Artículo Original

Aplicación de la técnica de impregnación a vacío en el desarrollo de cáscaras de naranja mínimamente procesadas fortificadas con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9¹.

Ana María Restrepo Duque², Alejandra Arredondo Velásquez³, Cristian Morales⁴, Marisol Tamayo Mesa⁵, Yara Licceth Benavides Paz⁶, Vanessa Bedoya Mejía⁷, Catalina Vélez Argumedo^{8*}.

RESUMEN

Introducción. La corteza de naranja constituye aproximadamente del 40-50% del fruto, subproducto que podría aprovecharse para el desarrollo de alimentos con valor agregado. **Objetivo.** El presente estudio evalúa la viabilidad de desarrollar cortezas de naranja tipo snack fortificadas con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9, micronutrientes que se pierden luego de un excesivo consumo de licor, usando la ingeniería de matrices por medio de la técnica de impregnación a vacío como mecanismo de incorporación de la disolución. **Metodología.** La concentración teórica de potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9 fue determinada a través de balance de materia en el sistema sólido poroso (corteza de naranja)-líquido (disolución de impregnación) sobre la base de una solución isotónica y 100g de corteza fresca. El sistema se sometió a vacío durante 5 min en una cámara de impregnación y posteriormente se restableció la presión atmosférica por un período de 10 min. **Resultados.** Los parámetros de respuesta a la impregnación (fracción

1 Artículo derivado del proyecto de investigación: "Aprovechamiento de subproductos de la industria de naranja (*Citrus sinensis*) en el desarrollo de productos con valor agregado. Financiado por Vicerrectoría de investigación de la Corporación Universitaria Lasallista.

2 Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente del programa de Ingeniería de Alimentos e investigadora del grupo GRIAL de la Corporación Universitaria Lasallista. anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co

3 Ingeniera de alimentos e integrante del semillero de investigación INNOVA de la Corporación Universitaria Lasallista. alarredondo@ulasallista.edu.co

4 Ingeniero de alimentos e integrante del semillero de investigación INNOVA de la Corporación Universitaria Lasallista. crimorales@ulasallista.edu.co

5 Ingeniera de alimentos e integrante del semillero de investigación INNOVA de la Corporación Universitaria Lasallista. matamayo@ulasallista.edu.co

6 Ingeniera de alimentos. Auxiliar de Investigación, Grupo de Investigación en Ingeniería de Alimentos – GRIAL. Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Antioquia-Colombia. yabenavides@ulasallista.edu.co

7 Ingeniera de alimentos e integrante del semillero de investigación INNOVA de la Corporación Universitaria Lasallista. vabedoya@ulasallista.edu.co

8 Ingeniera de Alimentos- Magíster en Alimentación y Salud. Integrante del grupo de investigación GRIAL de la Corporación Universitaria Lasallista, Caldas – Antioquia, Colombia. Innovación y Desarrollo PEPSICO, México. catalina.velez@gmail.com

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA (*): Compañía PEPSICO. Bosques de Duraznos No. 67, Bosques de las Lomas, México, D.F., CP: 11700 México. Teléfono: 55/2 582-3000. Correo electrónico: catalina.velez@gmail.com

Artículo recibido: 20/01/2012; Artículo aprobado: 12/04/2012.

másica-XHDM, fracción volumétrica-X y la porosidad efectiva- ϵ) fueron: $8,5\pm 1,2$; $8,1\pm 0,9$; $34\pm 5,7$, respectivamente. En relación con la caracterización fisicoquímica no se presentan diferencias estadísticamente significativas por efecto del tratamiento de impregnación en los parámetros aW y pH; pero sí se presentan diferencias significativas en los parámetros % Humedad, °Brix y contenido de cenizas.

Conclusión. Lo anterior demuestra que las cortezas de naranja se pueden impregnar para su aprovechamiento en el desarrollo de productos con valor agregado usando ingeniería de matrices.

Palabras clave: Corteza de naranja, desamargado, impregnación a vacío, vitaminas B1, B6, B9.

Application of the vacuum impregnation technique in the development of minimally processed orange peels, fortified with potassium, sodium and vitamins B1, B6 and B9.

ABSTRACT

Introduction. Orange peel is approximately 40-50% of the fruit. As a sub-product, it could be used to develop food with added values.

