



# Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales<sup>1</sup>

Ana María Restrepo Duque<sup>2</sup> / Eduardo Rodríguez Sandoval<sup>3</sup> / Katherine Manjarrés Pinzón<sup>4</sup>

*Edible orange peels: an approximation to the development  
of products with added value from agricultural products*

*Fibras de laranja comestíveis: uma aproximação ao desenvolvimento  
de produtos com valor agregado a partir de resíduos agroindustriais*

## RESUMEN

**Introducción.** Los residuos agroindustriales han sido considerados un problema ambiental, y su uso ha sido incipiente, en parte, porque su valor es aún desconocido. Una de las tareas de los profesionales del área de alimentos es generar alternativas que permitan aprovechar eficientemente dichos residuos en el marco del desarrollo de nuevos productos con valor agregado y de sostenibilidad. **Objetivo.** Evaluar la viabilidad de desarrollar un producto con características funcionales a partir de cortezas de naranja, por incorporación de vitamina D y E, utilizando la ingeniería de matrices a través de la técnica de impregnación a vacío. **Materiales y métodos.** Las cortezas de naranja fueron desamargadas e impregnadas a vacío con

---

<sup>1</sup>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 el Fondo para el Desarrollo de la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista. <sup>2</sup>Ingeniera Química. Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente de la Facultad de Ingenierías. Investigador grupo GRIAL. Corporación Universitaria Lasallista. [anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co](mailto:anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co). <sup>3</sup>Ingeniero Químico. Ph. D. Ingeniería de Alimentos. Docente de la Facultad de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. [edrodriguez@unal.edu.co](mailto:edrodriguez@unal.edu.co). <sup>4</sup>Ingeniera de Alimentos. Candidata a magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. [jkmanjarresp@unal.edu.co](mailto:jkmanjarresp@unal.edu.co)

Correspondencia: Ana María Restrepo Duque, e-mail: [anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co](mailto:anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co)

Artículo recibido: 30/10/2011; Artículo aprobado: 12/11/2011

una emulsión que contenía vitamina D y E. Para el diseño de la emulsión fue necesario evaluar la respuesta a la impregnación con una solución de sacarosa a 45° Brix; en términos de la fracción volumétrica de impregnación (X), fracción másica de impregnación (XMHD) y porosidad eficaz ( $\epsilon IV$ ), sobre el propósito de alcanzar niveles de vitaminas D y E superiores al 10% del valor diario de referencia (VDR) en 50 g de corteza. Las muestras se caracterizaron físico-químicamente en términos de color, textura y microestructura antes y después del proceso de impregnación. **Resultados.** La evaluación de los parámetros de color ( $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) para los tratamientos de cortezas desamargadas y cortezas desamargadas e impregnadas presentaron diferencias significativas respecto a las cortezas frescas. **Conclusión.** El análisis estadístico de textura mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos (cortezas frescas sin ningún tratamiento, cortezas desamargadas e impregnadas con solución isotónica y cortezas desamargadas e impregnadas con solución de vitamina E y D).

**Palabras clave:** desamargado, impregnación a vacío, ingeniería de matrices, alimento funcional, cáscara de naranja.

## ABSTRACT

**Introduction.** Agricultural and livestock waste products have been considered as an environmental problem and their use has not been extensive, partly because their value is still unknown. One of the tasks food professionals have, is to generate alternatives to efficiently use that waste within a framework for developing new products with added value and sustainability. **Objective.** To evaluate the feasibility of developing a product with functional characteristics from orange peels, by incorporating D and E vitamins to them, by the use of matrixes engineering through the vacuum impregnation technique. **Materials and methods.** Orange peels were debittered and impregnated under vacuum with an emulsion that had D and E vitamins. For designing the emulsion it was necessary to evaluate the response to the impregnation with a solution of saccharose at 45° Brix, under the impregnation volumetric fraction (X), mass impregnation fraction (XMHD) and effective porosity ( $\epsilon IV$ ), over the purpose of reaching D and E vitamins levels above 10% of the daily reference value in 50 g of peel. The samples were physically and chemically classified by color, texture and microstructure before and after the impregnation process. **Results.** The evaluation of the color parameters ( $L$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) for the debittered peels and the debittered and impregnated peels, showed significant differences in comparison with fresh peels. **Conclusion.** The statistic analysis of texture showed significant differences between treatments (fresh peels with no treatment, debittered peels impregnated with an isotonic solution and peels debittered and impregnated with a D and E vitamins solution).

