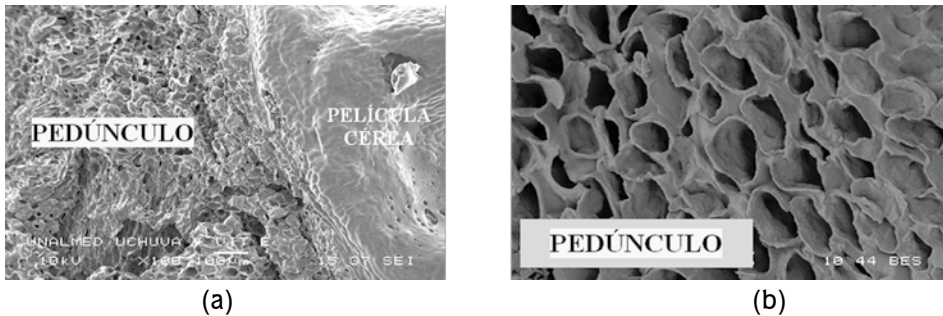


Figura 7. Micrografías del tejido de la uchuva fresca obtenidas por SEM

Fuente: Elaboración propia

Algunos trabajos de investigación reportan 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 C⁶³, mango Tommy Atkins (disolución de sacarosa de 16°Brix y disolución de fortificación sacarosa - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)⁶⁴.

Cuantificación y estabilidad de la vitamina E

El método de determinación analítica por HPLC de los componentes con actividad de vitamina E, identificó los tiempos de retención en: 11,27 y 12,94 min, para RRR- α -tocoferol (vitamina E natural) y dl- α -tocoferol acetato (vitamina E sintética) respectivamente. El resultado obtenido para la fresa fresca (F-F) como RRR- α -tocoferol fue: 0,27 mg/100 g de fresa. En la uchuva fresca los valores registrados fueron insignificantes por lo que se consideraron despreciables.

La Figura 8 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la concentración de vitamina E ($C_{vit.E}$), expresados como mg dl- α -tocoferol acetato/100 g fruta fresca. El ANOVA no presentó diferencias significativas en ambas frutas por efecto del factor envasado (CV y SV), ni por el tiempo de almacenamiento, debido a la misma estabilidad de la vitamina E sintética y a la protección que ofrecen estas matrices al servir como medio de encapsulamiento de la vitamina E, ante los factores externos de degradación (oxidación, luz, temperatura, etc.)⁶⁵. Para el análisis de la influencia del tiempo, la $C_{vit.E}$ se evaluó sobre valores unificados a partir de los datos de las muestras IV-0, CV y SV, obteniéndose para los productos de uchuva y fresa, una concentración de: $35,15 \pm 8,35$ y $19,12 \pm 3,01$ mg de vitamina E sintética/100 g de fruta fresca.

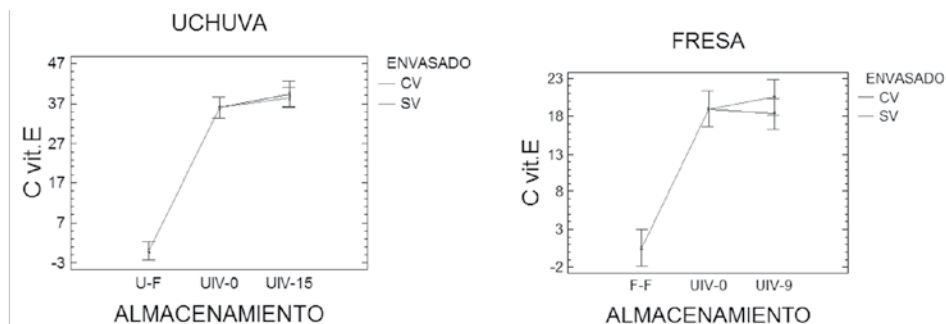


Figura 8. Concentración de vitamina E sintética/ 100 g fruta fresca en uchuva y fresa

Fuente: Elaboración propia

Estos valores reflejan la efectividad de la metodología de obtención de alimentos funcionales por ingeniería de matrices, aplicando la técnica de IV, en la fortificación de estas matrices alimentarias. La metodología ha sido aplicada en diferentes matrices alimentarias obteniéndose resultados satisfactorios⁶⁶.

Color

La Figura 9 presenta los valores medios con intervalos LSD (95 %) de los parámetros de color para la uchuva, en términos de L^* , a^* , b^* durante el almacenamiento.

