



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA
POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

IMPREGNACIÓN DE PROBIÓTICOS Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE MIEL DE ABEJA SIN AGUIJÓN EN PLACAS DE PLÁTANO (*Musa cavendishii*) UTILIZANDO UNA EMULSIÓN MÚLTIPLE

KARINA HUERTA VERA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2015

La presente tesis, titulada: **IMPREGNACIÓN DE PROBIÓTICOS Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE MIEL DE ABEJA SIN AGUIJÓN EN PLACAS DE PLÁTANO (*Musa cavendishii*) UTILIZANDO UNA EMULSIÓN MÚLTIPLE**, realizada por la alumna: **Karina Huerta Vera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

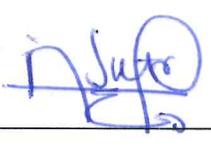
CONSEJERA: _____


DRA. ADRIANA CONTRERAS OLIVA

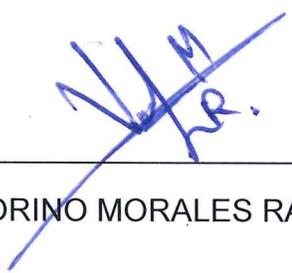
ASESOR: _____


DR. ENRIQUE FLORES ANDRADE

ASESOR: _____


DR. JUAN ANTONIO PÉREZ SATO

ASESOR: _____


DR. VICTORINO MORALES RAMOS

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, Junio de 2015.

IMPREGNACIÓN DE PROBIÓTICOS Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE MIEL DE ABEJA SIN AGUIJÓN EN PLACAS DE PLÁTANO (*Musa cavendishii*) UTILIZANDO UNA EMULSIÓN MÚLTIPLE

Karina Huerta Vera, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Los componentes fisiológicamente activos (CFA), probióticos y antioxidantes, pueden ser utilizados en la elaboración de alimentos funcionales. Su aplicación en diversos productos es limitada debido a que son sensibles a las condiciones del tracto gastrointestinal y factores que intervienen durante la transformación de alimentos. Existen mecanismos de protección y tecnologías de procesamiento, que posibilitan su incorporación en materiales biológicos porosos que son utilizados como vehículo potencial para su consumo. Dado lo anterior, se realizó el presente trabajo cuyo objetivo fue encapsular *Lactobacillus rhamnosus* y compuestos fenólicos de miel de abeja sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana*) en una emulsión doble e incorporarlo en tejido de plátano mediante deshidratación osmótica. Las cinéticas de transferencia de masa del plátano osmodeshidratado en soluciones de sacarosa-emulsión, fueron afectadas por la concentración de sacarosa y aplicación de pulsos de vacío al inicio del proceso. Lo anterior modificó las características físicas y químicas del plátano como el contenido de sólidos solubles, actividad de agua y humedad, entre otros. Se encontró que la compleja estructura del material biológico, al ser sometida a un proceso osmótico, atraviesa por 3 etapas que están en función de la actividad de agua. Los coeficientes de agua y sacarosa indican que el proceso de difusión fue controlado por mecanismos de barrera y cambios estructurales. Sin embargo, la estabilidad de la emulsión permitió la transferencia de agua y sólidos durante el proceso osmótico, siendo útil para la incorporación de *L. rhamnosus* y compuestos fenólicos, en el tejido celular del plátano. Este hallazgo juega un papel importante en el desarrollo de una nueva generación de alimentos a partir de la microencapsulación intercelular de CFA que modifiquen sus propiedades funcionales, estructurales y nutricionales.

Palabras clave: Deshidratación osmótica, probióticos, compuestos fenólicos, alimentos funcionales.

IMPREGNATION OF PROBIOTICS AND PHENOLIC COMPOUNDS STINGLESS BEE HONEY IN SLICES OF BANANA (*Musa cavendishii*) USING A DOUBLE EMULSION

Karina Huerta Vera, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

The physiologically active components (CFA), probiotics and antioxidants can be used in the production of functional foods. Application in various products is limited because they are sensitive to the conditions of the gastrointestinal tract and factors involved during food processing. There are protection mechanisms and processing technologies with the capacity to incorporate in porous biological materials that are used as a potential vehicle for consumption. As the above, the present work was conducted with the aim to encapsulate *Lactobacillus rhamnosus* and phenolic compounds from stingless bee honey (*Mexican Scaptotrigona*) in a double emulsion, and incorporate into banana tissue by osmotic dehydration. The kinetics of mass transfer during osmotic dehydration of banana slices in aqueous mixture of sucrose-emulsion were affected by the concentration of sucrose and the vacuum pulse application at the beginning of the process. This modifies the physical and chemical characteristics of banana as the content of soluble solids, water activity and humidity, among others. We found that the complex structure of the biological material, when subjected to an osmotic process, goes through three stages as a function of water activity. The diffusion coefficients for water and sucrose indicate that the diffusion process was controlled by barrier mechanisms and structural changes. However, the stability of the emulsion allowed the transfer of water and solids during the osmotic process, being useful for the incorporation of *L. rhamnosus* and phenolic compounds into banana tissue. This finding plays an important role in the development of a new generation of food from intercellular microencapsulation of CFA, which change the functional, structural and nutritional properties of food.

