

Efecto del Pretratamiento con Deshidratación Osmótica en la Impregnación a Vacío de Láminas de Banano para el Desarrollo de un Alimento Funcional

Sneyder Rodríguez-Barona⁽¹⁾, Jaime A. Cuaspud⁽¹⁾ y Gloria I. Giraldo^{(2)*}

(1) Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Km.7 Vía al aeropuerto, Campus la Nubia, Caldas- Colombia.

(e-mail: srodriguezba@unal.edu.co; jacuaspudy@unal.edu.co)

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física y Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Km.7 Vía al aeropuerto, Campus la Nubia, Caldas- Colombia

(e-mail: gigiraldogo@unal.edu.co)

*Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Sep. 14, 2018; Aceptado Nov. 30, 2018; Versión final Ene. 18, 2019, Publicado Ago. 2019

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la deshidratación osmótica (DO) sobre la porosidad de láminas de banano, como pretratamiento del proceso de impregnación a vacío (IV). La porosidad de las muestras se determinó mediante la relación entre la densidad real y la densidad aparente aplicando el modelo acoplado mecanismo hidrodinámico- fenómeno deformación-relajación. Se empleó sacarosa e inulina como agentes osmo-deshidratantes. La porosidad inicial en las muestras de banano sin DO fue de $4,6\pm 0,8\%$, para las muestras osmo-deshidratadas con inulina fue de $10,9\pm 0,9$ y con sacarosa de $17,6\pm 1,7\%$. El proceso de IV arrojó valores de fracción de impregnación de $13,7\pm 0,8$ y $30,9\pm 1,7\%$ en muestras con y sin proceso de DO respectivamente. Incrementar los espacios porosos en las matrices alimenticias, usando DO se convierte en una alternativa de valor, pues podría favorecer la incorporación de componentes bioactivos a través de IV.

Palabras clave: porosidad; matriz alimenticia; acoplamiento hidrodinámico; alimentos funcionales.

Effect of Pre-Treatment with Osmotic Dehydration in the Vacuum Impregnation of Banana Slices for the Development of a Functional Food

Abstract

The objective of this work is to evaluate the effect of osmotic dehydration (OD) on the porosity of banana slices, as pre-treatment of the vacuum impregnation process (VI). The porosity of the samples was determined by the relationship between the real density and the apparent density by applying the model coupled hydrodynamic mechanism-deformation-relaxation phenomenon. Sucrose and inulin were used as osmo-dehydrating agents. The initial porosity in banana samples without OD was $4.6\pm 0.8\%$, for the samples with inulin was 10.9 ± 0.9 and with sucrose of $17.6\pm 1.7\%$. The VI process showed values of impregnation fraction of 13.7 ± 0.8 and $30.9\pm 1.7\%$ in samples with and without OD process respectively. Increasing the porous spaces in the dietary matrices, using OD becomes a valuable alternative because it could favor the incorporation of bioactive components through VI.

Keywords: porosity; dietary matrix; hydrodynamic; functional foods

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una alimentación adecuada que permita disminuir factores de riesgo y adquirir una mejor calidad de vida es de gran interés entre los consumidores. Es en este nuevo contexto donde los alimentos funcionales (AF) ganan cada vez más acogida en el mercado (Valenzuela *et al.*, 2014). Desde el año 2000, se han empleado diversas tecnologías para el desarrollo de AF como: ingeniería genética (Laible, 2009; Zhu *et al.*, 2008), técnicas de cultivo y cría (Woods y Fearon, 2009), microencapsulación (de Vos *et al.*, 2010; Weinbreck *et al.*, 2010) e ingeniería de matrices (Cortés *et al.*, 2007; Garzón *et al.*, 2014; Radziejewska-Kubzdela, *et al.*, 2014). Con esto, la industria de los alimentos toma en consideración muchas variables para desarrollar productos funcionales, tales como aceptación sensorial, estabilidad, precio, propiedades físicas, químicas y funcionales (Betoret *et al.*, 2011). La Ingeniería de matrices es una herramienta de la ingeniería de alimentos, que utiliza conocimientos desde la ingeniería y la microestructura de los materiales alimentarios, para producir y controlar cambios que modifiquen las propiedades composicionales, funcionales y/o sensoriales, entre otras, en los alimentos de estructura porosa (Garzón *et al.*, 2014). El diseño de AF mediante ingeniería de matrices usa como técnica la IV, la cual se basa en la incorporación de compuestos fisiológicamente activos (CFA) en los espacios vacíos de una matriz alimenticia con ayuda de una solución impregnadora. Los productos desarrollados con IV adquieren mejores propiedades nutricionales y sensoriales dependiendo de la funcionalidad de los CFA de la solución de impregnación (Occhino *et al.*, 2011; Zhao y Xie, 2004; Radziejewska-Kubzdela, *et al.*, 2014).