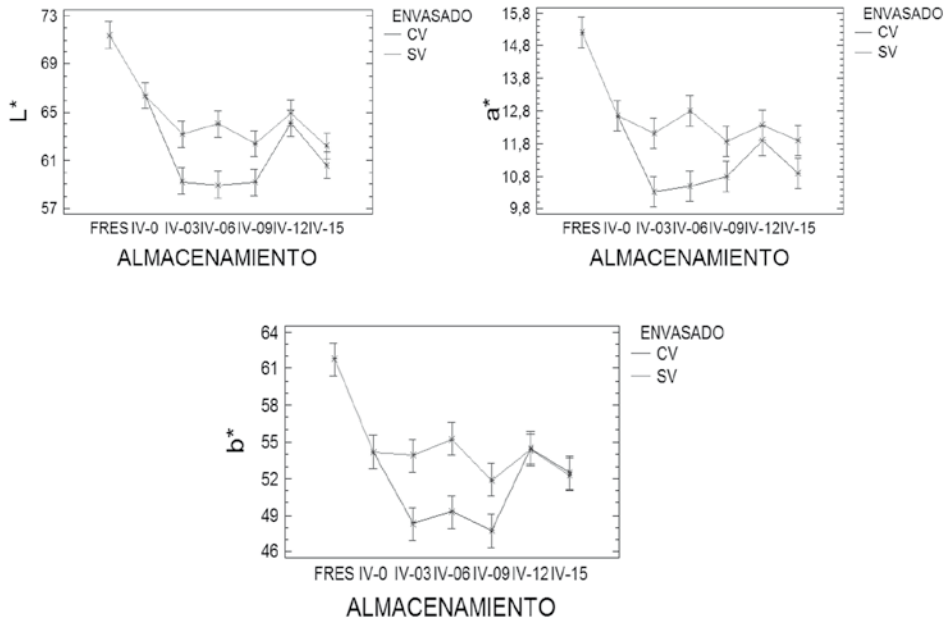


Figura 9. Evolución los parámetros de color L^* , a^* , b^* en uchuva fortificada con vitamina E en función del tiempo de almacenamiento a 4°C.

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA reportó diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros de evaluación del color por efecto del proceso de impregnación (caso similar ocurre en la fresa). En general el comportamiento de los parámetros de color 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 ($< L^*$), la cual se acentúa entre los valores de 66 – 58 durante el almacenamiento para ambos empaques. Es importante resaltar que las muestras IV no presentan un color homogéneo debido a que solo en los espacios intercelulares reemplazados con emulsión se observa la muestra más oscura, principalmente alrededor del ápice en la uchuva y la fresa (figura 10).

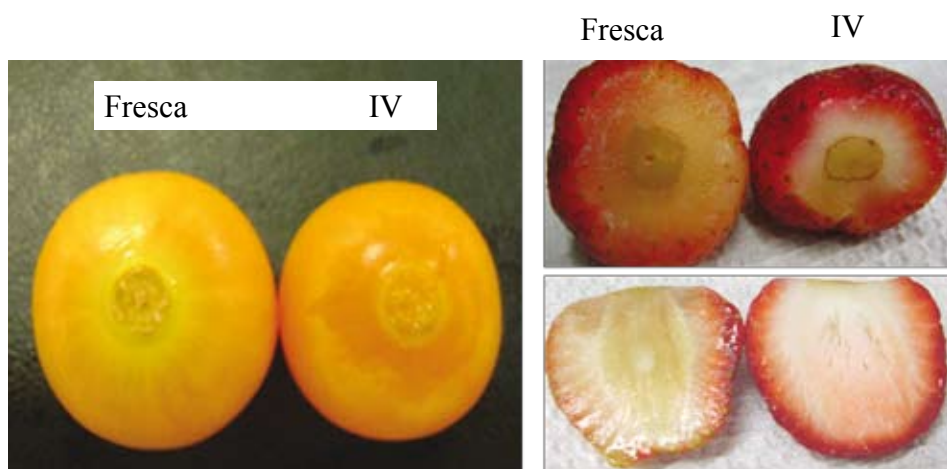


Figura 10. Muestras de uchuva y fresa frescas e impregnadas.

Fuente: Elaboración propia

Esto genera unos coeficientes de variación apreciables en las muestras IV. La disminución de las coordenadas de color a^* y b^* , se asocia principalmente al fenómeno de dilución de pigmentos rojos y amarillos y principalmente en los espacios intercelulares que ocupa la emulsión de impregnación. Un comportamiento similar ha sido reportado para diferentes frutas impregnadas: Manzana, papaya, kiwi, fresa, mango^{67,68,69}.

Textura

En la Figura 11 se presenta una curva típica fuerza-distancia obtenida para las muestras de uchuvas y fresas (frescas e impregnadas). Se puede observar el punto donde la fuerza es máxima (Fr) que coincide con el punto en que la muestra se rompe a una distancia de ruptura (Dr). Este fruto presenta una relación esfuerzo-deformación lineal antes de la ruptura que refleja un comportamiento elástico de la película cerosa 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