Keywords: Osmotic dehydration, probiotics, phenolic compounds, functional foods.



Karime

Ella es un sistema termodinámicamente inestable que generalmente sorprende con reacciones efervescentes, sin embargo, su mirada tierna hace que estas pasen desapercibidas. Entre ella y yo existe un enlace de amor puro, es un elemento tan único y hermoso como el oro. Posee diversas propiedades funcionales, como evaporar la tristeza y llenar el corazón de amor.

Al iniciar el día, evalúo sus niveles de felicidad, en caso de que exista presencia de lágrimas utilizo diversos métodos para deshidratarlas, generalmente abrazos y besos, de ser necesario empleo equipos muy sofisticados como la sonrisa, logrando así niveles de secado extraordinarios. Durante la tarde, analizo nuestra experiencia juntas, con la finalidad de adaptar modelos matemáticos que nos permitan demostrar cariño, amabilidad y respeto. Por las noches, no puede faltar leche, brazos agitadores y un vórtex (Carriola de bebé, Mod. 2013) con movimientos uniformes para conciliar el sueño.

Hay días en los que la metodología establecida no funciona como debería, así que improvisamos con procedimientos prácticos para incrementar la paciencia.

Mi princesa, soy débil ante tu sonrisa, de mi corazón te has vuelto dueña, quiero darte tanto amor, enseñarte cada día tu valor y proteger tu corazón.

Te amo bebé piloncillo



AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional y Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar el presente trabajo.

Se agradece al Fideicomiso Institucional, a la Línea Prioritaria de Investigación (LPI-12: Agregación de Valor) del Colegio de Postgraduados y a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana por el apoyo brindado a la realización de este trabajo.

Quiero agradecer a mi madre por darme esperanza, apoyar mis sueños, acompañarme en mi camino y brindarme su mano firme y amigable para alcanzar mis metas, Dios te bendiga y me conceda la dicha de tenerte a mi lado durante mucho tiempo.

Mi gratitud y admiración a mi amigo el Dr. Enrique Flores Andrade por llevar este trabajo adelante, reunirnos todos los días en el laboratorio haciendo todo tipo de planes. Me enseñaste a soñar, sin soñar tu sueño, me impulsaste a ser mejor cada día y me compartiste tu conocimiento. Agradezco tu dedicación y compromiso. Me llevo la experiencia que construimos juntos, seguiré mi camino, pero un día te buscare en el mismo laboratorio, sabes que es un hasta siempre.

Con cariño, tu pequeño Frankenstein

Un agradecimiento sincero a la Dra. Adriana Contreras Oliva por su apoyo, comprensión y consejos.

Agradezco al Dr. Victorino Morales Ramos y al Dr. José Antonio Pérez Sato por sus valiosas aportaciones que enriquecieron este trabajo de investigación:

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Cultivos de importancia en el estado de Veracruz	3
2.1.1. El plátano	3
2.2. Alimentos funcionales	4
2.2.1. Probióticos	7
2.2.1.1. Efectos benéficos de los probióticos	8
2.2.2. Mecanismos de acción de los microorganismos probióticos.....	13
2.2.3. Genero <i>Lactobacillus</i>	14
2.2.3.1. <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	14
2.2.4. Desarrollo de alimentos enriquecidos con probióticos	15
2.2.5. Antioxidantes.....	16
2.2.5.1. Compuestos fenólicos	17
2.2.5.2. Aceite de uva	18
2.3. Emulsiones	19
2.3.1. Mecanismos de inestabilidad de emulsiones	21
2.3.2. Agentes tensoactivos	22
2.3.3. Emulsiones como una opción de protección para compuestos fisiológicamente activos	23
2.4. Deshidratación osmótica.....	24
2.4.1. Factores que afectan la deshidratación osmótica	26
2.4.1.1. Estructura del tejido	26
2.4.1.2. Geometría del producto a deshidratar.....	26
2.4.1.3. Composición de la solución osmótica	27

2.4.1.4. Concentración de la solución osmótica	27
2.4.1.5. Temperatura.....	28
2.4.1.6. Tiempo	28
2.4.1.7. Deshidratación osmótica con pulso de vacío	28
2.4.2. Desarrollo de alimentos funcionales mediante deshidratación osmótica .	30
3. JUSTIFICACIÓN	32
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	33
4.1. Hipótesis	33
4.2. Objetivo general	33
4.3. Objetivos específicos	33
5. MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1. Materias primas.....	34
5.2. Metodología	34
5.2.1. Activación del <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	34
5.2.2. Cuenta de células viables	34
5.2.3. Preparación de la emulsión doble y solución osmótica.....	35
5.2.4. Análisis microscópico del tamaño de la gota en la emulsión doble $W_1/O/W_2$	35
5.2.5. Análisis de la microestructura de plátano.....	35
5.2.6. Deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío	36
5.2.6.1. Medición del cambio de volumen	36
5.2.6.2. Determinación de humedad	36
5.2.6.3. Determinación de sólidos solubles	37
5.2.6.4. Determinación de la actividad de agua	37
5.2.6.5. Determinación de actividad antioxidante en plátano	37

