

VALORACIÓN DE ATRIBUTOS DE CALIDAD EN PEPINO (*Cucumis sativus* L.) FORTIFICADO CON VITAMINA E.

VALUATION OF QUALITY ATTRIBUTES IN CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.) FORTIFIED WITH VITAMIN E.

VALORAÇÃO DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM PEPINO (*Cucumis sativus* L.) FORTIFICADO COM VITAMINA E.

MISAEEL CORTÉS¹, YISELL JOHAN MARTELO², EDUARDO RODRÍGUEZ³

PALABRAS CLAVE:

Cucumis sativus L., Impregnación al vacío, vitamina E, fortificación, productos mínimamente procesados.

KEYWORDS:

Cucumis sativus L., Vacuum impregnation, vitamin E, Fortification, minimally processed products.

PALAVRAS CHAVE:

Cucumis sativus L., Impregnação ao vácuo, Vitamina E, Fortificação, produtos mínimamente processados.

RESUMEN

*El objetivo de este trabajo fue desarrollar un producto mínimamente procesado fortificado con vitamina E, a partir de pepino (*Cucumis sativus* L), utilizando la ingeniería de matrices. Rodajas impregnadas al vacío (IV) con DL- α -tocoferol acetato emulsificado en una fase acuosa isotónica al pepino (NaCl al 1%), son evaluadas en cuanto a propiedades fisicoquímicas, color, textura, estabilidad de la vitamina E y sensorialmente, por influencia del proceso, tiempo de almacenamiento y envasado (con y sin vacío). La vitamina E se cuantifica por HPLC (% del valor diario recomendado (VDR) /100 g de pepino fresco), según la norma Colombiana. La respuesta IV alcanza niveles de $6.05 \pm 1.49\%$, correspondiente a 33.3 ± 5.8 mg vitamina E y $110.5 \pm 19.1\%$ VDR en 100 g de pepino fresco. Durante el almacenamiento en 9 días se presenta una pérdida aproximadamente del 50%, debido a la poca retención de la emulsión en el interior de la matriz. Los parámetros fisicoquímicos, el color y la textura son afectados por la IV, el tiempo y el envasado, siendo durante el almacenamiento más oscuras y más resistentes que el producto fresco. La ingeniería de matrices representa una metodología efectiva para fortificar el pepino con vitamina E.*

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a minimally processed product fortified with vitamin E, starting from cucumber (*Cucumis sativus* L), using

Recibido para evaluación: 12 de Enero de 2011. Aprobado para publicación: 7 de Febrero de 2011

1 Ingeniero Químico. Ph.D. Ingeniería de Alimentos. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

2 Ingeniera Química. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

3 Ingeniero Químico. Ph.D. Ingenierías. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Correspondencia: mcortesro@unal.edu.co

the vacuum engineering. Vacuum impregnated Slices (IV) with DL- α -tocopherol acetate emulsified in an isotonic watery phase to the cucumber (NaCl to 1%), are evaluated as for the physiochemical properties, the color, the texture, the stability of the vitamin E and sensorially, for process influence, time of storage and packed (with and without vacuum). The vitamin E is quantified by HPLC (% of the Recommended Daily Value (VDR) /100 g of fresh cucumber), according to the Colombian norm. The IV answer reach levels of $6.05 \pm 1.49\%$, corresponding to 33.3 ± 5.8 mg vitamin E and $110.5 \pm 19.1\%$ VDR in 100 g of fresh cucumber. During the storage in 9 days presented approximately a loss of 50%, due to the little retention of the emulsion inside the matrix. IV, the time, and the packed, being during storage, darkest and more resistant than the fresh product, affect the physiochemical parameters, the color, and the texture. The vacuum engineering represents an effective methodology to fortify the cucumber with vitamin E.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi desenvolver um produto minimamente processado fortificado com vitamina E, a partir de pepino (*Cucumis sativus* L), utilizando a engenharia de matrizes. Fatias de pepino foram impregnadas a vácuo (IV) com DL- α -acetato de tocoferol emulsificado numa fase aquosa isotónica (NaCl a 1%), e foram avaliadas quanto às propriedades físico-químicas, cor, textura, estabilidade da vitamina E e sensorialmente, tendo em consideração os factores: processo, tempo de armazenamento e envasado (com e sem vácuo). A vitamina E quantificou-se por HPLC (% do Valor Diário Recomendado (VDR) /100 g de pepino fresco), de acordo com a norma Colombiana. A resposta à IV alcançou níveis de $6.05 \pm 1.49\%$, correspondente a 33.3 ± 5.8 mg vitamina E e $110.5 \pm 19.1\%$ VDR em 100 g de pepino fresco. Durante o armazenamento em 9 dias mostrou uma perda de cerca de 50%, devido à pouca retenção da emulsão no interior da matriz. Os parâmetros físico-químicos, a cor e a textura foram afectados pela IV, o tempo e a embalagem durante o armazenamento, sendo mais escuras e mais resistentes que o produto fresco. A engenharia de matrizes se pode considerar uma metodologia eficaz para fortificar o pepino com vitamina E.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los consumidores han tenido grandes cambios en los hábitos alimentarios, buscando mejores beneficios para la salud, y la industria en este sector trata cada día de subsanar estas necesidades. Existe un interés de los consumidores hacia los productos naturales listos para su consumo, que además de nutrientes, y componentes de aroma, sabor, color y textura, contengan componentes fisiológicamente activos (CFA), capaces de tener efectos positivos para promover y/o restaurar las funciones fisiológicas del organismo humano y/o reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas. Estos alimentos son conocidos como alimentos funcionales y ciertos autores los han definido como "cualquier alimento o ingrediente alimentario que produzca efectos beneficiosos sobre las funciones orgánicas, además de sus efectos nutricionales intrínsecos, apropiados para mejorar la salud y el bienestar y reducir el riesgo de enfermedades [1]. Algunos ejemplos de estos alimentos incluyen alimentos naturales como frutas, verduras con altos contenidos de CFA y otros procesados fortificados con CFA, donde los estudios clínicos demuestran el efecto en la reducción

del riesgo de adquirir enfermedades cardíacas, brindan protección frente a los agentes químicos que pueden provocar el cáncer [2], además participan en un óptimo crecimiento y desarrollo del organismo, en la función del sistema cardiovascular [3], el metabolismo de xenobioticos, el sistema gastrointestinal, entre otros [4,5].