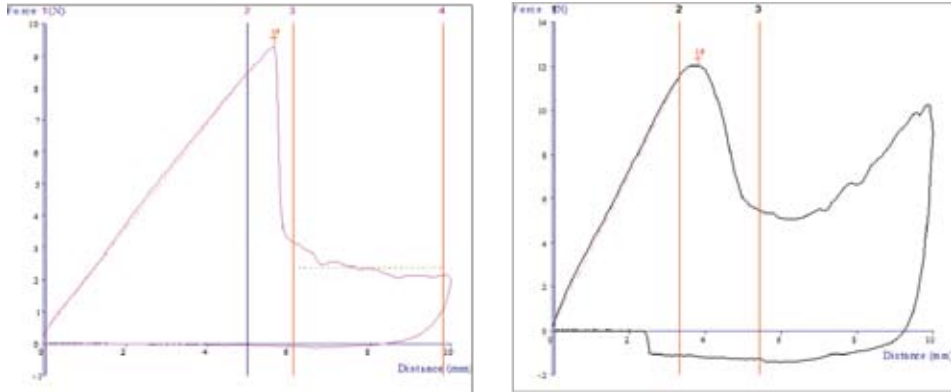


Figura 11. Curvas típica fuerza–distancia obtenida en el ensayo de punción en uchuva y fresa fresca.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 presentan los valores medios con intervalos LSD (95 %) de la relación Fr/Dr y la pendiente inicial (ϵ^*) para la uchuva fresca e impregnada durante el almacenamiento. El ANOVA presentó diferencias significativas por efecto del tratamiento de impregnación para Fr/Dr 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 cérica del fruto. En las muestras envasadas SV, el tiempo de almacenamiento no influyó en ninguno de los parámetros, mientras que en las muestras CV si fue significativo, con una tendencia a disminuir principalmente a partir del día 9, este cambio puede estar asociado a la evolución de la maduración del fruto y a los cambios fisiológicos durante el almacenamiento, al ser un producto climatérico⁷⁰.

Análisis Sensorial

Color de fresas y uchuvas impregnadas

Las Figura 13 y 14 ilustran los resultados unificados de los jueces para las evaluaciones del color de las fresas y uchuvas impregnadas al vacío en

el tiempo cero (IV-0) y las impregnadas y envasadas con vacío: IV-9 (CV) y sin vacío IV-9 (SV) durante 9 días para la fresa y 15 días para la uchuva: IV-15 (CV) y IV-15 (SV).

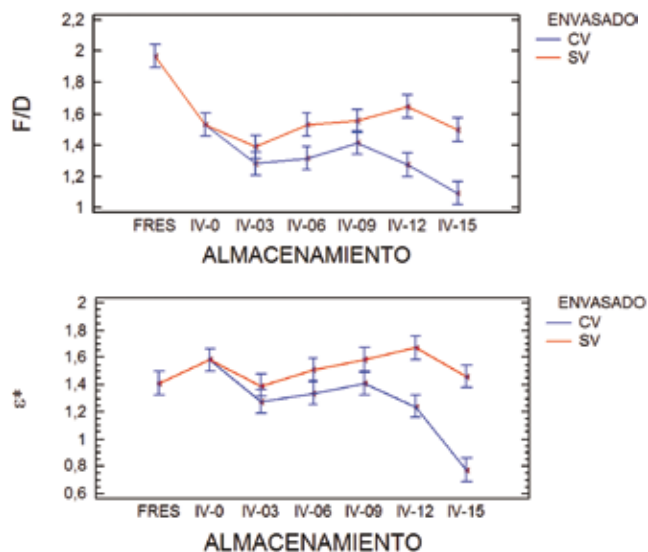


Figura 12. Valores medios e intervalos LSD (95 %) de la relación Fr / Dr y la pendiente inicial (ϵ^*) en uchuvas frescas y fortificadas con vitamina E en función del tiempo de almacenamiento a 4°C.

Fuente: Elaboración propia

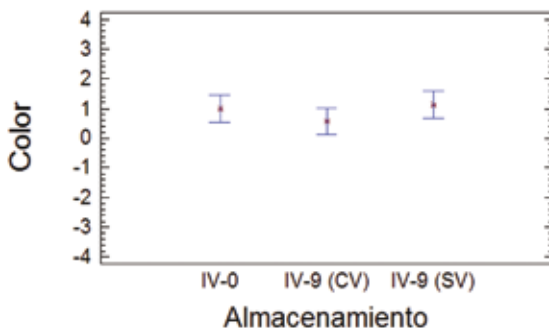


Figura 13. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de color para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