5.2.6.6. Determinación de compuestos fenólicos en plátano	38
5.2.6.7. Análisis estadístico.....	38
5.3. Metodología de cálculo	38
5.3.1. Cinéticas de deshidratación osmótica.....	38
5.3.2. Coeficiente de difusión.....	39
5.3.3. Velocidad de secado.....	40
5.4. Diagrama de trabajo.....	40
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
6.1. Cinéticas de deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución osmótica de sacarosa-emulsión, con y sin pulso de vacío.....	42
6.2. Cambios en el contenido de sólidos solubles, actividad de agua y contenido de humedad durante la deshidratación osmótica de placas de plátano.....	48
6.3. Coeficientes de difusión de las moléculas de agua y sacarosa en placas de plátano	61
6.4. Efecto de la deshidratación sobre la actividad antioxidante en plátano con solución de sacarosa-emulsión.	66
6.5. Caracterización de la emulsión y solución de impregnación.....	70
6.6. Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i> en la solución osmótica de sacarosa-emulsión	72
6.7. Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i> en placas de plátano osmodeshidratadas.....	73
6.8. Presencia de la emulsión en el plátano osmodeshidratado	81
7. CONCLUSIONES	85
8. REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	103
ANEXO A: Tablas de análisis de varianza.	104

ANEXO B: Cinéticas de variación de masa total de placas de plátano osmodeshidratado a diferentes condiciones de tratamiento.	110
ANEXO B: Relación de la pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de placas de plátano a diferentes condiciones de tratamiento.	113
ANEXO C: Efecto de la concentración de sacarosa en la solución de impregnación sobre las etapas de osmodeshidratación en placas con diferentes concentraciones de soluto en la solución de impregnación.	115

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Alimentos funcionales, sus componentes y sus beneficios.	5
Cuadro 2. Clasificación de alimentos funcionales.	6
Cuadro 3. Funciones y componentes funcionales de los alimentos.	7
Cuadro 4. Alimentos funcionales con probióticos presentes en el mercado actual. ..	8
Cuadro 5. Ventajas de la deshidratación osmótica.	25
Cuadro 6. Constantes cinéticas del modelo osmótico (Ecuación 3 y 4). Para la fracción del agua pérdida (WFL) y fracción de sólidos ganados (SG) en las placas de plátano.	42
Cuadro 7. Relación WFL/SG para la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa.	47
Cuadro 8. Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i> en las placas de plátano osmodeshidratadas a diferentes condiciones de tratamiento.....	75
Cuadro 9. Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i> en las placas de plátano liofilizado, previamente osmodeshidratado a diferentes concentraciones y pulso de vacío.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Emulsiones simples de tipo O/W aceite en agua (a) y W/O agua en aceite (b) (Modificado de Chung y McClements, 2014).	20
Figura 2. Emulsiones dobles de tipo $W_1/O/W_2$ agua en aceite en agua (a) y $O_1/W/O_2$ aceite en agua en aceite (b) (Modificado de Chung y McClements, 2014).	20
Figura 3. Mecanismos de inestabilidad en emulsiones.	22
Figura 4. Transferencia de masa entre el tejido natural y la solución osmótica durante el procesamiento osmótico (Tomado de Lazarides, 2001).....	24
Figura 5. Desarrollo del DRP y HDM en los poros de un sistema alimento-solución osmótica (Adaptado de Fito <i>et al.</i> , 2001).....	29
Figura 6. Diagrama de trabajo.	41
Figura 7. Micrografías SEM de la estructura de plátano (interfase) sin tratamiento de osmótico (a) y con tratamiento osmótico a presión atmosférica con solución de sacarosa al 50% por 35 min a 35 °C (b).....	48
Figura 8. Micrografía de la emulsión $W_1/O/W_2$ inmediatamente después de su elaboración, observadas con microscopio óptico y magnificación de 100x.....	70
Figura 9. Micrografía SEM mostrando la presencia de emulsión $W_1/O/W_2$ en la interfase de plátano osmodeshidratado con solución de impregnación sacarosa-emulsión.....	76
Figura 10. Micrografía de barrido de la interfase de plátano liofilizado previamente osmodeshidratado con solución sacarosa-emulsión por 30 min a 35 °C.	78
Figura 11. Esquema del proceso de impregnación-deshidratación. A: preparación de la emulsión, B: deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV) o sin pulso de vacío (DO), C: liofilización, D: producto final impregnado con microcápsulas. (Tomado de Esteves, 2013).	78
Figura 12. Plátano liofilizado previamente osmodeshidratado a diferentes condiciones. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.	80
Figura 13. Micrografías SEM de un corte transversal de la estructura de plátano liofilizado sin tratamiento osmótico.....	81

Figura 14. Micrografías SEM de la interfase de plátano osmodeshidratado a diferentes condiciones de tratamiento. a.1-a.3: solución osmótica al 40 % de sacarosa, b.1-b.3: solución osmótica al 50 % de sacarosa, c.1-c.3: solución osmótica al 60 % de sacarosa, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 82