Los avances en la ingeniería, ciencia y tecnología de alimentos, permiten modificar y controlar la estructura física y la composición química de los mismos a través de la Ingeniería de matrices [6], permitiendo el desarrollo de un mercado de nuevos productos funcionales con características de productos frescos: productos minimamente procesados funcionales (PMPF). La ingeniería de matrices utiliza los conocimientos en composición de las matrices alimentarias, sus estructuras y sus propiedades micro estructurales para generar cambios favorables al aplicar la técnica de impregnación a vacío (IV), la cual extrae los gases o líquidos extracelulares de los alimentos y permite el ingreso de soluciones, dispersiones o emulsiones que contienen CFA deseados a incorporar en el alimento [6]. En este sentido el desarrollo de PMPF a partir de estructuras vegetales utilizando CFA como antioxidantes dietéticos

tales como la vitamina E, representa una alternativa muy innovadora, ya que esta vitamina tiene excelentes propiedades como neutralizadora de radicales libres, protegiendo las células del organismo. Durante la última década, algunos investigadores han aplicado el proceso IV con diferentes objetivos: hongos fortificados con vitamina C, Ca, Se [7], mango fortificado con Ca [8], uchuva enriquecida con microorganismos probióticos [9], calabaza fortificada con hierro [10] y zanahoria cubierta con quitosán, metilcelulosa y ácido oleico [11]. Aplicaciones de fortificación con vitamina E en diferentes estructuras avalan la efectividad de la metodología: manzana [12, 13], uchuva y fresa [14, 15, 16, 17, 18].

La vitamina E es el antioxidante liposoluble más importante que suministra una red protectora contra el estrés oxidativo, junto con otros antioxidantes tales como la vitamina C. [19, 20]. Existen diferentes formas químicas con distintas actividades vitamínicas, tales como los tocoferoles y tocotrienoles, los cuales presentan variación en su biodisponibilidad, así como también en propiedades antioxidantes intrínsecas [21].

El pepino es una hortaliza que presenta un amplio interés industrial por la facilidad de adaptación al procesamiento mínimo. Esta hortaliza se utiliza mucho en la elaboración de ensaladas [22, 23], y es conocido como uno de los vegetales de menor valor energético, siendo su contenido en fibras y vitaminas C, A, y tiamina, bajo con respecto a la media de otras hortalizas [24].

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un PMPF con vitamina E, a partir del pepino, utilizando la ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales.

MÉTODO

Material vegetal

Se utilizaron pepinos variedad cohombro, obtenidos de un mercado local de Medellín, con superficie verde oscuro y uniforme, sin amarillos y longitudes entre 20 y 30 cm. Se utilizaron rodajas cilíndricas del tejido del mesocarpio de 1 cm de espesor y diámetro interno \approx 2.5-3.5 cm y externo \approx 3 a 5 cm; a las muestras se les retiró la sección interna donde se alojan las semillas, junto con el material gelatinoso que las envuelve.

Parámetros de calidad

Se determinó el contenido de humedad (kg agua/kg mt) en estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante [25]; el pH usando un titulador automático por inmersión del electrodo en la muestra (Hanna Instruments pH 211, previa calibración con soluciones tampón de pH 2, 4, 7 y 10 a 25°C; el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) por lectura refractométrica con un refractómetro Metler Toledo a 20°C; la acidez por titulación con NaOH 0,1N, utilizando fenolftaleína como indicador y se expresó en gramos de ácido cítrico por 100 g de muestra; la densidad de las disoluciones por el método del picnómetro [26]; la densidad aparente (ρ_{apm}) por la relación de masa de la muestra y volumen desplazado por la misma en una probeta. El color se determinó en un espectrofotómetro X-RITE, modelo SP64, iluminante D65 y observador de 10° como referencia; a partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIE $L^*a^*b^*$ y las coordenadas tono o matiz $h_{ab}^* = \arctan(b^*/a^*)$ (Ec. 1) y croma o saturación $C_{ab}^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (Ec. 2). La textura se determinó a partir de ensayos de punción, utilizando un analizador de textura TA.XT2, Stable Micro Systems (SMS), software textura expert exceed, versión 2.64, sonda metálica de 0.5 cm de diámetro, velocidad de penetración de 0,2 cm/s hasta una distancia de 0.5 cm. Se determinó la fuerza máxima de deformación (F_{max}) en el mesocarpio de la rodaja del pepino.