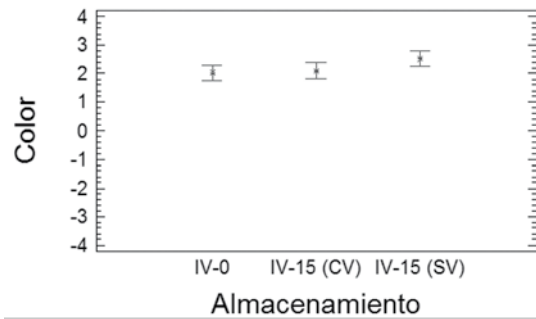


Figura 14. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de color para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA presentó diferencias significativas para la fresa y la uchuva debidas al factor juez, tanto para las muestras impregnadas en el tiempo cero como para las impregnadas y almacenadas con y sin vacío. Lo anterior debido a que la impregnación en el interior de los espacios intercelulares no se presenta en forma homogénea, lo que conduce a que exista una variabilidad de color en la superficie. La eliminación del gas del tejido durante el proceso de impregnación a vacío, implica una mayor homogeneidad en el índice de refracción de la luz, lo que hace que las muestra sean menos claras, aumentando la relación entre la cantidad de luz absorbida y la dispersada o reflejada⁷¹. Es importante resaltar que el 100% de los jueces identificó la falta de homogeneidad del color de las muestras. Por otro lado, independiente de las diferencias encontradas, los panelistas observaron las muestras de un color mas intenso que el control. Tanto en fresa como en uchuva el ANOVA no reporto diferencias estadísticamente significativas debidas al factor envasado y tiempo de almacenamiento. En general todos los tratamientos mostraron una mayor intensidad de color con respecto al control, es decir que la impregnación y el tiempo de almacenamiento combinados con el factor envasado aumentaron la intensidad del color de la fresa y uchuva, lo cual se explica porque la emulsión de impregnación continua con el tiempo difundándose a través de los espacios intercelulares de las matrices.

Sabor ácido de fresas y uchuvas impregnadas

En la Figura 15 se observan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones unificadas para los diferentes jueces en las muestras de fresa evaluadas.

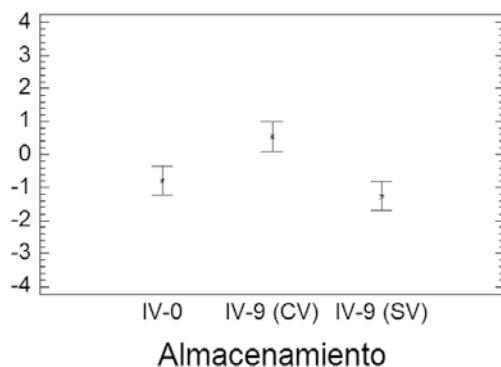


Figura 15. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sabor ácido para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas con respecto a los jueces en las muestras almacenadas con y sin vacío, presentando en el envasado con vacío una tendencia ácida comparadas con el control. Este resultado puede ser consecuencia del desarrollo de procesos fermentativos que tienen lugar en ausencia de oxígeno. La inhibición de la respiración por ausencia de oxígeno se traduce en la inactivación de ciertas enzimas que tienen como sustratos algunos ácidos, con la consecuencia de un incremento en la concentración de ácidos libres (especialmente de ácido málico) en la fruta envasada 9 días con vacío⁷².

Entre las fresas impregnadas en el tiempo cero y las impregnadas y envasadas SV para 9 días de almacenamiento, no se presentaron diferencias significativas y además estas últimas mostraron una menor intensidad del sabor ácido con respecto al control. Lo anterior podría explicarse probablemente debido a la incorporación de la emulsión de impregnación que tiene como componentes mayoritarios agua y sacarosa, que provocan un efecto de "Dilución" de los ácidos presentes en la fruta. Además la disminución en la intensidad del sabor ácido para las fresas almacenadas durante 9 días y envasadas SV, podría explicarse porque durante este periodo continúan todos sus procesos metabólicos en donde hay consumo de ácidos orgánicos, especialmente en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, además algunos de estos compuestos pueden estar involucrados en la producción de sustancias aromáticas o volátiles típicas del fruto maduro⁷³.

La Figura 16 muestra los resultados unificados de los jueces para las evaluaciones del sabor ácido de las uchuvas impregnadas al vacío en el tiempo cero y las impregnadas y envasadas con vacío y sin vacío para un tiempo de almacenamiento de 15 días.

El ANOVA presentó diferencias estadísticamente significativas en la evaluación del sabor ácido debidas al factor juez para las muestras impregnadas en el tiempo cero. Sin embargo no presentan diferencias significativas debidas al tiempo de almacenamiento ni entre los tipos de envasado.

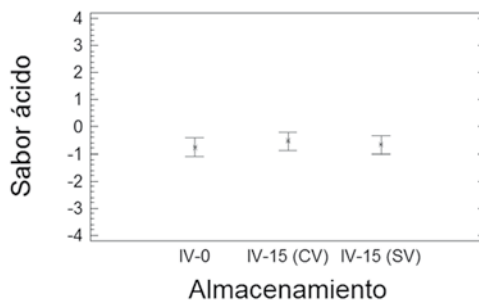


Figura 16. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sabor ácido para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

En resumen se puede decir que los jueces percibieron los tres tratamientos iguales estadísticamente y de menor intensidad en el grado de acidez con respecto al control, lo cual podría atribuirse a la impregnación a vacío, que proporciona un incremento en el contenido de sólidos totales debido a la sacarosa y por tanto afecta a la relación dulce / ácido de la matriz. Esto también fue comprobado con la medida del porcentaje de acidez de las uchuvas frescas ($2,1 \pm 0,26$ %) en relación a las impregnadas en el tiempo cero ($1,77 \pm 0,07$ %).

Sabor dulce de fresas y uchuvas impregnadas

En las Figuras 17 y 18 se presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las evaluaciones sensoriales para los frutos de fresa y uchuva impregnados en el tiempo cero envasadas con vacío y sin vacío y almacenadas durante 9 días para fresa y 15 días para uchuva.