**Key words:** debittered, vacuum impregnation,, matrix engineering, functional food, orange peel.

## RESUMO

**Introdução.** Os resíduos agroindustriais foram considerados um problema ambiental, e seu uso foi incipiente, em parte, porque seu valor é ainda desconhecido. Uma das tarefas dos profissionais do área de alimentos é gerar alternativas que permitam aproveitar eficientemente ditos resíduos no marco do desenvolvimento de novos produtos com valor agregado e de sustentabilidade. **Objetivo.** Avaliar a viabilidade de desenvolver um produto com características funcionais a partir das fibras da laranja, por incorporação de vitamina D e E, utilizando a engenharia de matrizes através da técnica de impregnação a esvaziamento. **Materiais e métodos.** As crostas de laranja foram desamargadas e impregnadas a esvaziamento com uma emulsão que continha vitamina D e E. Para o desenho da emulsão foi necessário avaliar a resposta à impregnação com uma solução de sacarose a 45° Brix; em termos da fração volumétrica de impregnação (X), fração másica de impregnação (XMHD) e porosidade eficaz ( $\epsilon IV$ ), sobre o propósito de atingir níveis de vitaminas D e E superiores ao 10% do valor diário de referência (VDR) em 50 g de crosta. As mostras se caracterizaram física-químicamente em termos de cor, textura e microestrutura antes e depois do processo de impregnação. **Resultados.** A avaliação dos parâmetros de cor ( $L$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) para os tratamentos de crostas desamargadas e crostas desamargadas e impregnadas apresentaram diferenças significativas com respeito às crostas frescas. **Conclusão.** A análise estatística de textura mostrou diferenças significativas entre todos os tratamentos (fibras frescas sem nenhum

tratamiento, fibras desamargadas e impregnadas com solução isotônica e fibras desamargadas e impregnadas com solução de VITAMINA E e D).

**Palavras importantes:** desamargado, impregnação a esvaziamento, engenharia de matrizes, alimento funcional, casca de laranja.

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de residuos agroindustriales representa una responsabilidad de los profesionales del área de alimentos en el marco del desarrollo de nuevos productos con valor agregado y de sostenibilidad. Este reto surge debido a que los residuos son un problema no solo ambiental sino económico, donde las mismas empresas tienen que asumir altos costos de disposición de estos<sup>1</sup>.

Específicamente, en el aprovechamiento de desechos de la industria cítrica están trabajando activamente empresas dedicadas a toda la cadena productiva, ya que la generación de residuos sólidos y líquidos crece cada día más en virtud del aumento de la producción mundial de cítricos.

Actualmente, se producen más de 120 millones de toneladas de cítricos en todo el mundo, de las cuales 193505 t corresponden a producción colombiana. Según las estadísticas del Ministerio de Agricultura en el 2009, a escala nacional, Antioquia reportó una producción de 59.061 t que representan un 30% en la producción total por departamentos<sup>2</sup>. En relación con la producción de las empresas agroindustriales en el ámbito local (Medellín y el sur del Valle de Aburrá), la cantidad total de residuos generados está alrededor de 1,2 t/día, donde los desechos de naranja y guayaba son los que tiene la mayor participación.

Aunque existen evidencias del uso de residuos de la industria de cítricos para alimentación animal<sup>3</sup>, biocombustible<sup>4,5</sup>, y diferentes aplicaciones de los compuestos bioactivos extraídos de dichos residuos<sup>6,7</sup>, se encuentran en el mercado, pocos productos desarrollados para consumo humano a partir de corteza de cítricos. Dichas estructuras presentan componentes activos muy importantes para la industria alimenticia como son los flavonoides, carotenoides, y pectinas<sup>8</sup>; pero cuando se piensa en esta matriz para consumo humano es importante desarrollar protocolos que permitan extraer o enmascarar los compuestos que le confieren a la corteza el gusto amargo como son algunos bioflavonoides y aceites esenciales<sup>9</sup>.

La ingeniería de matrices, a través de la técnica de impregnación a vacío (IV), es una herramienta de la ingeniería de alimentos que utiliza los conocimientos sobre composición, estructura y propiedades de la matriz estructural de un alimento para producir y controlar cambios que mejoren sus propiedades funcionales y/o sensoriales con cinéticas de transferencia de masa rápidas, tiempos cortos y una mínima alteración del sabor y el aroma del producto fresco<sup>10</sup>.