Proceso IV

Los experimentos de IV fueron llevados a cabo en un impregnador al vacío, el cual consiste en una cámara de acero inoxidable con un sistema electromecánico en su interior para desplazar la muestra dentro y fuera del recipiente que contiene el líquido de impregnación (LI), acoplado a un sistema de vibración para eliminar la emulsión adherida en la superficie de las muestras; el sistema cuenta con una bomba de vacío Dosivac DVR 140 y un vacuómetro (0 – 101.32 kPa). La presión barométrica local fue de 85.33 kPa. El proceso IV consistió en sumergir las muestras en el LI, colocadas previamente en una malla de acero inoxidable, y someterlas a un vacío de 20 kPa durante 5 min., posteriormente se restableció la presión atmosférica y se mantuvieron las muestras sumergidas por otros 5 min. Se determinó la evolución de los pesos y volúmenes de las muestras

y la EI, expresándose la respuesta IV en términos de la fracción y deformación volumétrica en la etapa de vacío (X_1 : m³ de solución impregnada/m³ de muestra inicial y γ_1 : m³ de deformación en la muestra /m³ de muestra inicial) y al final del proceso (X y γ), además de la porosidad eficaz (E_e : m³ de gas/m³ de muestra) según la ecuación 3.

$$E_e = \frac{X - \gamma}{(1 - 1/r)} \quad (\text{Ec. 3})$$

La metodología y el cálculo de los parámetros IV ha sido descrita según modelos matemáticos por algunos autores [27].

Formulación, preparación y estabilidad de la emulsión

El LI fue una emulsión (EI), con fase acuosa isotónica al vegetal (solución de NaCl al 1% p/p), se utilizó una mezcla de surfactantes, Span 60 (BHL=4.7) y Tween 80 (BHL= 15) (0.049 y 0.051% p/p), respectivamente [13] y pectina de bajo metoxilo (0.3% p/p) para favorecer la retención de la EI en el interior de la matriz, al interactuar con el calcio propio del pepino fresco. El cálculo de la composición de la vitamina E (DL-a tocoferol acetato, 96.7% pureza) y el ácido ascórbico en la EI, se realizó mediante el balance de materia en el sistema de impregnación descritos en la ecuaciones 3 y 4 [13], lo que implicó realizar pruebas preliminares de IV con la solución isotónica de NaCl 1% p/p (SI), para conocer un valor inicial de X.

$$Y_{EI}^{CFA} = \frac{x_{CFA}^{IV} (\rho_{apm} + X \rho_{SI}) - X_0 \rho_{apm}}{X \rho_{SI}} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$X_{CFA}^{IV} = \frac{\text{Peso a incorporar del CFA (g)}}{\left(100 + 100 X \frac{\rho_{SI}}{\rho_{apm}} \right)} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde, X_0 y x_{CFA}^{IV} son las fracción máscas de vitamina E en pepino fresco e impregnado respectivamente; ρ_{SI} la densidad de la SI; Y_{EI}^{VitE} la fracción máscas de vitamina E en la EI. El criterio de fortificación de la vitamina E,

se fijó en un 73% del Valor Diario de Referencia (VDR) (0.022 g DL- α -tocoferol acetato/100 g pepino), según el decreto 288 de 2008 del Ministerio de Protección Social de Colombia [28]. Se utilizó como acidulante, el ácido ascórbico, fijándose en 60 mg/100 g de pepino, para contribuir en la conservación del producto [23].

La EI se preparó en un homogenizador IN-LINE (IKA-Werke), acoplado a un recipiente de vidrio con camisa de enfriamiento, bajo condiciones de agitación de 10000 rpm, durante 10 minutos. El índice de estabilidad (R) de la EI, se determinó a partir del método de absorción espectral a un tiempo de 24, 48 y 72 horas, por lecturas de absorbancia a 800 y 400 nm ($R = A_{800} / A_{400}$) [29], medidas en un espectrofotómetro ThermoSpectronic Genesys 20.

Almacenamiento

Las muestras impregnadas fueron almacenadas a 4°C y envasadas con y sin vacío (CV y SV), 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 ($60 \text{ cc/m}^2/24\text{hr/atm}$, $23 \text{ }^\circ\text{C}$), N_2 y CO_2 . El tiempo de estudio se fijó en 9 días, según ensayos preliminares con pepino fresco que permitiera niveles de hongos y levaduras aceptables y características de producto no fermentado. Los parámetros fisicoquímicos se realizaron en 7 muestras para cada control (0 y 9 días). El color y la textura se valoraron a tiempos de 0, 3, 6, y 9 días, llevándose a cabo muestreos de 7 pepinos/empaque para cada condición de almacenamiento, tomando 3 lecturas a 120° para 3 posiciones (zona media y extremos), resultando en un total de 63 lecturas para cada condición de almacenamiento. La cuantificación de la vitamina E se realizó por triplicado para cada condición de almacenamiento, en estado fresco y tiempos de 0 y 9 días.

Extracción y cuantificación de la vitamina E

La extracción de vitamina E se realizó por el método descrito por Kmostak y Kurtz [30], adaptado por Cortés [13], utilizando hexano como disolvente de extracción. Al residuo seco de extracción con el DL-a-tocoferol acetato se le adicionó 1 mL de metanol y se inyectó 25 mL en el HPLC (Shimadzu Prominence 20A). Las condiciones del HPLC fueron las siguientes: columna Premier C18, Synergi 5 μm , dimensiones 250 x 4.6mm ID., tamaño de partícula: 5 μm , fase móvil (Metanol/Acetonitrilo: 75/25), velocidad de flujo: 1mL/min,

método: Isocrático, temperatura columna: (45°C), detector: arreglo de fotodiodos, 285 nm. Las curvas de calibración se construyeron con disoluciones de vitamina E en metanol con concentraciones del estándar de referencia de DL-a-tocoferol acetato ($99.9 \pm 0.5\%$), marca Supelco de 0.0098, 0.0196, 0.0489, 0.0978, 0.1956, 0.3912, 0.4890, 0.7824, 0.9780, 1.1736, 1.3692, 1.5648, 1.9560 y 4.890 mg/mL y otra con el estándar primario Supelco dl-a-Tocoferol (rango: 0.0019 mg/mL – 0.9966 mg/mL).