Objective. This research work evaluates the feasibility to develop snack orange peels fortified with potassium, sodium and B1, B6 and B9 vitamins, micronutrients that are lost after an excessive consumption of alcohol, by the use of the matrices engineering via the vacuum impregnation technique as a mechanism to incorporate the dissolution. **Methodology.** The theoretical

concentration of potassium, sodium and vitamins B1, B6 and B9 was determined by a matter balance in the solid porous system (orange peel)-liquid (impregnation dissolution) with an isotonic solution and 100g of fresh peel as a base. The system was submitted to vacuum during 5 minutes in an impregnation chamber and later the atmospheric pressure was re-established during 10 minutes. **Results.** The response parameters to the impregnation (mass fraction -XHDM, volumetric fraction-X and effective porosity- ϵ) were: $8,5\pm 1,2$; $8,1\pm 0,9$; $34\pm 5,7$, respectively. There are no significant statistic differences related to the physical-chemical characterization as an effect of the impregnation treatment in the aW and pH parameters, but there are significant differences in the humidity percentage, Brix degrees and ashes content. **Conclusion.** This demonstrates that orange peels can be impregnated in order to use them in products with a high added value by the use of the matrices engineering.

Key words: Orange peel, debittering, vacuum impregnation, vitamins B1, B6, B9.

Aplicação da técnica de impregnação a esvaziamento no desenvolvimento de cascas de laranja mínimamente processadas fortificadas com potássio, sódio, e vitaminas B1, B6 E B9.

RESUMO

Introdução. A casca de laranja constitui aproximadamente do 40-50% do fruto, subproduto que poderia aproveitar-se para

o desenvolvimento de alimentos com valor agregado. **Objetivo.** O presente estudo avalia a viabilidade de desenvolver crostas de laranja tipo snack fortificadas com potássio, sódio, e vitaminas B1, B6 e B9, micronutrientes que se perdem depois de um excessivo consumo de licor, usando a engenharia de matrizes por meio da técnica de impregnação a esvaziamento como mecanismo de incorporação da dissolução. **Metodologia.** A concentração teórica de potássio, sódio, e vitaminas B1, B6 e B9 foi determinada através de balanço de matéria no sistema sólido poroso (crosta de laranja)-líquido (dissolução de impregnação) sobre a base de uma solução isotônica e 100g de crosta fresca. O sistema se submeteu a esvaziamento durante 5 min numa câmara de impregnação e posteriormente se restabeleceu a pressão atmosférica por um período de 10 min. **Resultados.** Os parâmetros de resposta à impregnação (fração mássica-XHDM, fração volumétrica-X e a porosidade efetiva- ϵ) foram: $8,5 \pm 1,2$; $8,1 \pm 0,9$; $34 \pm 5,7$, respectivamente. Em relação com a caracterização físico-química não se apresentam diferenças estatisticamente significativas por efeito do tratamento de impregnação nos parâmetros aW e PH; mas sim se apresentam diferenças significativas nos parâmetros % Umidade, °Brix e conteúdo de cinzas. **Conclusão.** O anterior demonstra que as crostas de laranja se podem impregnar para seu aproveitamento no desenvolvimento de produtos com valor agregado usando engenharia de matrizes.

Palavras importantes: Casca de laranja, desamargado, impregnação a esvaziamento, vitaminas B1, B6, B9.

■ INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos es uno de los más voluminosos en el mundo y su fase industrial, en su cadena productiva, comprende productos como jugos, concentrados, néctares, purés, pastas, pulpas, jaleas y mermeladas. Los subproductos en la industria de jugos, constituidos por cáscaras (albedo y flavedo), semillas, membranas y vesículas de jugo, representan aproximadamente el 50% del peso de la fruta entera original (Rojas et al, 2008).

Los residuos industriales siguen convirtiéndose en un gran problema no solo ambiental sino económico, ya que las mismas empresas tienen que asumir altos costos de disposición de estos. Tal es el caso de la gran cantidad de residuos de frutas que se producen en la ciudad de Medellín y sus alrededores, debido al número extenso de empresas de este sector agroindustrial. Unos de los residuos más representativos son los que provienen de naranja, guayaba, guanábana y mango. Los principales procesos de valorización incluyen el compostaje, la lombricultura y la obtención de productos químicos (Yepes et al., 2008).

Existen pocas evidencias en desarrollo de productos para consumo humano a partir de residuos agroindustriales. En este momento se encuentran en el mercado cascaras de naranja en almíbar aplicando deshidratación osmótica y la razón es que se ha encontrado que en estas pieles existen componentes activos muy importantes para la industria alimenticia como son los flavonoides, carotenoides, y pectinas (Cerezal, 1996). Para conservar estas propiedades o incrementar la calidad nutricional de las cáscaras, existe una herramienta de la ingeniería química y de

alimentos conocida como ingeniería de matrices (Chiralt et al. 1999).