Esta técnica ha sido utilizada con éxito para el desarrollo de uchuvas con características probióticas<sup>11</sup>, uchuvas y fresas con vitamina E<sup>12,13</sup>. También se han incorporado líquidos de impregnación con diferentes componentes como depresores del pH y  $a_w$ <sup>14</sup>, agentes antimicrobianos o antipardeantes<sup>15</sup>, edulcorantes y mejoradores de algunos atributos de calidad<sup>16</sup>, entre otros.

El interés de fortificar con vitamina E y D radica en que poseen propiedades cardioprotectoras (en el caso de la vitamina E)<sup>17</sup>, y fortalecen el sistema inmune ayudando a prevenir infecciones (propiedad atribuida a la vitamina D)<sup>18</sup>. Es por esta razón que el propósito de este estudio fue evaluar una alternativa viable para el aprovechamiento de cáscaras de la industria de naranja en el desarrollo de productos con valor agregado utilizando la impregnación a vacío como mecanismo de incorporación de una emulsión con componentes fisiológicamente activos como es el caso de las vitaminas D y E.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cortezas de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia de forma triangular (cuartos de naranja), de 5 mm de espesor y 90 mm de largo con piel firme y resistente.

**Evaluación sensorial del proceso de desamargado de las cortezas:** se evaluaron dos procesos de desamargado donde, en ambos casos, la corteza fue sometida a continuos lavados durante 1 h a 90°C, seguido de la incorporación de una solución de sacarosa a 45° Brix con y sin el uso de IV, que permitiera determinar la efectividad de los tratamientos empleados en la disminución de gusto amargo. Para ello se realizó una evaluación sensorial a través de 5 descriptores (ácido, amargor, dulzor, naranja y fruta) con 30 consumidores de edades comprendidas entre 20-60 años, mediante una prueba triangular. Los datos fueron analizados utilizando el software STATGRAPHICS PLUS versión 5, aplicando una prueba de comparación de medias de dos poblaciones usando un nivel de confianza  $\alpha=0.05$ . La prueba sensorial sigue una distribución binomial, necesitando 15 aciertos en un panel de 30 miembros para obtener una diferencia perceptible entre las dos muestras<sup>19</sup>.

**Caracterización de la respuesta a la impregnación:** los ensayos de impregnación a vacío (IV) se realizaron en un sistema conformado por cámara de impregnación en acero inoxidable, donde se proporcionó un vacío de 20 pulg de Hg. Las cortezas de naranja se sometieron a vacío durante 5 min con la disolución correspondiente; posteriormente se restableció la presión atmosférica. A cada muestra impregnada se le determinaron los parámetros de respuesta a la impregnación: fracción volumétrica de impregnación,  $X$  ( $m^3_{emulsión}/m^3_{corteza}$ ); fracción másica de impregnación,  $X_{MHD}$  ( $kg_{emulsión}/kg_{corteza}$ ) y porosidad efectiva a la IV,  $\varepsilon$  ( $m^3_{gas}/m^3_{corteza}$ ) ( $\varepsilon = X r / (r-1)$ ), 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<sup>20</sup>.

**Diseño de la emulsión de IV:** las emulsiones de impregnación se prepararon en lotes de 500 g en un homogeneizador (Ultraturrax 45 S5, Janke y Kunkel IKA, Alemania) y las condiciones de emulsificación fueron 10.000 rpm, durante 20 min. Las emulsiones se diseñaron con una composición definida sobre el propósito de alcanzar niveles de vitaminas D y E, superiores al 10% del valor diario de referencia (VDR) en 50 g de corteza. Las ecuaciones 1 y 2 permiten determinar la fracción másica de los componentes activos en la emulsión de impregnación. Se muestra como ejemplo el cálculo para la

vitamina E. ( $Y_{Vit.E}$ ) ( $g_{Vit.E}/g_{emulsión}$ ) y la fracción másica de la vitamina E en la corteza impregnada,  $x_{Vit.E}^V$  ( $g_{Vit.E}/g_{corteza_{impregnada}}$ )<sup>21</sup>.

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

$$x_{Vit.E}^{IV} = \frac{100\% \text{ VDR}}{(100 + 100X \frac{\rho_{emulsión}}{\rho_{apm}})} \quad (2)$$

Se determinaron la densidad de líquidos y densidad aparente de corteza de naranja para calcular los parámetros de impregnación.