Análisis sensorial

La valoración sensorial fue realizada por triplicado con un panel entrenado de 10 jueces de la Fundación INTAL, Medellín, mediante pruebas escalares [31], con el objetivo de cuantificar las diferencias sensoriales introducidas en los productos recién impregnados (IV-0) e impregnados a un tiempo de almacenamiento de 9 días con vacío (IV-9CV) y sin vacío (IV-9SV), con respecto a una muestra de referencia fresca. Se calificó en una escala numérica bipolar de 9 bloques con calificación 1, 2, 3, 4 (> intensidad del atributo) y -1, -2, -3, -4 (< intensidad del atributo), posicionando la referencia en el bloque central. Los atributos evaluados fueron color, sabor salado, sabor ácido, sabor amargo, sensación grasa, dureza, jugosidad y aceptación global.

Análisis micro estructural

Se utilizó la técnica por microscopía electrónica de barrido, con un equipo marca JEOL JSM 5950 LV, 25 Pa de vacío y 15 kv, para determinar el tamaño promedio de las gotas en los espacios intercelulares del pepino IV. Las muestras fueron liofilizadas inicialmente y recubiertas con una capa de oro para su observación.

Análisis estadístico

Los resultados fueron evaluados a partir de ANOVAS utilizando el método LSD (Mínimas Diferencias Signi-

ficativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

RESULTADOS

Respuesta a la IV

La tabla 1 presenta los valores medios y las desviaciones estándar de X_1 , g_1 , X , g y E_e en muestras IV con la SI y la EI. El ANOVA no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) por efecto del LI y los resultados identifican en la etapa de vacío una salida de líquido nativo desde el interior de la estructura (X_1 negativo). Los valores de g_1 no se consideraron relevantes, mientras se presenta una deformación volumétrica global de la estructura del orden del -1.7%, lo cual se atribuye a un ajuste balanceado entre el mecanismo hidrodinámico (MHD) y el fenómeno deformación-relajación (FDR), que muestra la estructura con características visco elásticas, sin alcanzar su posición inicial. Los valores medios de X ($6.5 \pm 2.4\%$) y E_e ($9.1 \pm 3.2\%$) identifican la estructura como apta para el proceso de incorporación de CFA en su interior y hay un significativo aumento de la porosidad efectiva para el proceso IV con respecto a la porosidad real (3.4%) [32].

Emulsión de impregnación

La tabla 2 presenta los parámetros fisicoquímicos y la composición de la vitamina E y el ácido ascórbico en la EI. Se observa que las composiciones de estos componentes en la EI son bajas, que haría que el costo del producto sea alto.

La tabla 3 presenta el índice R, en función del tiempo, para diferentes % totales de surfactantes con un Balance Hidrofílico Lipofílico (BHL) de 8. En todos los tiempos, la composición de 0.1% p/p, fue la que presentó el menor

Tabla 1. Respuesta a la IV en función del tratamiento de impregnación con solución y emulsión isotónica.

Líquido de impregnación	X_1 (%)	γ_1 (%)	X (%)	γ (%)	E_e (%)
SI	$5.51 \pm 1,76$	$-0.08 \pm 0,99$	$6.72 \pm 2,72$	$-2.33 \pm 1,26$	$9.35 \pm 2,57$
EI	$5.09 \pm 1,41$	$-0.16 \pm 0,74$	$6.05 \pm 1,49$	$-1.27 \pm 1,07$	$7.76 \pm 1,74$

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y composición de la EI.

ρ_{apm}	$\rho_{NaCl\ 1\%}$	x_{VitE}^V	$x_{a.ascorbico}^V$	Y_E^{VitE}	$Y_E^{a.ascorbico}$
g/cc	g/cc	g/g	g/g	g/g	g/g
0.962±0.030	1.014±0.105	0.000205	0.000224	0.0032	0.00226

índice R; lo cual es favorable para la estabilidad de la EI y está relacionada con el menor tamaño de gotas de vitamina E en el sistema coloidal [29, 33]. Por otro lado, desde el punto de vista práctico, pequeñas cantidades de electrolitos monovalentes de NaCl presente en la EI, contribuyen a estabilizar la emulsión, por la formación de anchas dobles capas eléctricas en la fase continua [13].

Caracterización fisicoquímica

La Figura 1. presenta valores medios con intervalos LSD (95%) de la humedad (%), °Brix, acidez (%) y pH, en muestras de pepino fresco, IV-0 e IV-9 (SV y CV). El ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al factor IV en todos los parámetros con excepción de los °Brix ($p > 0.05$). Los resultados debidos a la IV, presentaron una tendencia a la disminución de la humedad y del pH y el correspondiente incremento en la acidez. Esta situación se asocia principalmente a un balance de pérdidas o ganancias de fluidos, debido, por un lado a la salida de líquido nativo comprobado a través de la respuesta a la IV comentada anteriormente y por otro lado, a la cantidad de EI incorporada en la estructura, la cual presenta componentes que pueden modificar la composición final del pepino impregnado: agua (98.1%) y otros solutos como la sal, pectina y ácido ascórbico.

Se presentaron cambios significativos ($p < 0.05$) en todos los parámetros en las muestras IV, debido a los factores tiempo de almacenamiento y tipo de envasado, siendo los rangos de variabilidad pequeños. La disminución de la humedad ($96.43 \pm 0.2\% \rightarrow$

$95.58 \pm 0.2\%$), el incremento de los °Brix ($3.35 \pm 0.15\% \rightarrow 3.82 \pm 0.197\%$) y de la acidez ($0.13 \pm 0.05\% \rightarrow 0.18 \pm 0.013$), posiblemente estén relacionados a la deshidratación de las muestras debido al diferencial en el potencial químico entre el espacio de cabeza y las muestras de pepino. El pH disminuye para las muestras CV, lo cual es debido a procesos fermentativos en las condiciones anaeróbicas de envasado. A todo lo anterior, se suman los cambios asociados a la misma variabilidad composicional del pepino fresco.