La ingeniería de matrices utiliza la técnica de impregnación al vacío como mecanismo de incorporación de disoluciones suspensiones o emulsiones que contienen componentes fisiológicamente activos sobre estructuras alimentarias porosas, como es el caso de la corteza de los cítricos (Cerezal y Piñera, 1996; Chiralt et al., 1999). Este mecanismo representa una alternativa muy efectiva en el desarrollo de nuevos ingredientes y alimentos funcionales de humedad alta, intermedia y baja en estructuras porosas y con excelentes cualidades organolépticas, microbiológicas y nutricionales, que permiten satisfacer las necesidades del consumidor actual que cada vez más está buscando en el mercado alimentos que le proporcionen beneficios a la salud que van más allá de los nutrientes tradicionales que estos contienen. La técnica ha sido aplicada con éxito en el salado de quesos, pescados y productos cárnicos (Chiralt et al., 2001), deshidratación osmótica de frutas, fortificación de frutas y vegetales con diferentes componentes fisiológicamente activos (Marin et al., 2010; Restrepo, et al., 2009; Betoret et al., 2002) y productos a partir de corteza de cítricos (Chafer et al., 2003).

El interés de fortificar con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9 radica en que el potasio y el sodio son importantes para el mantenimiento del equilibrio hídrico del organismo, para el funcionamiento de los nervios y los músculos y para controlar la acidez de la digestión. Las vitaminas B1, B6 y B9 favorecen la liberación de glucógeno que se encuentra almacenado en los músculos y en el hígado (Domínguez et al., 2000).

Por lo anterior, este proyecto plantea desarrollar un producto mínimamente procesado, tipo snack con la incorporación de potasio, sodio y vitaminas del complejo B especialmente B1, B6 y B9 mediante la aplicación de la técnica de impregnación a vacío (IV), con el fin de contrarrestar los efectos al ingerir una cantidad excesiva de licor.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las cortezas de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia, obtenidas del proceso de extracción de jugo y retirando las membranas de las mismas, fueron recolectadas de la Central Mayorista de Antioquia. Las cortezas de naranja fueron transformadas en muestras circulares de 35 mm de diámetro y 5 mm de espesor aproximadamente, y posteriormente fueron lavadas y desinfectadas en solución de hipoclorito a 100 ppm.

Desamargado de las cáscaras de la naranja

Las cortezas de naranja fueron sometidas a seis lavados sucesivos con una solución de bicarbonato al 10% a 83°C durante 15 minutos cada lavado, que permitiera la solubilización de bioflavonoides como naringina e hesperidina, compuestos que le confieren el sabor amargo a la estructura.

Caracterización fisicoquímica

El contenido de humedad se determinó según el método oficial 20.013 (AOAC, 1990); el pH, a través de un potenciómetro Schott CG840B; la actividad de agua (aw),

con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3TE); los sólidos solubles se midieron a partir del índice de refracción en un refractómetro Leica auto ABBE (escala de 0-32%) a 20°C; la densidad aparente de las cortezas (p_{apm}) se determinó a partir de la relación de la masa de la muestra y el volumen desplazado por la misma en una probeta y la densidad del líquido de impregnación se determinó por medio de un picnómetro a 20°C, método oficial 945.06 (AOAC, 1990) y cenizas según el método oficial 940.26 (AOAC, 2007). Los análisis fueron realizados por triplicado.

Metodología de IV

Las muestras de corteza de naranja inicialmente fueron pesadas y sumergidas en el recipiente con la solución dentro de la cámara de impregnación. El sistema se sometió a una presión de vacío de 20mm Hg durante 5 min, después se restableció la presión atmosférica y se sumergieron las cortezas por 10 minutos más. Para cada muestra impregnada se determinaron los parámetros de impregnación: fracción volumétrica (X), fracción másica (X_{HDM}) y porosidad efectiva (ε). Donde $X = \frac{m^3_{disolución}}{m^3_{corteza}}$; fracción másica de impregnación, $X_{MHD} = \frac{kg_{disolución}}{kg_{corteza}}$ y porosidad efectiva a la IV, $\epsilon [m^3_{gas} / m^3_{corteza}] (\epsilon = X \cdot r / (r-1))$, donde $r = P_{atm} / P_{vacío}$. La valoración de X y X_{MHD} se determinó a partir de los pesos antes y después de la impregnación (Cortés, 2004).