**Extracción y cuantificación de las vitaminas D y E:** la extracción de las vitaminas E y D se realizó tomando una muestra de aproximadamente 7 gramos previamente homogeneizados en un tubo falcón con 10 ml de n-hexano, el cual se somete a ultrasonido durante 15 minutos con el fin de extraer la fase liposoluble; este mismo procedimiento se repite tres veces, pero utilizando 5ml de de n-hexano en las dos repeticiones siguientes.

Posteriormente se centrifuga a 0°C durante 10 minutos a 9000 rpm y se extrae nuevamente la fase liposoluble. Los extractos se evaporan en un rotaevaporador a 90 rpm y 40°C. El extracto obtenido se continúa evaporando con nitrógeno, y posteriormente este se filtra para ser recogido en un vial para inyectar en el HPLC<sup>22</sup>.

La cuantificación de la vitamina E y D en las muestras frescas y fortificadas se determinó en un HPLC Agilent 1100. Condiciones de operación: columna Synergi 4  $\mu\text{m}$  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- $\alpha$ -tocoferol acetato 99,9 % (Supelco).

**Caracterización físico-química de las cortezas de naranja:** 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 15 mm (figura 1). En todos los casos se registró la curva de fuerza (F) - distancia (D) y su pendiente inicial ( $\epsilon^*$ ). Adicionalmente, se realizaron análisis de microestructura 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 s, en N<sub>2</sub> líquido<sup>23</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Evaluación sensorial del proceso de desamargado de las cortezas:** debido a que la prueba triangular aplicada a los dos tratamientos evaluados, no mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), se realizó una evaluación sensorial a través de 5 descriptores (ácido, amargor, dulzor, naranja y fruta) que arrojó los resultados mostrados en el gráfico 1, donde se observa claramente que las cortezas de naranja deshidratadas osmóticamente sin aplicación de la técnica de IV presentaron una mayor puntuación en parámetros como amargor y sabor ácido, razón por la cual, se seleccionó el tratamiento de cortezas desamargadas e impregnadas con solución de sacarosa a 45° Brix.

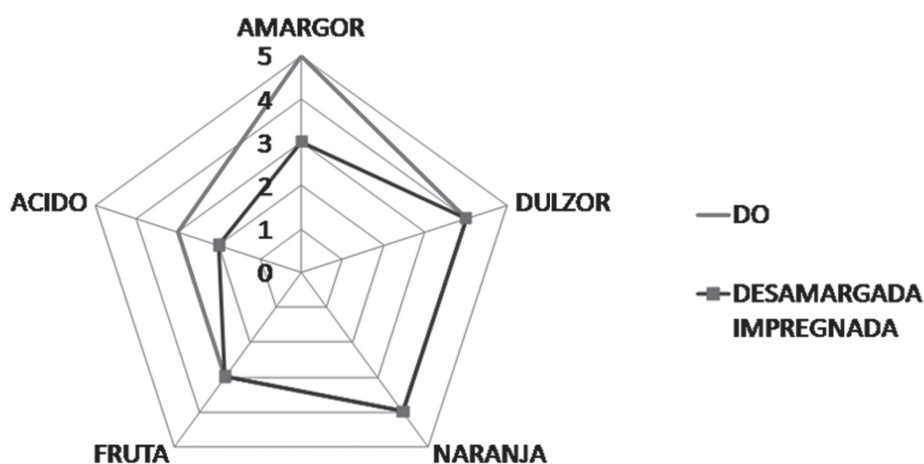


Gráfico 1. Evaluación sensorial de cortezas de naranja con dos tratamientos de desamargado

Fuente: elaboración propia

**Caracterización de la respuesta a la impregnación:** en la tabla I se presentan los valores medios de los parámetros de respuesta a la impregnación ( $X$ ,  $X_{HDM}$  y  $\epsilon$ ), para dos soluciones, encontrándose que no hay diferencias estadísticamente significativas, lo cual puede explicarse por su composición. La solución tiene una relación de sacarosa y agua de 45/55 (%p/p), mientras que la emulsión de impregnación tuvo una relación de estos mismos componentes de 45/53(%p/p). Estos constituyentes mayoritarios son muy similares en ambos líquidos de impregnación, razón por la cual se dio este resultado.