Figura 15. Micrografías SEM de la superficie de placas de plátano osmodeshidratadas a diferentes condiciones de tratamiento. a.1-a.3: solución osmótica al 40 % de sacarosa, b.1-b.3: solución osmótica al 50 % de sacarosa, c.1-c.3: solución osmótica al 60 % de sacarosa, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 83

LISTA DE GRAFICAS

- Grafica 1.** Variación de WFL y SG con la concentración (a) y pulso de vacío (b), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. Las líneas continuas corresponde al ajuste con el modelo de Azuara *et al.*, (1992 a, b)..... 45
- Grafica 2.** Velocidades de transferencia de masa durante la cinética de placas de plátano osmodeshidratadas a 35 °C. a) Velocidades de pérdida de agua, b) Velocidades de ganancia de sólidos. $WFL \text{ min}^{-1}$ = velocidad de agua perdida por el alimento al tiempo t, SG = velocidad de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio al tiempo t, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 47
- Grafica 3.** Variación de contenido de °Brix (°Brix) con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente..... 50
- Grafica 4.** Variación de la a_w con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 51
- Grafica 5.** Variación de la humedad con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o :

humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. ... 53

Grafica 6. Efecto de la concentración de sacarosa (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha) sobre las etapas de osmodeshidratación durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o : humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, V_t/V_o : volumen de la muestra tratada osmóticamente con respecto al volumen inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 55

Grafica 7. Efecto de la concentración de sacarosa (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha) sobre las etapas de osmodeshidratación en función de la a_w durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. V_t/V_o : volumen de la muestra tratada osmóticamente con respecto al volumen inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 58

Grafica 8. Variación de humedad (X_t/X_o) y actividad de agua (a_w) con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 60

Grafica 9. Variación de D_w en función de la humedad con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o : humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, D_w : Coeficiente de difusión de agua, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 62

Grafica 10. Variación de D_w con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. D_w : Coeficiente de difusión de agua, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 64

Grafica 11. Variación de D_s con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. D_s : Coeficiente de difusión de sólidos, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 65

Grafica 12. Variación de los compuestos fenólicos con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. mg/EAG: miligramos equivalentes de ácido gálico, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 68

Grafica 13. Variación de la actividad antioxidante con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. 69

Grafica 14. Distribución de diámetro de la emulsión $W_1/O/W_2$ dispersa en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa. 71

Grafica 15. Viabilidad de *L. rhamnosus* encapsulado en la emulsión $W_1/O/W_2$, disperso en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa a 35°C. 72

Grafica 16. Variación de la viabilidad de *L. rhamnosus* con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60%

de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20
proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos,
respectivamente..... 74

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Diferencia de sólidos solubles.....	37
Ecuación 2. Porcentaje de inhibición.....	37
Ecuación 3. Fracción de agua perdida por el alimento al tiempo t.....	38
Ecuación 4. Fracción de sólidos ganados por el alimento al tiempo t.....	39
Ecuación 5. Peso de agua pérdida por el alimento al tiempo t.....	39
Ecuación 6. Peso de sólidos ganados por el alimento al tiempo t.....	39
Ecuación 7. Coeficiente de difusión aparente.....	39
Ecuación 8. Velocidad de pérdida de agua por el alimento al tiempo t.....	40
Ecuación 9. Velocidad de ganancia de sólidos por el alimento al tiempo t.....	40

1. INTRODUCCIÓN

El constante deseo de las personas por mejorar su calidad de vida es el factor más importante que ha motivado la investigación y desarrollo en el área de los alimentos funcionales. Recientemente se ha demostrado científicamente el papel que juegan ciertos Compuestos Fisiológicamente Activos (CFA) en la prevención y tratamiento de enfermedades y como resultado de esto, la dieta diaria es vista como una opción para el desarrollo de nuevos productos diseñados para cubrir necesidades específicas de salud.

Los alimentos funcionales son aquéllos que contienen CFA que contribuyen al mejoramiento de las funciones fisiológicas, reducen los riesgos de enfermedad y, en general, mejoran el bienestar físico y mental de las personas que los consumen (Szakály *et al.*, 2012). Entre estos alimentos destacan los microorganismos benéficos, conocidos como “probióticos”, bacterias ácido lácticas vivas que, cuando se suministran al hombre en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped (Salminen *et al.*, 2010), mejorando la respuesta inmune y el balance de su microbiota intestinal, trayendo con esto múltiples beneficios. Por otra parte, encontramos los alimentos fortificados con antioxidantes, que son moléculas que han mostrado varios efectos biológicos, dentro de ellos destacan su capacidad de inhibir la proliferación de células cancerosas, proteger las neuronas contra el estrés oxidativo, así como estimular la vasodilatación y mejorar la secreción de insulina (Del Rio *et al.*, 2010).