Figura 1. Valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros fisicoquímicos del pepino fresco, IV-0 e IV-9 (CV y SV).

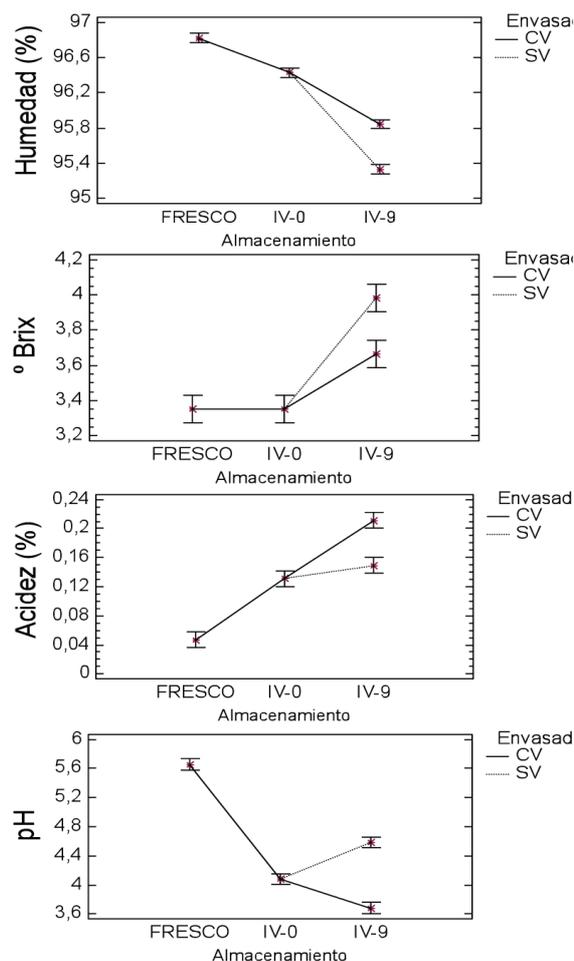


Tabla 3. Índices de estabilidad de la EI en función del % de surfactantes y el tiempo.

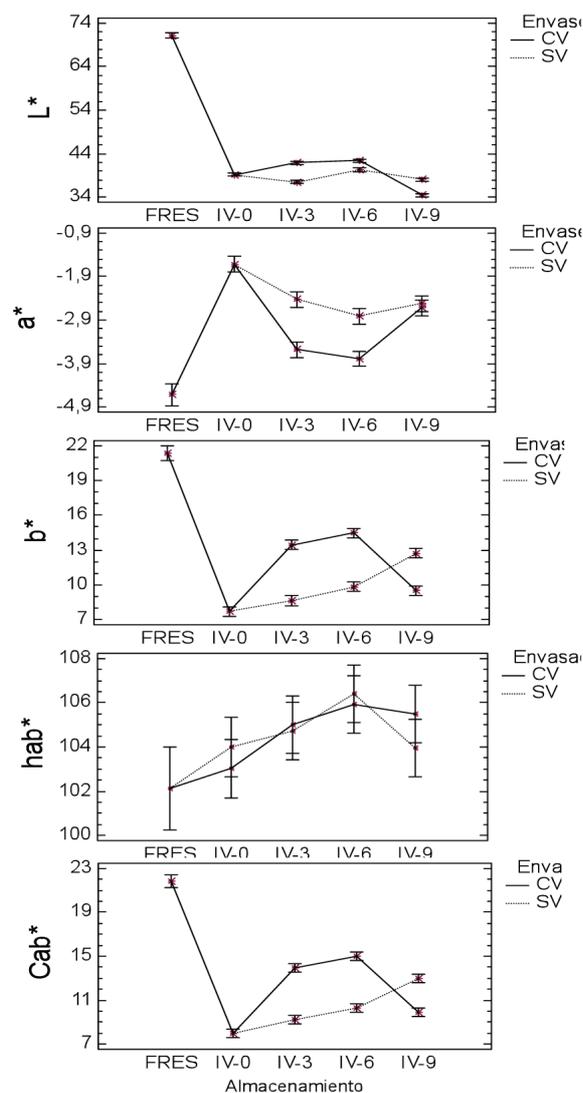
Surfactantes (%, p/p)	R		
	24 h	48 h	72 h
0.1	0.3545	0.2980	0.2308
0.15	0.5412	0.5018	0.4744
0.2	0.4678	0.4016	0.3519

Color

La Figura 2 presenta valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros de color L^* , a^* , b^* , h_{ab}^* y C_{ab}^* en muestras de pepino fresco (FRES), recién impregnadas (IV-0) e impregnadas y almacenadas durante los tiempos de control (IV-3, IV-6 e IV-9), en condiciones CV y SV.

El ANOVA reportó diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los parámetros por efecto del proceso IV. Esta situación se atribuye por los cambios inducidos por la presencia de la EI en los espacios intercelulares, que hace que haya un incremento de la homogeneidad del índice de refracción en la superficie, absorbiendo más

Figura 2. Parámetros de color en pepino fresco e impregnado durante el almacenamiento.



luz y observándose más oscuras ($L^* <$), translúcida y acentuándose la presencia de la poca clorofila contenida en el mesocarpio [34], sin embargo en el plano cromático a^*b^* , las muestras FRES e IV-0 se mueven en la zona de la escala de los grises, sin presentar cambios apreciables en la saturación y tonalidad de color.