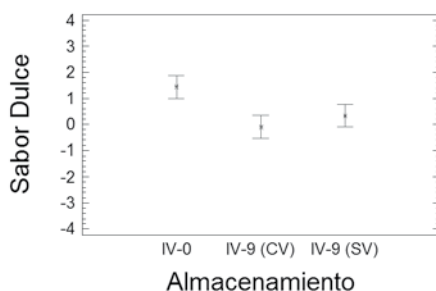


Figura 17. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sabor dulce para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

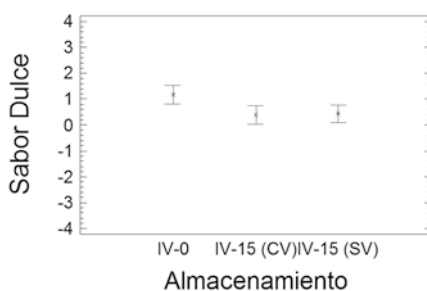


Figura 18. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sabor dulce para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA mostró diferencias significativas entre las fresas y uchuvas impregnadas en el tiempo cero y el control, teniendo mayor aceptación para el atributo de dulzura las muestras impregnadas en el tiempo cero, incluso con respecto a los demás tratamientos. Lo anterior debido a la incorporación de la sacarosa presente en las emulsiones de impregnación. En general la evaluación sensorial para este atributo fue mayor para todos los tratamientos con respecto al control, situación que también puede ser atribuida a la concentración de los solutos por evapotranspiración en los frutos y por actividades enzimáticas de amilasas que puedan desdoblar algunos restos de sustrato en disacáridos y monosacáridos más simples⁷⁴.

Sensación grasa de fresas y uchuvas impregnadas

Las Figuras 19 y 20 presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las evaluaciones sensoriales para los frutos de fresa y uchuva impregnados en el tiempo cero envasados con vacío y sin vacío y almacenados durante 9 días para fresa y 15 días para uchuva.

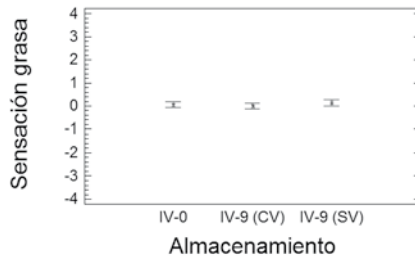


Figura 19. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sensación grasa para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

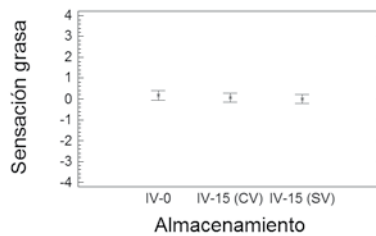


Figura 20. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sensación grasa para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la sensación grasa en la boca, a causa de la incorporación de vitamina E, no mostró diferencias significativas debidas al tratamiento de impregnación, envasado y tiempo de almacenamiento, lo que indica que los jueces no aprecian ningún efecto en las muestras fortificadas con vitamina E comparadas con el control. Lo anterior debido a que la concentración de vitamina E en la emulsión de impregnación es

tan pequeña que no alcanza a ser percibida en la evaluación sensorial. La interacción de la vitamina E con los frutos es estabilizada por la acción emulsificante de los tensoactivos utilizados, por lo tanto su distribución es totalmente homogénea.

Dureza de fresas y uchuvas impregnadas

En las Figuras 21 y 22 se presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las evaluaciones sensoriales para los frutos de fresa y uchuva impregnados en el tiempo cero envasadas con vacío y sin vacío y almacenadas durante 9 días para fresa y 15 días para uchuva.

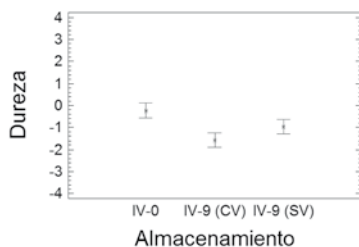


Figura 21. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de dureza para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

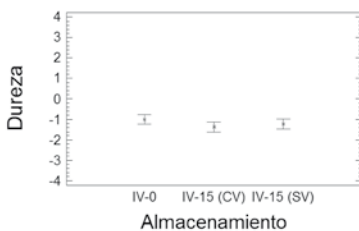


Figura 22. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de sensación grasa para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

Todos los tratamientos para fresa y uchuva presentaron una menor dureza con respecto al control. Para el tiempo cero la firmeza es mayor con respecto los demás tratamientos tanto en fresa como en uchuva, esto de-

bido principalmente a que durante el almacenamiento se presenta pérdida de turgencia de las células, ruptura de conexiones intercelulares por disolución de la lamina media de la pared celular y por hidrólisis debidas a las acciones enzimáticas sobre compuestos pécticos y amiláceos⁷⁵.

Jugosidad de fresas y uchuvas impregnadas

En las Figuras 23 y 24 se presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las evaluaciones sensoriales para los frutos de fresa y uchuva impregnados en el tiempo cero envasadas con vacío y sin vacío y almacenadas durante 9 días para fresa y 15 días para uchuva.