Los efectos benéficos en la salud de los CFA han motivado el desarrollo de alimentos funcionales, fortificados con probióticos y antioxidantes, en combinación con tecnologías que permiten alterar de manera controlada las características microestructurales de la matriz del producto alimenticio, tal como la deshidratación osmótica (DO), operación de transferencia de masa de gran interés para la conservación de alimentos (Genina, 2002). Esta es realizada mediante la inmersión de la muestra en una solución hipertónica durante un tiempo y temperatura determinados. Durante el proceso, el agua se difunde espontáneamente hacia afuera del alimento mientras que el soluto osmótico migra hacia el interior de este (Ochoa y Ayala, 2005).

Debido a las evidentes aplicaciones de la deshidratación osmótica, en el presente estudio se plantea una alternativa para la elaboración de un alimento funcional, el cual consiste en la impregnación del tejido celular de plátano con un sistema multifuncional a base de una emulsión doble del tipo $W_1/O/W_2$, la cual contiene *Lactobacillus rhamunus* y compuestos fenólicos de la miel de abeja sin aguijón (*Scaptprigona mexicana*) con alta actividad antioxidante, utilizando deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío, lo que permitirá obtener un producto mínimamente procesado con potenciales efectos benéficos en la salud más allá de la nutrición básica, considerando que podría jugar un papel muy importante en el bienestar físico del ser humano.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivos de importancia en el estado de Veracruz

Veracruz posee una gran variedad de medio geográfico, lo cual permite la producción de diversos cultivos que ofrecen múltiples posibilidades para el desarrollo de la industria agroalimentaria. Su producción es heterogénea, dentro de ellos sobresalen arroz, papa, jitomate, chile verde, sandia, caña de azúcar, piña, naranja, papaya, café cereza, plátano, entre otros (SAGARPA, 2009).

2.1.1. El plátano

El plátano uno de los cultivos más importantes del mundo y considerado un producto básico., Veracruz es líder nacional en producción de plátano ocupando el tercer a nivel nacional con una superficie de 14 mil 417 hectáreas de cultivo que generan 775 millones de pesos. De acuerdo con datos de la SEDARPA (2013), más de 4 mil 575 productores y sus familias se dedican a esta actividad, que genera una gran cantidad de mano de obra en las regiones productoras por lo que es de gran importancia para el desarrollo social y económico de la entidad.

El fruto del plátano es un alimento energético que presenta un alto valor biológico, pues contiene vitamina A, B1, B2, B3, B6, pequeñas cantidades de D y E, un porcentaje de potasio, fósforo, calcio y hierro (Gaspareto *et al.*, 2004), también contiene fibra la cual favorece la flora bacteriana benéfica y estimula la digestión. Es rico en carbohidratos y en aminoácidos como la lisina, leucina y valina. Los efectos benéficos de comer plátano son múltiples, es recomendable en casos de artritis, gota o úlceras, y es también eficiente en el control del colesterol, ansiedad y sueño (Canto y Castillo, 2011).

A pesar de su importancia y beneficios la comercialización del fruto representa un reto para el productor y es donde corre riesgo de tener mayores pérdidas económicas. Esto debido a la corta vida útil que posee el fruto, es extremadamente perecedero y no soporta la congelación para su conservación (Fernández *et al.*, 2006).

Los frutos de plátanos constituyen un complejo químico y biológico resultante de la interacción de sus componentes naturales, lo que produce cambios en sus propiedades fisicoquímicas, y determinan la biodisponibilidad de sus componentes (Huerta *et al.*, 2014). Para la investigación agroalimentaria, esta situación representa la oportunidad de ofrecer alternativas a los productores que permitan alargar la vida útil, así como la creación de nuevos productos a base de plátano con valor agregado y de gran aceptación por parte de los consumidores.

2.2. Alimentos funcionales

La sociedad actual se caracteriza por un incremento de la conciencia en el cuidado de su salud asociado a los alimentos que consume. El interés en este tema se concentra en la relación entre la alimentación y las patologías crónicas no transmisibles, como diabetes, hipertensión, osteoporosis, cáncer, obesidad, entre otras. Dichas enfermedades han registrado un aumento considerable en los últimos años. Debido a ello la industria agroalimentaria ha llevado a cabo un imparable desarrollo de alimentos basados en la prevención de las diversas enfermedades crónicas, siguiendo las tendencias globales de los llamados alimentos funcionales.

El término alimentos funcionales surgió en Japón en la década de los años 80, tras la preocupación de su gobierno debido al aumento de las enfermedades crónicas no transmisibles, situación que originaba un alto costo para los sistemas de salud, motivo por el cual decidió promover el desarrollo de un sistema de alimentación o bien alimentos que provean un beneficio real a la salud de los consumidores, más allá del efecto nutricional de estos (Durán y Valenzuela, 2010).

Actualmente existen diversas definiciones del término alimento funcional. El Consejo de Nutrición y Alimentación de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, los define como alimentos modificados o que contengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene (Araya y Lutz, 2003). Por otra parte Schnettler *et al.*, (2010) los reconocen como aquellos alimentos que pueden demostrar satisfactoriamente que ejercen un efecto benéfico en

una o más funciones del cuerpo humano, más allá de los efectos nutricionales básicos, mejorando la salud y el bienestar del individuo, además de disminuir el riesgo de contraer enfermedades. Así como estas, existen un gran número de definiciones, no obstante, todas coinciden en que el objetivo de los alimentos funcionales es optimizar las funciones fisiológicas del ser humano para mejorar su calidad de vida y reducir al mínimo el riesgo de enfermedades.