Diseño de la solución de impregnación

Las solución de impregnación se preparó en lotes de 500 g en un homogeneizador

(Ultraturrax 45 S5, Janke y Kunkel IKA, Alemania) y las condiciones de operación fueron 10.000 rpm, durante 20 min. La solución se diseñó con una composición definida sobre el propósito de alcanzar niveles de los componentes, exceptuando el sodio, superiores al 10% del valor diario de referencia (VDR) en 100 g de corteza (para el caso del sodio, se fijó el criterio en el 5%). Las ecuaciones que se muestran a continuación permitieron determinar la fracción másica de los componentes activos en la solución de impregnación. Se muestra como ejemplo el cálculo para el potasio (k). Y_k (gK/gdisolución) y la fracción másica del potasio en la corteza impregnada, $X^{IV}k$ (gk/g corteza impregnada). La concentración de potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9 en la solución se determinó a partir del criterio de fortificación fijado. La aplicación de un balance de materia en el sistema corteza-líquido de impregnación proporcionó la concentración de la sustancia a incorporar en la solución (Cortés, 2004).

$$Y_k = \frac{X_k^{IV} \left(1 + X \frac{\rho_E}{\rho_{apm}}\right) - x_k^0}{X \frac{\rho_E}{\rho_{apm}}}$$

Donde: Y_k , $X^{IV}k$, X^0k son las fracciones másicas del potasio en la solución, en la matriz alimentaria impregnada y en la matriz fresca, respectivamente; p_{apm} , p_s son la densidad aparente de la matriz fresca y la densidad de la solución (kg/m³), respectivamente; y X es la fracción volumétrica de la disolución (m³ de disolución de impregnación / m³ de corteza fresca).

$$Y_n = \frac{X_n(\rho_{aparente} + (X_{VOL} * \rho_{solución}))}{(X_{VOL} * \rho_{solución})}$$

$$X_n = \frac{100\%DR}{(100 + (X_{VOL} * (\frac{\rho_{solución}}{\rho_{aparente}})))}$$

$$X_{VOL} = \frac{Masa_{final} - Masa_{final}}{\rho_{solución} / Vol_{aparente}}$$

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.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización fisicoquímica de la corteza de naranja

La tabla 1 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros % Humedad, °Brix, pH y aw, y contenido de cenizas de las cortezas de naranja sin impregnar (s.i) e impregnadas (i) con la disolución.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de cáscaras de naranja (s.i) e (i)

Matriz	pH	% HUMEDAD	aW	° BRIX	CENIZAS
Corteza (si)	5.300±0.000	62.155±1.973	0.966±0.004	3.217±0.194	2.156±0.007
Corteza (i)	5.500±1.000	65.782±1.487	0.965±0.002	4.131±0.182	9.025±0.009

El ANOVA no presentó diferencias estadísticamente significativas por efecto del tratamiento de impregnación en los parámetros aW y pH, lo que indica que se cumplió el propósito de diseñar la disolución sobre la base de una solución isotónica para garantizar que el fenómeno de transferencia de masa solo se puede relacionar con la diferencia de presiones. De otro lado, el ANOVA sí presentó diferencias estadísticamente significativas por efecto del tratamiento de impregnación en los parámetros % Humedad, °Brix y contenido de cenizas, lo cual resulta muy coherente por la aplicación de la técnica

de impregnación a vacío que hace que los espacios intercelulares anteriormente con gas queden llenos de líquido de impregnación; es por esta razón que tiene sentido que el % Humedad sea mayor en la corteza impregnada. Asimismo, los sólidos contenidos en el líquido de impregnación, ahora presentes en la corteza impregnada, hacen que los °Brix sean mayores en esta última, trayendo como consecuencia un incremento en el contenido de cenizas de la misma.

Caracterización de la respuesta a la impregnación

En la tabla 2 se presentan los valores medios de los parámetros de respuesta a la impregnación (X, X_{HDM} y ε), para las dos soluciones (solución isotónica de sacarosa

a 17°Brix y solución de impregnación con compuestos bioactivos); se encontró que no hay diferencias estadísticamente significativas en ninguna de los parámetros de respuesta por efecto del tratamiento de impregnación. Tal comportamiento podría atribuirse a que la concentración de los

Tabla 2. Parámetros de respuesta a la impregnación con solución de sacarosa a 17°Brix y con compuestos bioactivos.