La IV tiene como principio la generación de gradientes de presión macroscópicos entre la cámara de vacío y el interior del alimento poroso, de esta manera, se promueve el transporte de líquido de impregnación (solución, dispersión o emulsión estable) ocasionado por el mecanismo hidrodinámico (MHD) y al fenómeno de deformación-relajación (FDR) impuesto por los cambios de presión (Derossi *et al.*, 2010). La eficiencia del acoplamiento se ve afectado por la presión y tiempos de operación; geometría, porosidad, tamaño y propiedades mecánicas de la matriz; además de la composición, temperatura, viscosidad y tensión superficial de la solución impregnadora (Zhao y Xie, 2004; Derossi *et al.*, 2012; Phianmongkhon y Wirjantor, 2016). Teniendo en cuenta que la porosidad es una variable crítica en el diseño de AF mediante IV, ya que una matriz alimenticia con una mayor cantidad de espacios vacíos permite alojar en su interior una mayor proporción de compuestos benéficos. Es de gran interés estudiar tecnologías que permitan incrementar la porosidad y con esta aumentar la eficiencia del proceso de IV. Es en este punto, donde la técnica de DO resulta de gran interés. La DO es una técnica ampliamente utilizada en la conservación de alimentos, la cual consiste en retirar el contenido de agua de una matriz alimenticia con un aumento simultáneo de sólidos por efecto de la presión osmótica que ejerce una solución hipertónica de uno o varios agentes deshidratantes, por un tiempo determinado a una temperatura específica (Verma *et al.*, 2013, Estrada *et al.*, 2018). Esta pérdida de agua de la matriz alimenticia provoca una apertura mayor en los poros de la membrana celular lo cual favorece el flujo de transferencia de pérdida y ganancia de masa (Palacios *et al.*, 2010; Ishfaq *et al.*, 2016). Analizar el efecto de la DO sobre la porosidad de una matriz resulta de gran utilidad para el proceso de IV; ya que incrementar los espacios libres en la matriz puede significar un aumento en la incorporación de CFA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con banano variedad Antigua o Blanco (*Musa Cavendish*) cultivado en la zona rural de Manizales vereda Alto Bonito. Las muestras fueron sometidas a un proceso de higienización, al ser sumergidas durante un minuto en una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio y luego enjuagadas con abundante agua, posteriormente los bananos fueron pelados manualmente y cortadas en láminas de $10 \pm 0,8$ mm de ancho y diámetro de $32 \pm 0,5$ mm. Estas láminas fueron debidamente identificadas y pesadas en una balanza analítica digital (Mettler Toledo, modelo AB 204), rango de medición de 0.01 a 210 g y resolución de 0.0001.

Propiedades fisicoquímicas de la fruta

Se determinó el porcentaje de humedad pesando en una balanza analítica (resolución 0,0001g) siguiendo el protocolo sugerido por la (AOAC, 2000). La actividad de agua se obtuvo, utilizando un higrómetro de punto de rocío a 25°C marca DECAGON DEVICES, Inc. 2000 (AOAC, 1995). El contenido de sólidos solubles (°Brix) y la acidez se determinaron a partir de muestras de banano previamente maceradas empleado el método refractométrico y volumétrico respectivamente (AOAC, 2000). Para determinar los sólidos solubles se utilizó un refractómetro de Abbe (Abbe-3L Fisher Scientific, precisión ± 0.25 °Brix) Se determinó la acidez titulable con NaOH 0.1 N. El índice de madurez se determinó utilizando la relación que existe entre el contenido de sólidos solubles y el porcentaje de acidez.

Proceso de deshidratación osmótica (DO)

Se prepararon soluciones hipertónicas de 55 °Brix teniendo en cuenta la relación sólidos-solución osmodeshidratante de 1:4 p/v (Granada-Orozco *et al.*, 2011). Las pruebas de DO se llevaron a cabo con dos tipos de agentes osmodeshidratantes: Sacarosa (Agente osmodeshidratante de uso habitual, adquirida en el mercado local) e Inulina (Agente osmodeshidratante considerada fibra soluble obtenida de la raíz de achicoria adquirida a través de la casa comercial Tecnas). En este proceso se evaluó la ganancia de sólidos totales (°Brix), la pérdida de peso y agua, calculadas mediante las ecuaciones (1), (2) y (3) (Verma *et al.*, 2013):

$$\Delta M_t^{ss} = \frac{M_t^o X_t^{ss} - M_0^o X_0^{ss}}{M_0^o} \quad (1)$$

Donde ΔM_t^{ss} , M_0^o , M_t^o , X_0^{ss} y X_t^{ss} corresponden a la ganancia de sólidos solubles en la muestra en el tiempo t, peso inicial de la muestra, peso final de la muestra en el tiempo t, contenido de sólidos solubles iniciales en la muestra y contenido de sólidos solubles finales en la muestra en el tiempo t respectivamente.