Los alimentos funcionales pueden ser naturales como los que se muestran en el Cuadro 1, o alimentos diseñados para conferir beneficios para la salud mediante la adición, eliminación o modificación de uno de sus componentes, de manera que se ha transformado la biodisponibilidad de estos o una combinación de cualquiera de estas posibilidades (Ferrer y Dalmau, 2001).

Cuadro 1. Alimentos funcionales, sus componentes y sus beneficios.

Alimentos funcionales	Componente	Beneficios
Avena	Fibra soluble beta- glucano	Reduce el colesterol. Mejoran las funciones
Vegetales y frutas	Vitaminas, fitoquímicos, fibra	cardiovasculares, reduce riesgo de cáncer y enfermedades cardiacas.
Zanahoria	Beta caroteno	Reduce el riesgo de cáncer.
Té verde o negro	Catequinas	Reduce riesgo de cáncer gástrico, esofágico y de piel.
Brócoli	Sulforano	Reduce riesgo de cáncer.
Tomate	Licopeno	Reduce riesgo de cáncer.
Lácteos fermentados	Probióticos	Reduce colesterol, riesgo de cáncer, control de enteropatógenos.

Fuente: Modificado de Silveira *et al.*, 2003.

La producción de alimentos funcionales diseñados se puede llevar a cabo mediante distintos métodos de adición que permiten la incorporación de CFA, como los que se describen a continuación en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de alimentos funcionales.

Tipo de alimento funcional	Definición	Ejemplo
Productos fortificados	Alimento fortificado con nutrientes adicionales.	Juegos de frutas fortificados con vitamina C.
Productos enriquecidos	Alimento con nuevos nutrientes o componentes añadidos que no se encuentran normalmente en él.	Margarina con éster de esteroles vegetal, probióticos, prebióticos.
Productos alterados	Alimento del cual un componente nocivo ha sido eliminado, reducido o sustituido con otra sustancia con efectos benéficos.	Fibras como liberadores de grasa en la carne o productos de helado.
Productos mejorados	Alimento en el que uno de los componentes ha sido mejorado de forma natural a través de condiciones especiales de cultivo, nueva composición de la alimentación, manipulación genética o alguna otra manera.	Huevos con mayor contenido de omega-3 logrado mediante alimento para pollos modificado.

Fuente: Siró *et al.*, 2008.

El Cuadro 3 muestra algunos CFA que se ha demostrado tienen un efecto beneficioso sobre determinadas funciones del organismo y que han sido utilizados en diversos estudios para la generación de nuevos productos bajo el concepto de alimentos funcionales.

Cuadro 3. Funciones y componentes funcionales de los alimentos.

Funciones	Componente funcional
Crecimiento y desarrollo	Calcio, Vitamina D, Vitamina C.
Metabolismo	Fibra, Omega 3 y 6, Aminoácidos.
Estrés oxidativo	Vitamina E, Vitamina C, Polifenoles, Carotenos.
Sistema cardiovascular	Sustitutos de la grasa, Ácido fólico.
Fisiología intestinal	Prebióticos, Probióticos, Simbióticos.
Funciones psicológicas y de conducta	Proteínas, Tirosina, Triptófano, Cafeína.

Fuente: Modificado de Ferrer y Dalmau, 2001.

2.2.1. Probióticos

Los alimentos probióticos son aquellos que contienen microorganismos vivos adicionados y que permanecen activos en el intestino ejerciendo importantes efectos fisiológicos. Los probióticos son definidos como microorganismos vivos, que le confieren un beneficio de salud al huésped cuando se administra en cantidades adecuadas (FAO/OMS, 2002). Son bacterias benéficas típicamente pertenecientes a los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, habitantes naturales de la flora intestinal y son capaces de sobrevivir en el intestino (Vesterlund *et al.*, 2012). A los probióticos se les han atribuido múltiples beneficios, Seale y Miller (2013) sugieren que la influencia

de los probióticos puede incluso expandirse a la modulación de los estados emocionales y el funcionamiento neurológico.

Generalmente los probióticos han sido incorporados en productos lácteos, pero debido a las recientes demandas de los consumidores, hoy en día se han agregado a variadas matrices de alimentos no tradicionales: bebidas, cereales, entre otros. En el Cuadro 4 se muestran algunos alimentos funcionales que contienen probióticos y se encuentran actualmente en el mercado.

Cuadro 4. Alimentos funcionales con probióticos presentes en el mercado actual.