**Tabla I. Parámetros de respuesta a la impregnación con solución de sacarosa a 45°Brix y con emulsión**

| Tratamiento      | parámetros de respuesta IV |          |            |
|------------------|----------------------------|----------|------------|
|                  | %X                         | %XHDM    | $\epsilon$ |
| Solución 45°Brix | 7,6± 1,3                   | 9,3± 1,5 | 37,2± 6,6  |
| Emulsión         | 7,9± 1,1                   | 9,6± 1,0 | 38,6± 4,5  |

Fuente: elaboración propia

Chafer y otros<sup>24</sup> evaluaron la respuesta a la impregnación de cortezas de cítricos (naranja, mandarina, limón y pomelo) con soluciones isotónicas de sacarosa y glucosa, y obtuvieron valores de porosidad para corteza de naranja del orden de  $33\pm 2$ , muy similar al obtenido en esta investigación.

Restrepo y otros<sup>25</sup>, encontraron diferencias estadísticamente significativas en la respuesta de los parámetros de impregnación cuando se incorporó vitamina E en uchuva, utilizando la técnica de impregnación, las cuales asocian principalmente a la resistencia al flujo de la emulsión de fortificación en el interior de la matriz alimentaria, causado por las gotas oleosas emulsificadas de vitamina E recubiertas en su core lipofílico por los tensoactivos. Algunos autores han reportado niveles de impregnación para diferentes matrices alimentarias como fresa, uchuva, manzana, plátano, que se encuentran por debajo de los niveles alcanzados en esta investigación<sup>26-28</sup>.

**Diseño de la emulsión de impregnación:** estudios previos para evaluar la concentración micelar crítica utilizando BHL 10, 12, 14 y soluciones de concentración de tensoactivos de 0.05, 0.1, 0.15, 0.20 y 0.25% permitieron encontrar la concentración óptima de mezcla de tensoactivos no iónicos (tween 80 y span 60) a condiciones de BHL: 12 y concentración de tensoactivos de 0.25%. Este resultado sumado a los valores preliminares de fracción volumétrica, hallados por ensayos de impregnación con disoluciones de sacarosa de 45°Brix, permitieron determinar la composición teórica de vitamina D y E necesaria para la emulsión, tal como se muestra en la tabla 2.

**Cuantificación de la vitamina D y E:** los niveles alcanzados de vitamina D y E fueron  $46.6\pm 5.4$  y  $14.6\pm 1.9$  %VDR/50 g corteza fresca, respectivamente, lo cual permite concluir lo efectivo del proceso de impregnación a vacío en la obtención de un producto a partir de corteza de naranja fortificado con vitaminas. Los niveles de fortificación de vitamina D son muy similares a los máximos reportados en la normativa colombiana<sup>29</sup> con valores de  $4.66\pm 0.5$ g de vitamina D/50 g de corteza de naranja fresca. Por otro lado los valores obtenidos para la vitamina E ( $2.93\pm 0.4$  mg de vitamina E/50 g de corteza de naranja fresca) son mucho menores que el VDR establecido en la normatividad. Trabajos preliminares desarrollados con uchuva reportan la incorporación del 87% del valor diario recomendado, sobre la base de incorporar el 100% del VDR<sup>30,31</sup>.

Cabe resaltar que el proceso de desamargado-IV no altera la concentración de los compuesto bioactivos como la hesperidina presente naturalmente en la corteza de naranja, y a la cual se le ha demostrado científicamente efectos benéficos a la salud<sup>32</sup>.

**Color:** los valores de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se reportan en la tabla 3. Los parámetros  $L^*$  y  $b^*$  para los tratamientos de cortezas desamargadas y cortezas desamargadas e impregnadas presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) respecto a las cortezas frescas, lo cual puede atribuirse a una disminución de la luminosidad y de color amarillo por efecto del tratamiento térmico utilizado para eliminar el sabor amargo del material. Este proceso generó una pérdida de ciertos pigmentos responsables del color amarillo de las cortezas. Para el caso del parámetro  $a^*$  no presentó diferencias significativas para las muestras evaluadas.