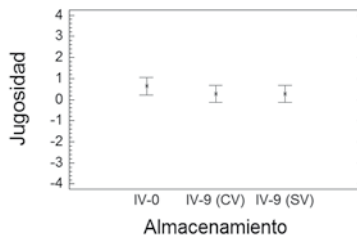


Figura 23. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de jugosidad para fresa recién impregnada 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

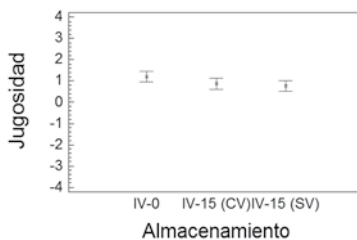


Figura 24. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de jugosidad para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

En el análisis del atributo jugosidad, los jueces evaluaron la percepción de la fase líquida por las papilas gustativas al masticar la muestra, encontrando diferencias significativas de las muestras comparadas con el patrón.

Entre los tratamientos no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. Las muestras impregnadas son evaluadas como más jugosas, esto puede deberse a la ausencia de fase gaseosa en ambas muestras y la presencia de la emulsión de impregnación en los espacios intercelulares⁷⁶.

Acceptación Global de fresas y uchuvas impregnadas

En las Figuras 25 y 26 se presentan los valores medios con intervalos LSD (95%) de las evaluaciones sensoriales para los frutos de fresa y uchuva impregnados en el tiempo cero envasadas con vacío y sin vacío y almacenadas durante 9 días para fresa y 15 días para uchuva.

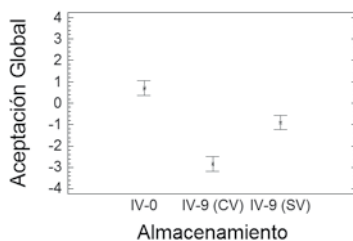


Figura 25. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de aceptación global para fresa impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 9 días con y sin vacío (IV-9 (CV) y IV-9 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

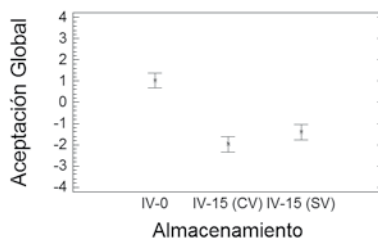


Figura 26. Valores medios con intervalos LSD (95%) de las puntuaciones de aceptación global para uchuva impregnada en el tiempo 0 (IV-0) y almacenada 15 días con y sin vacío (IV-15 (CV) y IV-15 (SV)).

Fuente: Elaboración propia

En general, la calidad de los productos evaluados en el tiempo cero presentaron mejor aceptación con respecto al control y a los demás tra-

tamientos, lo anterior debido a que los frutos impregnados exhibieron atributos de calidad similares a la fruta fresca en términos de: dulzura, acidez y firmeza, con características de madurez o punto de sazón propio para el consumo⁷⁷. Los tratamientos de los frutos envasados y almacenados presentaron las características típicas de productos en sobremaduración lo cual fue evaluado negativamente por los jueces⁷⁸.

Conclusiones

- La emulsión de fortificación utilizada de acuerdo al 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 de $117,1 \pm 27,8$ %VDR/100 g uchuva fresca. Para la fresas se alcanzaron niveles de $63,7 \pm 10,0$ %VDR/100 g fresa fresca con un tiempo de vida útil de equivalente a 9 días. El tipo de envasado, ni el tiempo no fueron influyentes en los niveles de la vitamina.
- El color estuvo afectado por el tratamiento IV, observándose las muestras más oscura 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 las frutas, estuvo afectadas por el tratamiento IV (menos duras), mientras que las variaciones con respecto al tiempo de almacenamiento y el tipo de envasado se consideraron más por variaciones propias del fruto fresco. El tiempo de vida útil se fijó en 15 días para la uchuva y 9 días para la fresa, de acuerdo a valoraciones del color, textura y estabilidad de la vitamina E en la matriz impregnada.
- Del estudio realizado se concluye que los tratamientos de impregnación con la emulsión, mejoran la calidad sensorial de las uchuvas y las fresas recién impregnadas, en términos de sabor y aceptación global. Estas muestras fueron evaluadas como más jugosas, más dulces y menos acidas que las muestras frescas. Además no se evidencia sensación grasa por efecto de la vitamina E de la emulsión.