$$\Delta M_t^o = \frac{M_t^o - M_0^o}{M_0^o} \quad (2)$$

Donde ΔM_t^o , M_0^o y M_t^o representan la pérdida de peso de la muestra en el tiempo t, Peso inicial de la muestra y Peso final de la muestra en el tiempo t respectivamente.

$$\Delta M_t^w = \frac{M_t^o X_t^w - M_0^o X_0^w}{M_0^o} \quad (3)$$

Donde ΔM_t^w , M_0^o , M_t^o , X_0^w y X_t^w corresponden a la pérdida de agua en la muestra en el tiempo t, peso inicial de la muestra, peso final de la muestra en el tiempo t, contenido de humedad inicial de la muestra y contenido final de la muestra en el tiempo t. El contenido de humedad y sólidos solubles se realizó de acuerdo al protocolo descrito en la sección anterior. Cada ensayo se realizó por triplicado.

Determinación de la porosidad en muestras osmodeshidratadas

La densidad aparente y real (ρ_a y ρ_r) se determinaron mediante el método del picnómetro (AOAC, 1998) y a través de las ecuaciones (4) y (5) (Sablani *et al.*, 2002; Yan *et al.*, 2008):

$$\rho_a = \frac{P_m * \rho_w}{P_a + P_m + P_{m+a}} \quad (4)$$

$$\rho_r = \frac{(P_m - P_v) * \rho_w}{P_a - P_v} \quad (5)$$

Donde, P_m , P_v , P_a , P_{m+a} y ρ_w son peso del picnómetro con la muestra, peso del picnómetro vacío, peso del picnómetro con agua, peso del picnómetro con la muestra y aforado con agua y densidad del agua, respectivamente.

La porosidad de las muestras fue determinada considerando la relación que existe entre la densidad aparente y la densidad real mediante la ecuación 6 (Sablani *et al.*, 2002; Yan *et al.*, 2008).

$$\varepsilon = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \quad (6)$$

Análisis microestructural

Las muestras fueron adheridas a cinta adhesiva de carbono y observadas en un microscopio electrónico de barrido (ESEM) marca FEI QUANTA 250 con alto vacío y una resolución de 5 nm en modo de alta tensión, posteriormente observadas a diferentes aumentos.

Proceso de impregnación a vacío (IV)

Se formularon soluciones isotónicas de inulina igualando el contenido de sólidos solubles (°Brix) presentes en la fruta para minimizar la influencia de otro mecanismo de transferencia de masa diferente al MHD. Esto con el objetivo de determinar los parámetros teóricos de IV teniendo en cuenta únicamente el MHD durante el proceso de IV.

El proceso de IV se realizó en un equipo experimental conformado por una cámara de acero inoxidable dotada con una bomba de vacío marca DOSIVAC modelo DVR 140, con un sistema integrado de pesaje (resolución $\pm 0,2$ gr) y un vacuómetro (0 – 29,9 In Hg). La presión barométrica local de experimentación fue de 23,5 In Hg. El proceso de IV consistió en sumergir láminas de banano en diferentes soluciones de impregnación y someterlas a una presión de 22,7 In Hg durante 10 minutos. Posteriormente, se restableció la presión barométrica del ambiente, manteniendo las muestras sumergidas en la solución por otros 10 minutos adicionales; de acuerdo al procedimiento descrito por Fito (1994).

La respuesta de la IV se obtuvo en términos de la fracción impregnada y deformación volumétrica en la etapa de vacío (X_1 : m^3 de solución impregnada/ m^3 de muestra inicial y γ_1 : m^3 de deformación en la muestra / m^3 de muestra inicial) y al final del proceso (X y γ), además de la porosidad eficaz (ϵ_e : m^3 de gas/ m^3 de muestra) de acuerdo a lo descrito por Mao *et al.*, (2017). El cálculo de estos términos se hizo teniendo en cuenta el peso inicial y final de las muestras. La porosidad efectiva (ϵ_e) disponible en la matriz alimenticia se calculó usando el modelo acoplado MHD-FDR (Mao *et al.*, 2017) y definido según las ecuaciones 7, 8 y 9:

$$X = \frac{M_t - M_0}{\rho_{SI} V_0} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0} \quad (8)$$

$$X - \gamma = \frac{\epsilon_e (r - 1) - \gamma}{r} \quad (9)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la norma NTC 1190 (2000), se puede clasificar la materia prima como banano pintón y maduro. En la Tabla 1 se reporta la caracterización fisicoquímica del banano tras 9 días post cosecha, los valores corresponden al promedio de 6 muestras. Los resultados obtenidos son muy similares a los publicados por (Pinto *et al.*, 2010), quienes reportaron una a_w de 0.98, humedad del 71 %, pH de 5,3 y acidez del 0,12 % en bananos de la variedad *Musa cavendish* tipo exportación, de la región del Urabá (Antioquia – Colombia). Entre los parámetros evaluados, el valor de la porosidad en la matriz estructural del banano, juega un papel determinante en el proceso de impregnación al dar una idea del espacio potencialmente disponible para ser ocupado por la solución de impregnación, en cuyo caso a mayor porosidad, mayor será el nivel de impregnación (Derossi *et al.*, 2012; Radziejewska-Kubzdela *et al.*, 2014).