**Tabla 2. Diseño de la emulsión de IV**

| Componente         | %VDR | %p/p  |
|--------------------|------|-------|
| Vitamina D         | ≥10  | 0,008 |
| Vitamina E         | ≥10  | 0,353 |
| Fumarato de Calcio |      | 1,027 |
| Sacarosa           |      | 45    |
| Tween 80           |      | 0,193 |
| Span 60            |      | 0,074 |
| Agua               |      | 53    |
| TOTAL              |      | 100   |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3. Parámetros de color  $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para los diferentes tratamientos aplicados a la corteza de naranja**

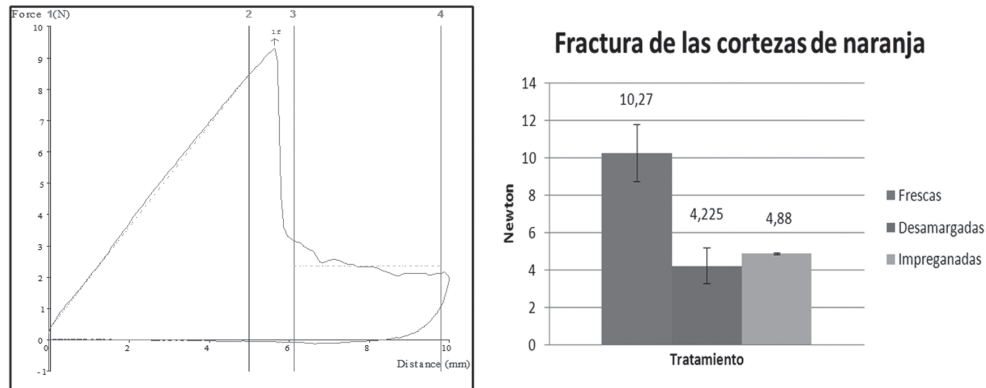
| Parámetro | Tratamiento      |                       |                                     |
|-----------|------------------|-----------------------|-------------------------------------|
|           | Cortezas Frescas | Cortezas Desamargadas | Cortezas Desamargadas e impregnadas |
| L         | 63.31±3.3        | 58.86 ±0.79           | 57.77±0.80                          |
| $a^*$     | 10.67±1.8        | 11.27±0.51            | 12.53±0.79                          |
| $b^*$     | 60.32±5.5        | 51.85±0.86            | 50.48±0.68                          |

Fuente: elaboración propia

**Textura:** la fractura de las cortezas en cada uno de los tratamientos realizados se muestra en el gráfico 2. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre todos los tratamientos, lo que confirma que el proceso de calentamiento como pretratamiento del residuo ayuda al ablandamiento de la corteza como resultado de la pérdida de pectina soluble en agua<sup>33</sup>. La diferencia entre las cortezas demargadas con las impregnadas radica en que la emulsión de impregnación contiene una fuente de calcio (fumarato de calcio) que le proporciona cierta rigidez a la estructura.

Las frutas se consideran materiales viscoelásticos los cuales presentan conjuntamente propiedades de flujo viscoso y sólido elástico<sup>34</sup> y factores tales como la presión de turgencia, rigidez de la pared celular, contenido de fibra y agua, tiempo, temperatura y dimensiones geométricas del producto determinan el comportamiento reológico de una fruta o vegetal<sup>35,36</sup>. En el caso de otras frutas como la fresa fresca, estudios de caracterización textural a partir de ensayos de punción han presentado resultados con altos coeficientes de variación<sup>37</sup>.