Durante el almacenamiento, el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) en L^* , a^* , b^* y C_{ab}^* , debidas a los factores tiempo y tipo de envasado; mientras que para h_{ab}^* existen diferencias por efecto del tiempo más no por el tipo de envasado. Se observa inicialmente una disminución en a^* con un incremento en b^* hasta el día 6, lo cual se identifica en el plano cromático a^*b^* como una movilidad desde la escala de los grises hacia tonalidades ligeramente amarillas (h_{ab}^* entre 104° y 109°) y con cambio en la intensidad del color ($C >$). Bajo estas condiciones no se puede afirmar una degradación de la clorofila, podrían estar ocurriendo algunas reacciones vía enzimática por hidroperoxidación lipídica, cuyo comportamiento ha sido estudiado en pepino cortado y almacenado a 4°C [23]. Por otro lado, la evolución en el tiempo hacia el tono amarillento, podría asociarse a la posible acumulación del pigmento feofitina [35]. Estas reacciones son manifestadas en el pepino vía fosfolipasa junto con una hidrólisis de diacil glicerol y oxidación de ácidos grasos polinsaturados [36], ocasionando la degradación del producto procesado en estado fresco.

Textura

La Figura 3 presenta valores medios con intervalos LSD (95%) de la (F_{max}) del mesocarpio y de la relación de la F_{max} y la distancia (F_{max}/D) para el pepino fresco (FRES), recién impregnadas (IV-0) e impregnados y almacenados durante los tiempos de control (IV-3, IV-6 e IV-9), en condiciones CV y SV. El ANOVA presentó diferencias significativas en F_{max} y F_{max}/D por efecto del proceso IV, tiempo y tipo de envasado. Se observa en el pepino FRES, que la F_{max} se alcanza a distancias muy cercanas a la superficie ($F_{max}/D >$) y esta se incrementa debido al proceso IV, con una disminución de F_{max}/D . Esta situación no es muy clara, sin embargo puede ser atribuido al fenómeno de generación de exudado claro y pegajoso que cubre la superficie, manifestada después de un tiempo en que el vegetal ha sido sometido al corte, esto le confiere a la muestra una mayor resistencia por el tipo de cobertura ligeramente gelificante, debido a la deposición de lignina y posterior

cicatrización del tejido para contrarrestar la peroxidación lipídica de la membrana [37].

Durante el almacenamiento de las muestras IV, hay una ligera tendencia de incrementar la F_{max} y la relación F_{max}/D varía entre 5 y 7, con lo cual se considera que con el tiempo, la resistencia mecánica en la superficie sufre un debilitamiento por efecto de la misma senescencia del producto.

Estabilidad de Vitamina E

Las rectas de calibración para la cuantificación de las formas de vitamina E, presentaron un buen ajuste de regresión: DL- α -tocoferol acetato (Vitamina E sintética) ($Y = 2.62664 \times 10^{-7} - 0,0636509$, $R^2 = 0.998$) y dl- α -tocoferol (Vitamina E natural) ($Y = 1.6517 \times 10^{-7} - 0,00252259$, $R^2 = 0.999$), con tiempos de retención de $11,78 \pm 0,09$ y $9,88 \pm 0,02$ minutos respectivamente. El contenido vitamina E en el pepino fresco, registró niveles despreciables, por lo que no se consideró en la ecuación 1 ($X_0 \approx 0$).

La tabla 4 presenta los valores medios más la desviación estándar de la concentración de vitamina E ($C_{vit.E}$) expresado como mg DL- α -tocoferol acetato /100 g pepino fresco, durante el almacenamiento a 4°C. Los resultados obtenidos, muestran la efectividad del proceso IV para la incorporación de la vitamina E en la matriz del pepino, alcanzando %VDR/100g superiores a los teóricos fijados (73%), lo cual corresponde a un 27% de mayor impregnación, es decir es posible que las muestras experimentales para estos ensayos hayan presentado

Figura 3. Parámetros de textura para muestras de pepino en estado fresco (FRES), recién impregnadas (IV-0) e impregnadas IV-9 (CV y SV).

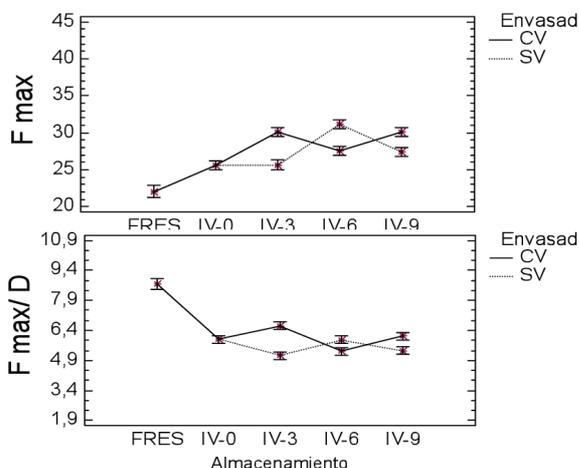


Tabla 4. $C_{vit.E}$ (mg DL- α -tocoferol acetato /100 g FRESC) de pepino IV durante el almacenamiento.

Muestra	$C_{vit.E}$		%VDR $_{vit.E}$ /100g FRESC	
	CV	SV	CV	SV
IV-0	33.3±5.8		110.5±19.1	
IV-9	15.8±2.41	14.2±0.20	52.44±7.99	47.02±0.66

niveles de X superiores al promedio (6.05%), lo cual significaría que los niveles de impregnación serían del orden de $X \approx 9\%$.