El porcentaje de porosidad obtenido de $4,6 \pm 0,79$ difiere significativamente de algunos reportados, entre ellos, banano (*Giant Cavendish*) aproximadamente 6% (Yan *et al.*, 2008) y alrededor del 23% para el banano *Musa sapientum L. var Prata* (Porciuncula 2015). En este caso, es importante considerar que de matriz a matriz el tamaño y forma del poro, su conectividad, tortuosidad y curvaturas varían según grado de madurez, condiciones de cultivo y variedades vegetales, lo que afecta directamente la estructura del tejido y por tanto su porosidad (Derossi *et al.*, 2012).

Tabla 1: Características fisicoquímicas del banano.

Densidad (g/mL)	1,13 \pm 0,112
Humedad (%)	74 \pm 0,53
A_w	0,98 \pm 0,01
Acidez (%)	0,135 \pm 0,009
Índice de maduración	170,47 \pm 11,6
Sólidos solubles (%)	22,7 \pm 0,47
pH	5,62 \pm 0,15
Porosidad (%)	4,6 \pm 0,79

Deshidratación osmótica

Los resultados obtenidos del proceso de DO (ΔM_t^o , ΔM_t^w y ΔM_t^{ss}) se muestran en la Figura 1. La pérdida de masa (ΔM_t^o) en la DO con sacarosa permite una mayor pérdida de peso que la obtenida con inulina como agente osmótico. Este comportamiento puede ser explicado por las diferencias que existe entre las propiedades fisicoquímicas de los agentes osmóticos evaluados. Por un lado, la diferencia en el tamaño molecular de la sacarosa y la inulina puede tener una gran influencia en la presión osmótica que se ejerce

hacia las paredes de la matriz alimenticia, ya que las interacciones de estos agentes en disoluciones hipertónicas se comportaran de manera diferente. Para el caso de la inulina, existe una disminución en su volumen específico lo que aumenta las interacciones soluto-soluto, más no las interacciones agua-soluto, debido a incompatibilidades estructurales entre el agua y la inulina. Este fenómeno podría explicar por qué las difusividades efectivas de los solutos y el agua en inulina son menores con respecto a los valores obtenidos por la sacarosa (Matusek *et al.*, 2008; Rodríguez-Barona *et al.*, 2014; Kowalska *et al.*, 2017).

La ganancia sólidos y la pérdida de agua son mayores usando sacarosa como agente osmótico, los valores obtenidos fueron de 1,15 y -4,04 unidades más altos para el caso de la sacarosa en comparación con la inulina. La Figura 1 muestra una pérdida de agua y ganancia de sólidos mayor a medida que se incrementa el tiempo, sin embargo, la difusividad de estas dos variables es más eficiente a los 120 minutos de transcurrido el proceso de DO. Esto puede ser el resultado de la rápida acción del mecanismo hidrodinámico que provoca la ganancia inicial de la solución osmótica por capilaridad o por los cambios de presión impuestos, resultados similares fueron reportados por Nowakunda *et al.*, (2004) en láminas de banano de 10 mm de espesor osmodeshidratadas en soluciones hipertónicas de sacarosa a 45, 55 y 65 ° Brix. Kowalska *et al.*, 2017, encontraron que la ganancia de sólidos en la osmodeshidratación de fresas con inulina, se redujo a la mitad en comparación cuando el proceso se realizó con sacarosa, quienes concluyeron que la sacarosa por tener un menor peso molecular puede penetrar más profundamente en los tejidos de la fruta durante la OD, lo cual genera un mayor intercambio de masa.