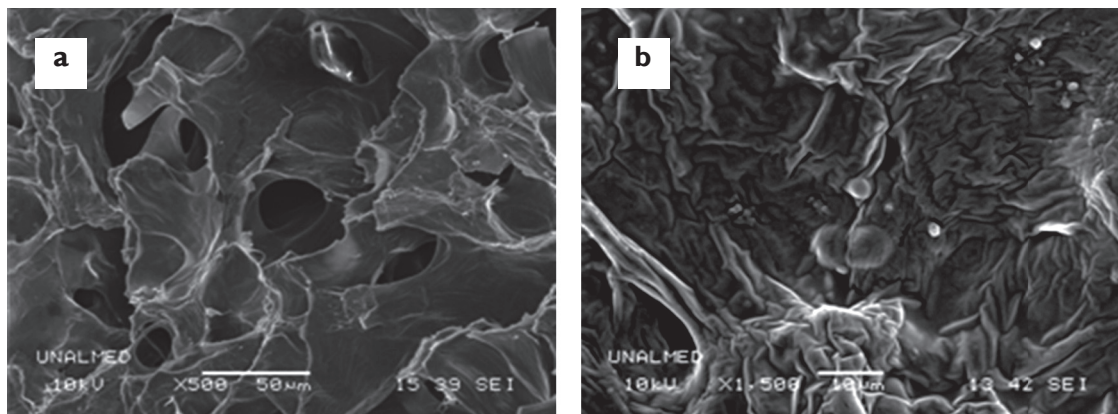




**Gráfico 2. Fractura de las cortezas de naranja**

Fuente: elaboración propia

*Microestructura:* Las micrografías arrojadas obtenidas por SEM a 500 aumentos muestran algunas de las características microestructurales de las cortezas de naranja, lo que ayuda a entender el comportamiento del tratamiento de desamargado y de la IV, aplicado a este residuo. La arquitectura celular del tejido de albedo de las cortezas de naranja desamargadas sin impregnar, foto I a), donde las paredes celulares están bien definidas, y en la Foto I b) de las cortezas de naranja desamargadas e impregnadas, permite observar algunas gotas de material liposoluble en los poros como producto del proceso de impregnación al cual fueron sometidas con vitaminas E y D, y evidenciar la presencia de estos componentes fisiológicamente activos; esto se puede atribuir a la estructura del albedo como material que permite la incorporación efectiva de solución de impregnación debido a su contenido de polisacáridos tales como sustancias pécticas y, a su vez, la ruptura de las uniones de las células que se produjeron posiblemente por el tratamiento térmico combinado con las presiones de vacío alcanzadas por los poros de la corteza. Otros autores tales como Chafer y otros<sup>24</sup>, reportan cambios celulares de las cortezas de ciertos cítricos que presentaron comportamientos similares después del tratamiento con IV, con resultados favorables cuando la solución de impregnación es isotónica.



**Foto I. a) Micrografía corteza de naranja desamargada y b) desamargada e impregnada con compuestos bioactivos**



## CONCLUSIONES

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 proporciona la incorporación de componentes fisiológicamente activos con soluciones adecuadamente formuladas.

El tratamiento más efectivo en la disminución del gusto amargo logro obtenerse con la incorporación de una solución de sacarosa de 45° Brix usando la técnica de impregnación a vacío.

Los niveles alcanzados de vitaminas E y D en las cortezas de naranja, desamargadas e impregnadas, fueron  $46.6 \pm 5.4$  y  $14.6 \pm 1.9$  VDR/50g corteza fresca, respectivamente, lo que permite concluir que la técnica de impregnación a vacío es una alternativa importante en el aprovechamiento de residuos, para obtener productos saludables con valor agregado.

Los parámetros de color ( $L^*$  y  $b^*$ ) y la fracturabilidad de las cortezas de naranja se afectaron por el tratamiento térmico en el proceso de desamargado, pero los compuestos bioactivos presentes naturalmente en la corteza no disminuyeron significativamente por aplicación de las metodologías utilizadas.

## REFERENCIAS

1. YEPES, S.; MONTOYA, L. y OROZCO, F. Valorización de residuos agroindustriales frutas en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. En: Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. 2008. Vol. 61 I. p. 4422-4431.
2. AGRONET. Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario. [En línea]. Bogotá: Agronet Colombia - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009. [Citado el 12 de octubre de 2011]. Url disponible en: <http://www.agronet.gov.co>
3. BELIBASAKIS, N. G. and TSIRGOGIANNI, D. Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. En: Animal Feed Science and Technology. 1996. Vol. 60, No. 1-2. p. 87-92.
4. POURBAFRANI, M.; et al. Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes. En: Bioresource Technology. 2010. Vol. 101, No. 11. p. 4246-4250.
5. WILKINS, M. R.; WIDMER, W. W. and GROHMANN, K. Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. En: Process Biochemistry. 2007. Vol. 42, No. 12. p. 1614-1619.
6. SREENATH, H. K.; CRANDALL, P. G. and BAKER, R. A. Utilization of citrus by-products and wastes as beverage clouding agents. En: Journal of Fermentation and Bioengineering. 1995. Vol. 80, No. 2. p. 190-194.
7. FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; et al. Application of functional citrus by-products to meat products. En: Trends in Food Science & Technology. 2004. Vol. 15, No. 3-4. p. 176-185.
8. CEREZAL, P. and PIÑERA, R. M. Carotenoides en las frutas cítricas. Generalidades, obtención a partir de desechos del procesamiento y aplicaciones. En: Alimentaria. 1996. Vol. 33. p. 19-32.
9. YEOH, S.; SHI, J. and LANGRISH, T. A. Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. En: Desalination. 2008. Vol. 218, No. 1-3. p. 229-237.