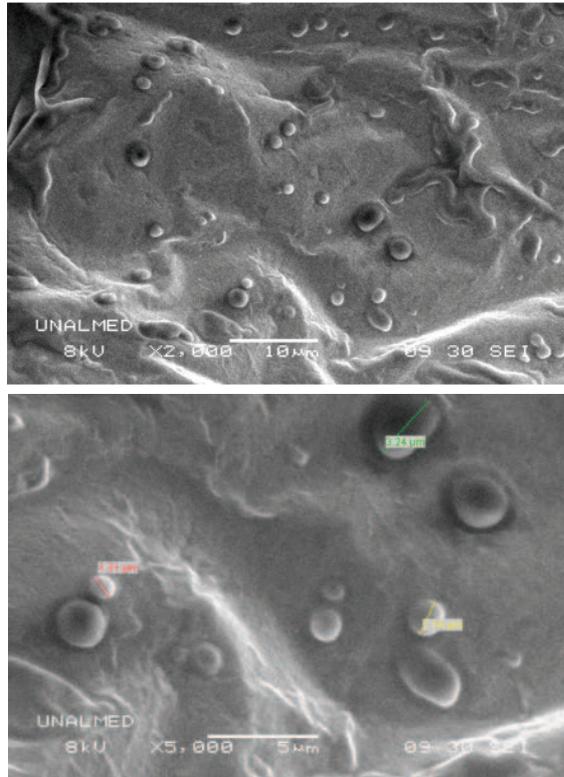
La $C_{vit.E}$ en las muestras IV con el tiempo, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto al tiempo, pero no con respecto al tipo de envasado. Esta disminución de $C_{vit.E}$ se atribuye al fenómeno de relajación que sufre la estructura durante el almacenamiento, que permite la salida de EI desde el interior. Sin embargo, los niveles alcanzados durante los 9 días fueron del orden del 50% VDR, por lo que no se considera necesario envasar CV.

Evaluación microestructural

La figura 4 presenta micrografías a 5.000 y 2.000 aumentos, en la zona interna del mesocarpio impregnado con la EI. Se observan las partículas esféricas de vitamina E, con tamaños aproximados entre 1 y 3.5 μm , lo cual es coherente con los resultados de estabilidad de la EI. Algunas investigaciones de IV con vitamina E han reportado diámetros entre 1 y 1.5 μm en manzana [13] y entre 2 y 3 μm en uchuva [14, 18].

Análisis sensorial

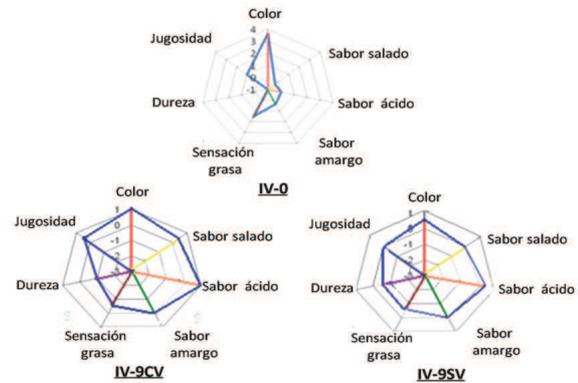
La figura 5 presenta las intensidades de los atributos de color, sabor salado, sabor ácido, sabor amargo, sensación grasa, dureza y jugosidad, para muestras de pepino IV con respecto a la referencia. Las muestras recién impregnadas (IV-0) fueron de un color más intenso, debido a la mayor absorción de luz en la superficie (presencia de la EI en los poros); más jugosas por la misma EI, se percibe una sensación grasa debido a la vitamina E y una disminución en la dureza de las muestras, lo cual no es coherente con los resultados instrumentales comentados anteriormente. Los sabores ácido, salado y amargo no presentaron cambios significativos. La aceptación global de las muestras IV-0 fue entre media y alta (70 al 90%).

Figura 4. Micrografías de pepino IV con EI conteniendo vitamina E.

Las muestras almacenadas SV y CV, presentaron diferente coloración con respecto a las IV-0, siendo mayor en las SV que en las CV; esto no fue coherente con los resultados instrumentales obtenidos. La jugosidad, el sabor salado y el sabor amargo no presentaron cambios significativos. Las muestras se perciben menos grasosas y más ácidas, la dureza exhibió un comportamiento similar que las IV-0, siendo ligeramente menos duras que la referencia. En general, el nivel de aceptación para las muestras CV y SV fue de un 10% alta, 50% media y 40 % baja, y 50% media y 50% baja, respectivamente.

CONCLUSIONES

El proceso IV es una técnica efectiva para la incorporación de vitamina E en el interior del pepino, sin embargo, se presenta poca retención de la EI al interior de la matriz durante el almacenamiento. Esta situación ha de considerarse para reformular la EI, que permita gelificar en los espacios intercelulares. Se obtuvo una emulsión estable de DL- α -tocoferol acetato que permitió fortificar el vegetal hasta niveles del 110% VDR/100 g de pepino fresco. Los parámetros fisicoquímicos

Figura 5. Evaluación sensorial durante el almacenamiento de pepino IV con vitamina E.

y físicos se ven afectados por el proceso IV, por el tiempo de almacenamiento y el tipo de envasado. Las muestras IV y almacenadas tienden a ser más oscuras y más resistentes a la deformación. El pepino recién IV presentó la mejor aceptación global del panel, siendo entre alta y baja (70 - 90%), mientras que los almacenados CV y SV entre media y baja ($\leq 50\%$). No hubo una correlación para la dureza entre las valoraciones sensoriales e instrumentales. El análisis estructural permitió identificar el diámetro de las gotas de vitamina E entre 1 y 3.5 mm.

REFERENCIAS

- [1] ASHWELL, M. Concepts of functional foods, ILSI Europe Concise Series. 2002. Disponible: http://www.ilsa.org/Europe/Publications/C2002Con_Food.pdf. [Consultado: 13 mayo de 2009].
- [2] RYAN-HARSHMAN, M. and ALDOORI W. The relevance of selenium to immunity, cancer, and infectious/inflammatory diseases, *Can J Diet Prac Res.*, 66 (2), 98-102, 2005.
- [3] MARTUROSZY, D. Functional Foods for cardiovascular diseases. D&A Inc. 2005: 263.
- [4] HOWLET, J. Functional Foods-from science to Health and Claims. ILSI Europe Concise Monograph Series. 2008. Disponible: http://www.ilsa.org/Europe/Publications/C2008Func_FoodEng.pdf. [Consultado: 18 Abril de 2009].
- [5] LAFUENTE, A. Estudios clínicos de componentes y alimentos funcionales. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 13(1), 2-8, 2006.