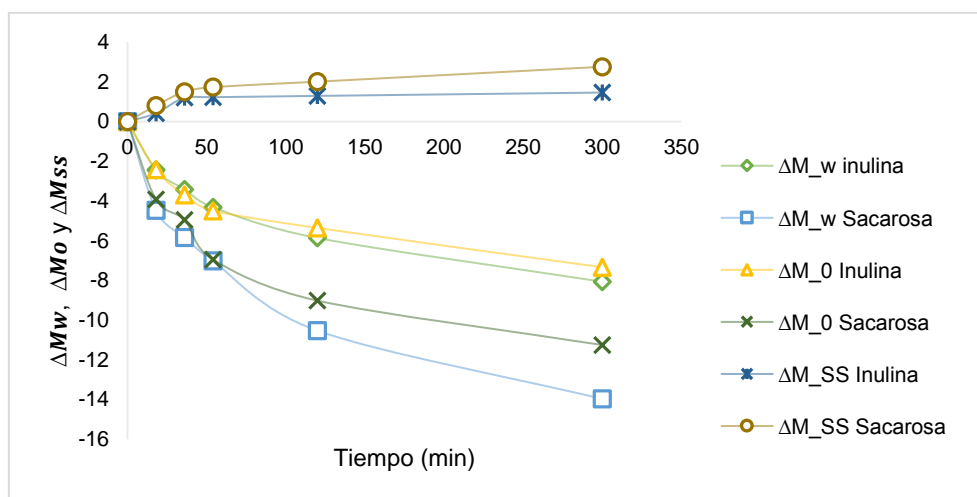


Fig. 1: Cinética de deshidratación osmótica con sacarosa e inulina. a) Pérdida de humedad (ΔM_t^w), ganancia de sólidos solubles (ΔM_t^{ss}) y Pérdida de peso (ΔM_t^0) vs tiempo (h).

Estos resultados subrayan la importancia de elegir la combinación apropiada de los parámetros que permitan mayor eficiencia durante la DO. Los resultados del proceso de DO mostrados en la Figura 1 permitieron establecer un tiempo de 120 minutos para efectuar el proceso de DO previo al proceso de IV, ya que es en este periodo de tiempo donde se obtiene una mayor difusividad de solutos.

Efecto de la DO en la porosidad del banano

La porosidad es una variable fundamental en la elaboración de alimentos fortificados mediante la tecnología de IV, ya que de esta depende la eficiencia con la cual se incorporarán los diferentes CFA en la matriz alimenticia. Con el proceso de DO se obtuvieron valores de porosidad de $10,9 \pm 0,9\%$ y $17,57 \pm 1,7\%$ usando inulina y sacarosa como agentes osmodeshidratantes respectivamente. Se obtuvo un incremento de 6,3 y 12,97 unidades porcentuales en la porosidad del banano usando sacarosa e inulina respectivamente. Esto implica que el tratamiento de DO impacta positivamente en el porcentaje de espacios vacíos de la matriz del banano, pues la pérdida de agua debida a la DO produce un incremento en el volumen interno como resultado del encogimiento durante la deshidratación (Derossi *et al.*, 2012). El incremento de la porosidad se ve mayormente afectado con el uso de sacarosa como agente osmótico. Este parámetro en todo caso, se vió favorecido con la aplicación de DO, presentándose como alternativa para incrementar su valor, de manera que se disponga de una matriz con mayor espacio disponible para incorporar componentes de interés en su estructura. La microscopia SEM arrojó un diámetro de poros en muestras de banano sin tratamiento de $8,72 \pm 1,12 \mu\text{m}$, por el contrario, el diámetro de poros en muestras con DO fue de $39,8 \pm 13,3 \mu\text{m}$. Se obtuvo un incremento de $31,07 \mu\text{m}$, esto se ve reflejado en la gran diferencia estructural de la matriz con y sin DO.

La figura 2 muestra el efecto de la DO en la matriz estructural de láminas de banano, es posible observar en las muestras osmodeshidratadas un incremento en la tortuosidad de la superficie debido a la mayor porosidad lograda gracias a la pérdida de agua en la estructura, factor favorable para la posterior impregnación a vacío de compuestos fisiológicamente activos en la matriz vegetal.

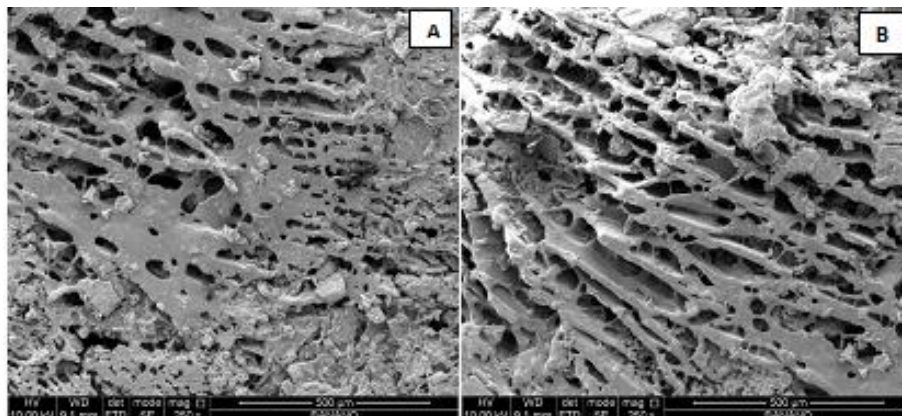


Fig. 2: Microestructura de la superficie de láminas de banano osmodeshidratadas. A) sin OD B) con OD.