TRATAMIENTO	PARAMETROS DE RESPUESTA IV		
	%X	%XHDM	ε
Solución de sacarosa a 17°Brix	7,6± 1,3	9,3± 1,5	37,2± 6,6
Disolución de impregnación con compuestos bioactivos	8,1±0,9	8,5±1,2	34±5,7

compuestos bioactivos presentes en la solución de impregnación es tan baja que hace que no cambie significativamente su viscosidad. Es así como se comprueba que De manera similar, se evaluó la respuesta a la impregnación de diferentes cortezas de cítricos (naranja, mandarina, limón y pomelo) con soluciones isotónicas de sacarosa y glucosa obteniendo valores de porosidad para corteza de naranja del orden de 33±2, muy similar al obtenido en esta investigación (Chafer et al. 2003).

El análisis anterior de los parámetros de respuesta a la impregnación podría soportarse con la composición teórica de la solución de impregnación, resultado de efectuar un balance de materia en el sistema corteza-solución de impregnación, así como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Composición teórica de la solución de impregnación.

Componente	%p/p
Potasio	0,008
Sodio	0,0005
Vitamina B1	0,008
Vitamina B6	0,006
Vitamina B9	0,0009
Azúcar	17
Agua	82,9766
TOTAL	100

■ **CONCLUSIÓN**

Las cortezas de naranja son buenas matrices alimentarias para la obtención de nuevos productos alimenticios, debido a su composición química interesante, así como también por las características propias del material que proporcionan la incorporación de componentes fisiológicamente activos con soluciones adecuadamente formuladas.

■ **REFERENCIAS**

AOAC. (1980). Official Methods of analysis. 13th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA

AOAC. (1990). Official Methods of analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA

Betoret, N. (2002). Aplicación de algunas técnicas de Ingeniería de Alimentos en el desarrollo de alimentos naturales enriquecidos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Cerezal, P., & Piñera, R.M (1996). Carotenoides en cítricos. Generalidades, obtención a partir de desechos del procesamiento y aplicaciones, Alimentaria, Noviembre, 19-32.

Cháfer, M.; Martínez-González, C.; Chiralt, A. & Fito, P.(2003). Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. Food Research International, 36: 35-41.

Chiralt, A., Fito, P., Andrés, A., Barat, J.M., Martínez-Monzó, J. & Martínez-Navarrete, N. (1999). Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization

and Process Assesment. Eds: F.A.R. Oliveira y J.C. Oliveira. CRC Press, Boca Ratón, 341-356.

Chiralt A, Fito P, Barat J, Andrés A, González C, Escriche I, Camacho M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. Journal Food Engineering; 49 (2-3): 129-135.

Cortés, M. (2004). Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Dominguez, Y., Macias, C., Acosta, S (2000). Estado nutricional de vitaminas del complejo B en dos grupo de trabajadores industriales de la ciudad de la Habana. Revista Cubana de Alimentación y Nutrición. 14 (1): 7-13.

Fito, P. & Chiralt, A. Vacuum Impregnation of Plant Tissues. In: Design of Minimal processing technologies for Fruits and Vegetables. Ed. Alzamora SM, Tapia MS & López-Malo A. Aspen Publisher, Inc. Maryland 2000; p.189-204.

Fito, P. & Pastor, R. (1994). On some diffusional mechanism occurring Vacuum Osmotic Dehydration (VOD). Journal of Food Engineering, 21: 513-519.

Fito, P., Andrés, A., Chiralt, A & Pardo, P. (1996). Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxion Phenomena During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. Journal of Food Engineering, 27: 229-240.

Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Grass, M., Cháfer, M. & Martínez-Monzo, J. (2001a). Vacuum Impregnation and Osmotic Dehydration in Matrix Engineering

Application in Functional Fresh Food Development. *J Food Eng.*, 49 (2-3): 175-183.

Fito, P., Chiralt, A., Barat, JM., Andrés, A., Martínez-Monzo, J. & Martínez-Navarrete, N. (2001b). Vacuum Impregnation for Development of New Dehydrated Products. *J Food Eng.*, 49 (4): 297-302.

JBT FoodTech's. Sistemas de recuperación aceites esenciales. Recuperado de <http://www.jbtfoodtech.com>

Marin, Z.; Cortes, M. y Montoya, O. (2010). Frutos de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) Ecotipo 'Colombia' Mínimamente Procesados, Adicionados con Microorganismos Probióticos Utilizando la Ingeniería de Matrices. *Rev. Fac. Nal. Agr.*, 63(1), 5395-5407.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Estadísticas. Recuperado de: <http://>

www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción. Recuperado de <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

Rojas, J., Perea, A., STansheko, E. (2008). Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos. *Vitae*, 16: 110-11

Restrepo, A. M.; Cortes, M.; Marques, C. J. (2009). Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *Vitae*, 1(16), 19-30.

Yepes, S., Montoya, L., Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr.*, 61(1), 4422-4431.