Alimentos con probióticos presentes en el mercado			
Nombre del producto	Tipo de alimento	Probiótico incorporado	Empresa
Activia	Yogurt y bebida láctea	<i>B. animalis spp. lactis</i> Bb12	Danone
Chammyto	Bebida láctea	<i>L. johnsinii</i> La1	Nestlé
Nan Pro 1/Nan HA	Fórmula láctea	<i>B. animalis spp. lactis</i> Bb12	Nestlé
Nestum	Cereal infantil	<i>B. animalis spp. lactis</i> Bb12	Nestlé
Nido 1+, 3+ y 5+	Leche en polvo	<i>L. paracasei</i> ST11	Nestlé
Bioplus	Yogurt	<i>B. animalis spp. lactis</i> Bb12	Quillajes
Yakult	Bebida láctea	<i>L. casei Shirota</i>	Yakult

2.2.1.1. Efectos benéficos de los probióticos

Los probióticos tras ser ingeridos en cantidades suficientes, regeneran el equilibrio microbiano intestinal e inducen efectos benéficos en la salud de quienes los ingieren. Los atributos saludables del consumo de probióticos han aumentado considerablemente, lo cual ha favorecido significativamente su uso. La presente revisión recoge de forma sintetizada la evidencia científica sobre algunos de los efectos biológicos más estudiados en relación a los probióticos, los cuales cobran cada vez

sumo interés, debido a la implementación que pueden tener en la salud de niños y adultos.

- **Actividad inmunomoduladora**

Se ha pormenorizado que los probióticos poseen la capacidad de modular la respuesta inmune tanto específica como inespecífica, gracias a su capacidad de activar linfocitos y macrófagos, produciendo un aumento de los niveles de citoquinas.

Tuo *et al.* (2013) afirman que los *Lactobacillus* podrían inducir a las células inmunocompetentes para producir citoquinas importantes implicadas en los mecanismos de defensa innatos en respuesta a las bacterias. Debido a las propiedades inmunomoduladoras de los probióticos, recientemente se determina su uso terapéutico en trastornos inflamatorios, además de sus efectos positivos en situaciones que pueden alterar el balance de la microbiota intestinal y mediar la respuesta inmune del individuo.

- **Efectos sobre diarreas agudas**

A pesar de los avances en la nutrición e higiene, las enfermedades diarreicas continúan siendo una causa importante de mortalidad a nivel mundial. Binns y Lee, (2010) afirman que se han encontrado efectos benéficos del uso de probióticos en la prevención de la diarrea inducida por antibióticos, enterocolitis necrotizante, la diarrea del viajero y diarrea en los bebés. Algunos mecanismos que al parecer explican la acción de los probióticos en los episodios diarreicos, son la producción de sustancias antimicrobianas (bacteriocinas, peróxido de hidrógeno y biosurfactantes) y la disminución del pH intestinal por el estímulo de organismos productores de ácido láctico, los cuales favorecen el incremento de organismos más benéficos (Manzano *et al.*, 2012). Por otra parte Gill (2003), alude que su ingesta ha sido sugerida para fortalecer las defensas del tracto gastrointestinal humano mediante la producción de sustancias antimicrobianas, las cuales compiten con los patógenos por los receptores de adhesión, estimulando la producción de mucina, la estabilización de la barrera de la mucosa intestinal y la mejora de la motilidad intestinal.

- **Reducción de alergias**

Una aparente disminución de la exposición a microbios durante la infancia es la causa más plausible para el desarrollo de enfermedades alérgicas, la cual se ha consolidado por una creciente comprensión de los efectos de factores microbianos en el desarrollo inmunológico. Las alergias están asociadas con un desequilibrio en los linfocitos T colaboradores, lo que trae como consecuencia la activación de citoquinas. Baquerizo *et al.* (2014) indican que los probióticos pueden ejercer efectos benéficos sobre las patologías alérgicas mediante la inhibición de la producción de linfocitos T colaboradores, reguladores cruciales de la respuesta inmunológica y responsables de la estimulación de citoquinas. Asimismo Singh *et al.* (2011) reconocen que los probióticos pueden mejorar la función de barrera mucosa.

Autores como Wadher *et al.* (2010) sugieren que el uso de probióticos tales como *Lactobacillus GG* puede ser útil en el alivio de algunos síntomas de las alergias alimentarias, particularmente aquellos vinculados con las proteínas de leche.

- **Reducción de la intolerancia a la lactosa**

Aproximadamente el 75% de los adultos presenta una baja actividad de lactasa (Brown *et al.*, 2012), lo cual resulta en una mala digestión de la lactosa y síntomas de malestar gastrointestinal. La lactosa es un disacárido presente exclusivamente en la leche, la absorción de esta se realiza en el intestino delgado mediante hidrólisis por lactasa, la insuficiencia de esta enzima, permite el paso de lactosa directamente al colon, produciendo síntomas como dolor abdominal, diarrea, náuseas, y flatulencia, todos ellos característicos de lo que se conoce como intolerancia a la lactosa. Los síntomas pueden variar en cada individuo dependiendo de la cantidad de lactosa ingerida, el grado de intolerancia y el tipo de alimento consumido. Manzano *et al.* (2012) plantean que el uso de probióticos en personas con intolerancia a la lactosa reduce los síntomas de inflamación e hinchazón, posiblemente como consecuencia de la presencia de la lactasa microbial presente en las bacterias ácido lácticas, mejorando así la digestión de la lactosa.