Proceso de IV en muestras con y sin DO

A pesar de tener resultados más favorables en la porosidad usando sacarosa para el proceso de DO, en los estudios posteriores se trabajó con inulina como agente osmodeshidratante y vehiculizante para el diseño de disoluciones de impregnación considerando su carácter funcional y con el objetivo de dar cualidades saludables al producto final. Se estudió el comportamiento de esta matriz con y sin DO con inulina, frente a la impregnación a vacío con soluciones isotónicas de inulina. Lo anterior con el objetivo de determinar si la matriz porosa del banano osmodeshidratado se ajusta a los requerimientos para una suficiente incorporación de CFA y el diseño de alimentos funcionales mediante IV.

Parámetros teóricos de impregnación

La Tabla 2 muestra los diferentes valores de las fracciones de impregnación y deformación volumétrica al inicio y al final del proceso, además de la porosidad efectiva para muestras de banano con y sin pretratamiento de DO. Como resultado de la impregnación al vacío, la porosidad del tejido aumenta a través de la expansión del gas atrapado en los poros; por lo tanto, un mayor volumen de materia prima está disponible en el proceso de impregnación durante el restablecimiento de la presión atmosférica (Radziejewska-Kubzdela, 2014).

Tabla 2: Parámetros teóricos de impregnación en muestras con y sin DO.

Ensayo	γ_1 (%)	γ (%)	X_1 (%)	$X_{teórico}$ (%)	ϵ_e (%)
Sin DO	-5,84 ± 0,90	2,47 ± 2,11	-3,64 ± 0,92	13,74 ± 0,75	11,96 ± 0,65
Con DO	-18,02 ± 2,77	2,75 ± 1,60	-9,58 ± 1,15	30,86 ± 1,74	22,91 ± 0,65

La gran diferencia entre la fracción de deformación (γ_1) en muestras con y sin pretratamiento de DO, puede ser el resultado del incremento de espacios vacíos en la matriz alimenticia. Pues es posible que en el momento de aplicar el vacío el incremento de estos espacios (poros) permita una mayor contracción de la matriz. Por otro lado, los resultados muestran que el tratamiento de DO no afecta la capacidad de la matriz de restaurar su estado volumétrico inicial; ya que la matriz no sufrió deformaciones irreversibles, esto se ve reflejado en la similitud de los valores positivos de la fracción de deformación (γ) al final del proceso en muestras con y sin DO. Deformaciones irreversibles de la matriz se representan con el signo negativo en la γ , producto del acoplamiento del mecanismo hidrodinámico y los fenómenos de deformación-relajación. El grado de impregnación del tejido está asociado en gran medida con la porosidad, el tamaño y la forma de los poros, así como las propiedades mecánicas.

Para el caso de X_1 y X se ve una gran diferencia entre las muestras con y sin DO. Las muestras con pretratamiento de DO presentaron mayor salida de líquido nativo, esto se ve reflejado en X_1 ; donde el signo negativo representa la salida de líquido por efecto del vacío aplicado. Este hecho, permite una mayor entrada de disolución de impregnación en el momento de restaurar la presión atmosférica en el sistema, dando como resultado valores de X mayores en muestras con DO en comparación a los valores obtenidos en muestras

sin pretratamiento. Los resultados obtenidos en esta sección, permitieron corroborar el incremento de la porosidad como respuesta al pretratamiento de la DO. La IV arrojó valores de porosidad mayores en 10,95 unidades porcentuales en muestras con DO en comparación a las muestras que no fueron pretratadas. La IV produjo un incremento en la porosidad en muestras que previamente habían sido sometidas a DO, las cuales presentaron un valor de porosidad de aproximadamente dos veces al de las muestra sin tratamiento, esto puede explicarse teniendo en cuenta que la aplicación de vacío, modifica la estructura del poro causando su expansión (Mateus de Lima *et al.*, 2016).