Referencias

1. SCHAEFER, Sandra; *et al.* Polyphenolic apple juice extracts and their major constituents reduce oxidative damage in human colon cell lines. En: Molecular Nutrition & Food Research. 2006. Vol. 50, no. p. 24–33.
2. ZHANG, Yanjun; *et al.* Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties. En: J. Agric. Food Chem. 2008; Vol. 56, no.1. p. 670–675.
3. ZHANG, Yanjun; VAREED, Shaiju K. & NAIR, Muraleedharan G. Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. En: Life Sci. 2005. Vol. 76, no. 13. p. 1465–1472
4. FITO, Pedro. Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. En: Journal of Food Engineering. 1994. Vol. 22. p. 313-328.
5. FITO, Pedro & PASTOR, R. On some diffusional mechanism occurring Vacuum Osmotic Dehydration (VOD). En: Journal of Food Engineering, 1994. Vol. 21. p. 513-519.
6. CHIRALT, Amparo; *et al.* Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization and Process Assessment. Eds: F.A.R. Oliveira y J.C. Oliveira. Boca Ratón: CRC Press, 1999. p. 341-356.
7. CORTÉS RODRÍGUEZ, Misael. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. Valencia (España), 2003. , Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
8. MEJÍA, Ana Gabriela. Exportación de la uchuva a la Unión Europea y a otros países. En: Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana L.* En Colombia.. En: Exportaciones de la uchuva a la Unión europea y a otros países (eds). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2005. p 131-145.
9. WU, S.; *et al.* Supercritical carbon dioxide extract exhibits enhanced antioxidant and anti-inflammatory activities of *Physalis peruviana*. En: J. Ethnopharmacol. 2006. Vol. 108, no. 3. p. 407–413.
10. COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR.. Tabla de Composición de Alimentos Colombianos. Bogotá: El Instituto, 1992. p. 58.
11. GUTIÉRREZ, Tania; HOYOS, Olga & PÁEZ, Martha. Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana L.*), por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). En: Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2007. Vol. 5, no. 1. p. 70-79.

12. COLOMBIA INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Op. Cit. p. 58.
13. WU, S.; *et al*, Op. Cit. p.407–413
14. GUTIÉRREZ, Tania; HOYOS, Olga & PÁEZ, Martha; Op. Cit. p.70-79
15. BELLO, J. L. & SANTOS, A. Imagen del fresón en el consumidor. México: Especial Huelva, 1990. p. 27–29.
16. PINTO, Marcia da Silva; LAJOLO, Franco Maria & GENOVESE, Maria Inés.. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). En: Food Chemistry. 2008. Vol. 107. p. 1629–1635.
17. BELLO, J. L. & SANTOS, A. Op. Cit. p.27–29
18. PINTO, M., LAJOLO, M. & GENOVESE, M. Op. Cit. p. 1629–1635.
19. BELLO, J. L. & SANTOS, A. Op. Cit. p.27–29
20. BEATTIE, Julie ; CROZIER, Alan & DUTHIE, Garry. Potential health benefits of berries. En: Current Nutrition and Food Science. 2005, Vol. 1. p. 71–86.
21. DIPLOCK, A. T.; *et al* Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus document. British Journal of Nutrition. 1999. Vol. 81, Suppl. 1. p. 1–27.
22. MAZZA, G. Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza. España: Editorial Acirbia, 2000. 457 p.
23. ALVÍDREZ, Alicia; GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Blanca Edelia & JIMÉNEZ, Zacarías.. Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. En: Revista salud pública y Nutrición. Julio-Septiembre 2002. Vol. 3, no. 3. p. 576-587.
24. MAZZA, G. Op. Cit. 457 p.
25. DIPLOCK, A. T.; *et al*. Op. Cit. p. 1-27.
26. GARCÍA, Andrea. Desarrollo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesados fortificados con Calcio, Selenio y vitamina C, por aplicación de la técnica de impregnación al vacío. Bogotá, 2007. Proyecto de grado. Ingeniería de Alimentos. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
27. CORTÉS RODRÍGUEZ, Misael; GUARDIOLA, LUÍS FERNANDO & PACHECO, Roger. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (var. tommy atkins) con calcio. En: Dyna. Noviembre de 2007. Vol. 74, no. 153. p. 19-26.
28. BETORET, N.; *et al*. Development of Probiotic-enriched Dried Fruits by Vacuum Impregnation. En: Journal of Food Engineering. 2003. Vol. 56 no. 2-3. p. 273-277.

29. GARCÍA, A. Op. Cit.
30. SAYAZO, A. 2007. Vitamina E y aceites vegetales. En: Grasas y aceites. Enero-MARzo 2007. Vol. 58, no. 1. P. 74-86.
31. ZHENG, Wei; *et al.* Retinol, antioxidant vitamins, and cancer of the upper digestive tract in a prospective cohort study of postmenopausal women. En: Am. J. Epidemiol. 1995. Vol. 142, no. 9. p. 955-960.
32. VIRTAMO, Jarmo; *et al.* Effect of vitamin E and betacarotene on the incidence of primary non fatal myocardial infarction and fatal coronary heart disease. En: Arch Interh Med. March 1998. Vol. 158, no. 6. p. 668-675.
33. HEINONEN, Olli; ALBANES, Demetrius & VIRTAMO, Jarmo.. Prostate cancer and supplementation with -tocopherol and -carotene: incidence and mortality in a controlled trial. En: J. Natl. Cancer Inst., 1998. Vol. 90. P. 440-446.
34. MEYDANI, S. N.; *et al.* Vitamin E supplementation and in vivo immune response in healthy elderly subjects. A randomized controlled trial. En: F Am. Med. Ass. 1997. Vol. 277. p. 1380-1386.
35. FITO, P.; Op. Cit. p. 313-328.
36. FITO, P. & PASTOR.; Op. Cit. p.513-519.
37. FITO, Pedro; *et al.* Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxion Phenomena During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. En: Journal of Food Engineering. 1996. Vol. 27. p. 229-240.
38. CHIRALT, Amparo; *et al.*, Op. Cit. p. 341-356.
39. FITO, Pedro & PASTOR. Op. Cit. p.513-519
40. FITO, Pedro; Op. Cit. p. 313-328.
41. CHIRALT, Amparo; *et al.*, Op. Cit. p. 341-356.
42. MARTÍNEZ-MONZÓ, Javier. Cambios físico-químicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. Valencia (España), 1998. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
43. CORTÉS, Misael. Op. Cit
44. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Fresa variedad Chandler: especificaciones técnicas. Bogotá: ICONTEC, 1997. 14 p. (NTC 4103)
45. AOAC. Official Methods of analysis. 13th Edition. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists, 1980.
46. _____. _____. 15th Edition. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists, 1990.