- [6] Fito, P. et al. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 175-183, 2001.
- [7] 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. [Tesis de Ingeniería de Alimentos]. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2007.
- [8] CORTÉS, M., GUARDIOLA, L., PACHECO, R. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (Var. Tommy Atkins) con calcio. *Dyna*, 74 (153), 19-26, 2007.
- [9] MARÍN, Z. Viabilidad de desarrollo de productos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesados enriquecida con microorganismos probióticos a partir de la ingeniería de matrices. [Tesis de Maestría]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [10] DE ESCALADA, M., CAMPOS, C., GERSCHENSON, L. Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) mesocarp tissue as a food matrix for supplying iron in a food product. *Journal of Food Engineering*, 92 (4), 361-369, 2009.
- [11] VARGAS, M. et al. Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot. *Postharvest Biology and Technology*, 51 (2),: 263-271, 2009.
- [12] CORTÉS, M., CHIRALT, A. y SUAREZ, H. Influence of storage conditions on freeze-dried apple fortified with vitamin E. *Vitae*, 16 (1), 31-41, 2009.
- [13] CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E [Tesis Doctoral]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [14] RESTREPO, A., CORTÉS, M., MARQUÉS C. Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *Vitae*, 16 (1), 19-30, 2009.
- [15] BOTERO, A. Aplicación de la ingeniería de matrices en el desarrollo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesada fortificada con calcio y vitaminas C y E. [Tesis de Maestría]. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008.
- [16] RESTREPO, A., CORTÉS M. y ROJANO, B. Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) fortificada con vitamina E. *Dyna*, 76, 163-175, 2009.
- [17] RESTREPO A., CORTÉS, M. y SUÁREZ, H. Evaluación sensorial de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) y uchuva (*Physalis peruviana* L.) fortificada con vitamina E. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61 (2), 2267-2275, 2009.
- [18] RESTREPO, A. Aplicación de la ingeniería de matrices en el desarrollo de frutas (fresa y uchuva) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina e mediante la técnica de impregnación al vacío. [Tesis de Maestría]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [19] HORWITT, M. Data Supporting Supplementation of Humans with Vitamin E. *J. Nut.*, 121(12), 424-429, 1991.
- [20] STRAIN, J. and MULHOLLAND, C. Vitamin C and vitamin E-synergistic interactions in vivo. *EXS*, 62, 419- 422, 1992.
- [21] JIANG, Q. et al. γ -Tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74 (6), 714- 722, 2001.
- [22] ARTES, F. y ARTES-HERNÁNDEZ, F. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 186 (23), 56-54. 2004.
- [23] KARAKAS, B. and YILDIZ, F. Peroxidation of membrane lipids in minimally processed cucumbers packaged under modified atmospheres. *Food Chemistry*, 100 (3), 1011- 1018. 2007.
- [24] FAO / LATINFOODS. Tabla de Composición de Alimentos de América Latina", 2002. Disponible: <http://www.fao.org/REGIONAL/LAmerica/bases/alimento/>. [Consultado: 15 de Julio de 2008].
- [25] A.O.A.C. International Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th edition, Maryland, USA, 2003.
- [26] A.O.A.C. International Office Methods of analysis .Edited by Kenneth Helrich. Volume I and II. Arlington, Virginia. USA, 1990.
- [27] SALVATORI, D. et al. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 21 (1), 59-73, 1998.
- [28] MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 288 de 2008, Bogotá, Colombia, 2008.
- [29] KAUFMAN, V. and GARTI, N. Spectral Absorption for Determination of ease of Formation and Stability of oil in water emulsions. *Dispersion Science and Technology*, 2 (4),475-490, 1981.
- [30] KMOSTAK S. and KURTZ D. Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Pre-

- mixes by Capillary Gas Chromatography. *J. AOAC International*, 76 (4), 735-741, 1993.
- [31] MEILGAAR, M., CIVILLE, G, and CARR B. *Sensory Evaluation techniques*. 3 editions. Boca Raton, Londres, New York, Washington D.C.: CRS PRESS LLC, 1999.
- [32] KUROKI, S. et al. Visualization of 3-d network of gas-filled intercellular spaces in cucumber fruit after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 33(3), 255- 262, 2004.
- [33] KIYOSHI, H., SHOJI, T. and TOSHIYUKI, A. Determination of Emulsion Stability by Spectral Absorption I: Relationship between Surfactant type, Concentration, and Stability index. *Cosmetic and Toiletries*, 93, 53-62. 1978.
- [34] MARTÍNEZ-MONZÓ, J. et al. Mechanical and structural changes in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with crioprotectants, *J. Food Sci*, 6(3), 499–503, 1998.
- [35] HEATON, J., YADA, R. y MARANGONI, A. Discoloration of coleslaw is caused by chlorophyll degradation, *J. Agric. Food Chem*, 44, 395–398, 1996.
- [36] COLLINS, J. and MARANGONI, A. *Vegetables*. (Eds. G. L. Christen y J. S. Smith), *Food chemistry: Principles and applications*. CA: Science and Technology System, 2000.
- [37] WALTER, W., RANDALL-SCHADER, B. and SCHADEL, W. Wound Healing in Cucumber Fruit, *AMER. Soc. HORT. SCI. North Carolina*, 115 (3), 444- 452, 1990.