Resultados similares de X ($15,66 \pm 2,16$) y ϵ_e ($14,64 \pm 2,46$) fueron reportados por (Pinto *et al.*, 2010) para láminas de banano de 10 mm de espesor sin pretratamiento de DO. Las diferencias entre los parámetros γ_1 ($-0,88 \pm 2,02$), γ ($-2,84 \pm 1,01$) y X_1 ($-0,88 \pm 2,02$) reportados por (Pinto *et al.*, 2010) pueden ser debidos a diferencias en la procedencia y estado de maduración del banano empleado; condiciones de operación del proceso y disoluciones de IV empleadas en los ensayos. El estado de madurez es importante para el proceso de IV, ya que la maduración de la fruta cambia rápidamente su firmeza debido a la degradación natural de la pared celular (Phianmongkhol y Wirjantor, 2016). Los valores de X en láminas de banano con DO son muy superiores a los obtenidos en otras matrices alimenticias como mango (14,7), manzana (17,4), fresa (1,5) y mora (7.69), impregnadas con soluciones isotónicas, y similar a la obtenida con hongos *Pleurotus ostreatus* (31,2) (Cortés *et al.*, 2007; Ruiz, 2009, Rodríguez-Barona, *et al.*, 2015). Estos altos valores de X y ϵ_e indican que el banano maduro con y sin pretratamiento de DO es un material apto para el desarrollo de alimentos funcionales aplicando la técnica de IV.

CONCLUSIONES

La DO de la matriz de banano *Musa Cavendish* generó un incremento en la porosidad de un 13 y 6 % cuando se empleó como agente osmótico sacarosa e inulina, respectivamente. Fue evidente un mayor efecto de la sacarosa como agente osmodeshidratante. En ambos casos, se observó una mejora significativa en la fracción volumétrica de impregnación, fracción de deformación y la porosidad efectiva en la matriz de banano pre tratada con DO y sometida a IV. Estos valores predicen una mayor eficiencia en el proceso de impregnación de CFA en la matriz vegetal mediante IV. El uso de inulina como agente osmodeshidratante resulta de gran interés en el desarrollo de alimentos con cualidades funcionales al ser considerada fibra prebiótica, benéfica para la flora intestinal humana, generar un menor aporte calórico y una evidenciada sensación de saciedad.

REFERENCIAS

- AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Ed, Vol. 1. AOAC, Arlington, VA, USA (1995)
- AOAC, Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists International, 16th Ed., Vol 2, Maryland, USA (1998)
- AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Ed. AOAC, Gaithersburg, USA (2000)
- Betoret, E., N. Betoret, D. Vidal y P. Fito, *Functional foods development: Trends and technologies*, doi:10.1016/j.tifs.2011.05.004, Trends Food Sci Tech, 22, 498-508 (2011)
- Cortés, M., A. Osorio y E. García, *Manzana deshidratada fortificada con vitamina E utilizando la ingeniería de matrices*, ISSN: 0121-4004, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 14(2), 17-26 (2007)
- de Vos, P., Faas, M. M., M. Spasojevic y J. Sikkema, *Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components*, doi:10.1016/j.idairyj.2009.11.008, Int. Dairy J, 20, 292-302 (2010)
- Derossi, A., T. De Pilli y C. Severini, *Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper*, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.019, J. of Food Eng., 99, 9-15 (2010)
- Derossi, A., T. De Pilli y C. Severini, *The application of vacuum impregnation techniques in food industry*; in Scientific, health and social aspects of the food industry by B. Valdez, 25-56 InTech Europe, Rijeka, Croatia (2012)
- Estrada, H., C. E. Restrepo, S. Saumett y L. Pérez, *Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales*, doi:10.4067/S0718-07642018000300197, Inf. Tecnol., 29(3), 197-204 (2018)
- Fito, P., *Modelling of Vacuum Osmotic Dehydration of Food*, doi: 10.1016/0260-8774(94)90037-X, J. Food Eng., 22, 313-328. (1994)
- Garzón Jiménez, D., F. J. Castellanos y M. Cortes, *Impregnación al vacío de rodajas de plátano (Dominico Hartón) con calcio y zinc*, doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58349, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 67(2), 714-716 (2016)
- Granada-Orozco, J., S. Rodríguez-Barona y D. Cruz-Ríos, *Comparación de Sacarosa, Inulina y Fructooligosacaridos como agentes osmóticos en la Mora de Castilla*. II International Conference on Postharvest and Quality Management of Horticultural Products of Interest for Tropical Regions, 47-51 (2011)