10. CHIRALT, A.; et al. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization and Process Assessment. OLIVEIRA F.A. y OLIVEIRA, J. C. Eds. Boca Ratón: CRC Press, 1999. p. 341-356.,
11. MARÍN, Zaira; CORTÉS, Misael y MONTOYA, Olga. Frutos de Uchuva (*Physalis peruviana L.*) Ecotipo 'Colombia' mínimamente procesados, adicionados con microorganismos probióticos utilizando la ingeniería de matrices. En: Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 2010. Vol. 63, No. 1. p. 5395-5407.
12. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. y MARQUES, C. J. Uchuvas (*Physalis peruviana L.*) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. En: Revista de la Universidad de Antioquia. VITAE. 2009. Vol. 16, No. 1, p. 19-30.
13. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. y ROJANO, B. Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) fortificada con vitamina E. En: DYNA Universidad Nacional Sede Medellín. 2009. Vol. 159. p.7353
14. TAPIA, M. S.; et al. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD). En: Techniques. Food Sci. Technol. 1999. Vol. 5. p. 43-52.
15. MUNTADA, V.; et al. Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. En: Journal Food Science. 1998. Vol. 63. p. 616-620.
16. GRASS, M.; et al. The response of some vegetables to vacuum impregnation. En: Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2002. Vol. 3. p. 263-269.
17. HEIONEN, O. P.; ALBANES, D. and VIRTAMO, J. Prostate cancer and supplementation with  $\alpha$ -tocopherol and  $\beta$ -carotene: incidence and mortality in a controlled trial. En: J. Natl. Cancer Inst. 1998. Vol. 90. p. 440-446.
18. GUEVARA, M.; et al. Estimación de vitamina D en mujeres con osteopenia y osteoporosis en Cundinamarca – Colombia por medio de extracción en fase sólida, cromatografía líquida de alta resolución y análisis multivariado. En: Revista Nova. 2003. Vol. 1. p. 72-80.
19. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC. Metodología Análisis sensorial, Prueba triangular. Bogotá: ICONTEC, 2006. (NTC 2681)
20. CORTÉS, M.; OSORIO, A. y GARCÍA, E. Manzana deshidratada fortificada con vitamina E utilizando la ingeniería de matrices. En: Vitae. 2007. Vol. 14, No. 2. p. 17-26.
21. CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia: España, 2004.
22. KMOSTAK, S. and KURTZ, D. Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Premixes by Capillary Gas Chromatography. En: AOAC International. 1993. Vol. 76, No. 4. p. 735-741
23. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. and MARQUES, C. J. Op. Cit. p. 19-30
24. CHÁFER, M.; et al. Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. En: Food Research International. 2003. Vol. 36. p. 35-41.
25. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. and MARQUES, C. J. Op. Cit. p. 19-30
26. CORTÉS, M. Op. Cit. p. 87-93
27. MARÍN, Zaira; CORTÉS, Misael y MONTOYA, Olga. Op. Cit. p. 5395-5407.
28. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. and MARQUES, C. J. Op. Cit. p. 19-30

29. COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 333 del 10 de febrero de 2011. Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. Bogotá: El Ministerio, 2011.
30. RESTREPO, A. M.; CORTÉS, M. and MARQUES, C. J. Op. Cit. p. 19-30
31. MARÍN, Zaira; CORTÉS, Misael y MONTOYA, Olga. Op. Cit. p. 5395-5407.
32. LONDOÑO, J.; *et al.* Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel: Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. En: Food Chemistry. 2010. Vol. 119. p. 81-87.
33. CHAFER; *et al.* Orange peel products obtained by osmotic dehydration. En Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation: Application in Food Industries. Ed. P. Fito; A. Chiralt; J.M. Barat; Walter E.L. Spiess; Diana Behnilian. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.: Tecnomich, 2001. p. 93-108.
34. MOHSENIN, N. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. p. 664-668
35. RAO, M.A. and ANDY STEFFE, J. F. Viscoelastic properties of foods. New York: Elsevier Applied Science, 1992. p. 444.
36. AGUSTÍ, M.; MARTÍNEZ-FUENTES, A. and MESEJO, C. La calidad de los frutos cítricos: fundamentos, fisiología y técnicas de mejora. En: Agro ciencia. 2002. Vol. 4, No. 2. p. 1-16.
37. ALMENAR, E. Envasado activo de fresas silvestres. Tesis Doctoral. Valencia, España: Universitat de Valencia, 2005.
38. CHÁFER, M.; *et al.* Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. En: Food Research International. Valencia, España. 2003. Vol. 36. p. 35-41.