47. KAUFMAN, V. R. & GARTI, N. Spectral Absorption for Determination of ease of Formation and Stability of oil in water emulsions. En: J Dispersion Science and Technology. 1981. Vol. 2, no. 4. p. 475-490.
48. FITO, Pedro; Op. Cit. p. 313-328.
49. CORTÉS, Misael. Op. Cit
50. MEILGAAR, Morten; CIVILLE, Gail Vance & Carr, B. Thomas. Sensory Evaluation techniques. 3th edition. Washington D.C.: CRS PRESS LLC. 1999. 416 p.
51. IBAÑEZ, F. C. y BARCINA, Y. Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones. Barcelona: Springer Ibérica, 2001. 179 p.
52. BETORET, N.; Op. Cit. p. 273-277
53. FITO, Pedro y CHIRALT, Amparo; Op. Cit. p.189-204.
54. ALVARADO, Paola Andrea; VERDUGO, Carlos Andrés y FISHER, Gerhard. 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. En: Agronomía Colombiana. 2004. Vol. 22, no. 2. p. 147-159
55. FITO, Pedro; Op. Cit. p. 313-328.
56. FITO, Pedro y CHIRALT, Amparo; Op. Cit. p.189-204.
57. ALMENAR ROSALENY, Eva María. Envasado activo de fresas silvestres. Valencia (España), 2005. 271 p. Tesis Doctoral. Universitat de València. Departament de Medicina Preventiva, Salut Pública, Bromatologia, Toxicologia i Medicina Legal
58. GIRALDO, German. El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. En: Vitae. 2006. Vol. 13, no. 2. p. 21-25
59. ALVARADO, Paola Andrea; VERDUGO, Carlos Andrés y FISHER, Gerhard.; Op. Cit. p. 147-159.
60. FITO, Pedro; *et al.*; Op. Cit. P. 175-183.
61. DICKINSON, E.; Op. Cit. p. 175-199, 1992.
62. LARSSON, Kare & FRIBERG, Stig. Food Emulsions. En Surface Forces in Emulsions, 2^a edition. New York : Marcel Dekker Inc, 1990. p. 41-96 Food science and technology series
63. GARCÍA, A. Op. Cit
64. CORTÉS, M. ; GUARDIOLA, L. & PACHECO R. Op. Cit. p. 19-26.
65. CORTÉS, M. Op. Cit

66. GARCÍA, A. Op. Cit
67. FITO, Pedro y CHIRALT, Amparo. Op. Cit. p.189-204.
68. ALZAMORA, S. M. & GERSCHENSON, L. N. Effect of water activity depression on textural characteristics of minimally processed fruit. In: New Frontier in Food Engineering. En: Proceedings of the 5th Conference of Food Engineering. Barbosa-Canovas, G.V.; Lombardo,S.; Narsimhan, G.; Okos, M.R, eds. New York: AICHE, 1997. p. 72-75.
69. IGUAL, M.; *et al.* Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. En: Journal of Food Engineering. 2008. Vol. 86, no. 3. p. 315–323.
70. NOVOA, R.; *et al.* La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). En: Agronomía Colombiana. 2006. Vol. 24, no. 1 p. 77-86.
71. GILABERT PÉREZ, Eduardo. Medida del color. En: Interacción de la radiación con la materia. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2002. 464 p.
72. SALISBURY, Frank & ROSS, Cleon. Fisiología vegetal. , México: Iberoamérica, 1992. 759 p.
73. TAIZ, Lincoln & ZEIGER, Eduardo. Plant physiology. Sunderland, Massachusetts : Sinauer Associates Inc., 2002. 690 p.
74. FENNEMA, Owen. Química de los Alimentos. 2ª edición. Editorial Acribia S.A., 2000. p. 633-734.
75. AZCÓN-BIETO, Joaquin & TALÓN, Manuel. Fundamentos de fisiología vegetal. España: McGraw Hill, 2003. 522 p.
76. FITO, Pedro, CHIRALT, Amparo.; Op. Cit. p.189-204.
77. AZCÓN-BIETO, Joaquin & TALÓN, Manuel. Op. Cit. p. 522.
78. VILLAMIZAR, Fanny. Manejo tecnológico poscosecha de frutas y hortalizas: manual de prácticas. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería, 2001. 130 p.