- Ishfaq A., I.M. Qazi y J. Suraiya, *Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables*, doi: 10.1016/j.ifset.2016.01.003, *Innov. Food Sci. Emerg, Technol.*, 34, 29–43 (2016)
- Kowalska, H., A. Marzec y otros seis autores, *Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules*, doi:10.1016/j.lwt.2017.03.044, *LWT-Food Sci, Technol.*, 85, 500-505 (2017)
- Laible, G., *Enhancing livestock through genetic engineering - Recent advances and future prospects*, doi: 10.1016/j.cimid.2007.11.012, *Comp. Immunol Microb.*, 32, 123–137 (2009)
- Mao, J., L. Zhang y otros cuatro autores, *Effect of Vacuum Impregnation Combined with Calcium Lactate on the Firmness and Polysaccharide Morphology of Kyoho Grapes (Vitis vinifera x V. labrusca)*. doi: 10.1007/s11947-016-1852-5, *Food Bioprocess Technol*, 10, 699–709 (2017)
- Mateus de Lima, M., G. Tribuzi y otros cuatro autores, *Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks*, doi: 10.1016/j.lwt.2016.05.016 *LWT-Food Sci, Technol*, 72, 501-509 (2016)
- Matusek, A., B. Czukur y P. Merész, *Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple*, doi: 10.1016/j.ifset.2007.10.003, *Innov Food Sci Emerg*, 9, 365-373 (2008)
- Nowakunda, K., A. Andrés y P. Fito, *Osmotic dehydration of banana slices as a pretreatment for drying processes, Proceedings of the 14th International Drying Symposium, C*, 2077-2083 (2004)
- Occhino, E., I. Hernando y otros tres autores, *Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (Cucurbita pepo, L)*, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.125, *Procedia Food Sci.*, 1, 829-835 (2011)
- Palacios, G., M. G. Cruz y otros tres autores, *Deshidratación osmótica de frutos enteros de Cupapé (Cordia dodecandra A.DC., Boraginaceae)*. *LACANDONIA*, 4(2), 43-51 (2010)
- Phianmongkhol, A. y T. I. Wirjantoro, *Effect of ripening stage and vacuum pressure on vacuum impregnated mango 'Chok Anan'*, *Int. Food Res. J.*, 23(3), 1085-1091 (2016)
- Pinto, L. M., M. Cortés y G. Giraldo, *Evaluación de los atributos de calidad del banano verde (Musa cavendish) tratado por impregnación al vacío, durante el almacenamiento*, Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (2010)
- Porciuncula, B. D. A., L. A. Segura y J. B. Laurindo, *Processes for controlling the structure and texture of dehydrated banana*, doi:10.1080/07373937.2015.1014911, *Drying Technol*, 34(2), 167–176 (2015)
- Radziejewska-Kubzdela, E., R. Biegańska-Marecik y M. Kidoń, *Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products-A Review*, doi:10.3390/ijms150916577, *Int. J. Mol. Sci.*, 15, 16577-16610 (2014)
- Rodríguez-Barona, S., J. Granada-Orozco y D. Cruz-Ríos, *Comparación de Sacarosa, Inulina y Fructo-Oligosacáridos como Agentes Osmóticos en Mora de Castilla (Rubus glaucus Benth.)* *Products of Interest for Tropical Regions*, 2, 47-52 (2014)
- Rodríguez-Barona, S., G. I. Giraldo e Y. P. Zuluaga. *Evaluación de la Incorporación de Fibra Prebiótica sobre la Viabilidad de Lactobacillus casei Impregnado en Matrices de Mora (Rubus glaucus)*, doi: 10.4067/S0718-07642015000500005, *Inf. Tecnol.*, 26(5), 25-34 (2015)
- Ruiz, M., *Aplicación de la Ingeniería de Matrices en el desarrollo de hongos comestibles (Pleorotus ostreatus) mínimamente procesados, fortificados con vitaminas C, E y minerales calcio y zinc*. Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (2009)
- Sablani, S. S., M. Shafiur Rahman y D. S. Al-Sadeiri, *Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution*, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00103-0, *J. Food Eng.*, 52(2), 193–199 (2002)
- Valenzuela, A., R. Valenzuela, J. Sanhueza y G. Morales, *Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?* doi: 10.4067/S0717-75182014000200011, *Revista Chilena de Nutrición*, 41(2), 198-204 (2014)
- Verma, D., N. Kaushik y S. Rao, *Application of High Hydrostatic Pressure as a Pretreatment for Osmotic Dehydration of Banana Slices (Musa cavendishii) Finish-Dried by Dehumidified Air Drying*, *Food Bioprocess Technol*, 1-17 (2013)
- Weinbreck, F., I. Bodnár y M. L. Marco, *Can encapsulation lengthen the shelf-life of probiotic bacteria in dry products?* , doi: 10.1016/j.jfoodmicro.2009.11.004, *Int. J. Food Microbiol*, 136, 364-367 (2010)
- Woods, V. B. y A. M. Fearon, *Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: a review*, doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.002, *Livest Sci.*, 126, 1-20 (2009)
- Yan, Z., M. J. Sousa-Gallagher y R. Oliveira, *Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying*, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.06.004, *J. Food Eng.*, 89(3), 430–440 (2008)
- Zhao, Y. y J. Xie, *Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing*, ISSN: 0924-2244, *Trends Food Sci. Tech*, 15, 434-451 (2004)
- Zhu, C.F., S. Naqvi y otros cuatro autores, *Combinatorial genetic transformation generates a library of metabolic phenotypes for the carotenoid pathway in maize*, doi: 10.1073/pnas.0809737105, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 18232–18237c (2008)