- **Reducción de caries dentales**

Las infecciones orales componen las formas más comunes de la penetración y desarrollo de gérmenes patógenos en humanos. Los estudios potenciales de los probióticos orales se han enfocado en la prevención de la caries, especialmente en la posibilidad de reducir el número *Streptococcus mutans*, también se han investigado otras posibles aplicaciones, como la reducción del número de *Cándida* oral o de la microflora asociada con la halitosis (Muñoz y Alarcón, 2010). Sin embargo, aún es necesario esclarecer la dosis, la seguridad de los probióticos a largo plazo en la cavidad oral, el modo más eficaz de subministrarlos y su tiempo de vida útil en la cavidad oral (Jindal *et al.*, 2012).

- **Propiedades anticancerígenas**

El cáncer es una de las principales causas de mortalidad en el mundo, es un proceso de crecimiento y diseminación incontrolados de células., Parra (2012), reconoce que es precisamente en este punto donde actúan los probióticos, disminuyendo la absorción y producción de sustancias mutagénicas y carcinógenas.

Diversos estudios *in vivo* y moleculares del uso de probióticos han demostrado resultados alentadores, principalmente atribuidos a sus efectos antimicrobianos contra microorganismos productores de carcinógenos, propiedades antimutagénicas y alteración de los procesos de diferenciación celular en tumores (Liong, 2008).

- **Hipertensión**

La hipertensión arterial representa el principal factor de riesgo en la enfermedad coronaria, los accidentes cerebrovasculares y es el segundo factor de importancia en la enfermedad renal terminal en el mundo industrializado (Armas *et al.*, 2006). Las enfermedades cardiovasculares son las responsables de la gran mayoría de las muertes a nivel mundial, las cuales son inminentemente previsibles, por lo que se podrían prevenir mediante estrategias poblacionales, dirigidas a la modificación del estilo de vida, considerando como principal factor una dieta saludable. Se ha reportado que el consumo de leches fermentadas ayuda a disminuir moderadamente la presión

sanguínea en personas hipertensas, debido a la presencia de péptidos inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina I, los cuales son producidos durante la fermentación de productos lácteos probióticos (Ramírez *et al.*, 2011).

- **Reducción del colesterol**

La alta incidencia de colesterol es el principal factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y la principal causa de muerte en muchos países. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha pronosticado que las enfermedades cardiovasculares seguirán siendo la principal causa de muerte en 2030, y afectara a casi 23 millones de personas (Miremadi *et al.*, 2014). Numerosos estudios han informado que los probióticos desarrollan habilidades que pueden disminuir los altos niveles de colesterol, estas son principalmente las descritas por Li (2012): 1) Asimilación. Cuando se cultiva en sales biliares las bacterias ingieren colesterol a partir del cultivo; 2) Coprecipitación. En condiciones acidas la deconjugación de sales biliares sedimenta con el colesterol; 3) Adsorción e incorporación. El colesterol es adsorbido por incorporarse a la creciente superficie de las células; y 4) Reducción de la absorción de colesterol por el anfitrión. Por otra parte, Huang *et al.* (2013) realizaron estudios en ratas, demostrando que *L. plantarum* LP09 muestra una fuerte resistencia a las sales biliares, tolerancia a los bajos niveles de pH y propiedades únicas hipocolesterolémicas *in vitro*, el consumo de esta cepa podría ser útil para reducir los niveles de colesterol sérico.

- **Trastornos mentales**

Los alimentos funcionales tienen potenciales beneficios terapéuticos sobre la salud mental. Recientemente la Comisión Europea ha reconocido que la ingesta regular de alimentos funcionales puede influir de manera significativa en el rendimiento mental y los cambios de comportamiento. Muestra de ello fue un estudio piloto realizado a 39 pacientes que sufren síndrome de fatiga crónica, fueron asignados aleatoriamente para recibir suplementos diarios de *L. casei* Shirota (24 millones de UFC) o placebo durante 2 meses, mostrando una reducción significativa de los síntomas de ansiedad en comparación con el grupo placebo (Pande *et al.*, 2012).

2.2.2. Mecanismos de acción de los microorganismos probióticos

Se han postulado varios mecanismos de acción en la efectividad de los probióticos, los cuales ejercen una acción protectora contra la adherencia, colonización, producción y la acción patogénica de agente enteropatógenos. No obstante, entre los mecanismos más significativos que se han propuesto destacan los siguientes:

- **Cambio de ecología intestinal.** Las bacterias probióticas pueden antagonizar comensales o bacterias patogénicas mediante la producción de sustancias inhibidoras, el bloqueo de sitios de adhesión que muestran efectos anti invasivos y antitoxina, y que compiten por recursos limitados. Uno de los mecanismos por los que la flora resiste la colonización por bacterias patógenas es la producción de un entorno fisiológicamente restrictivo con respecto al pH, potencial redox y producción de sulfuro de hidrogeno. Los estudios *in vitro* han documentado que la inhibición de la replicación bacteriana esta mediada por sustancias de bajo peso molecular, siendo el peróxido de hidrógeno y ácido láctico más común (Kotzampassi y Giamarellos, 2012).
- **Promoción de la integridad de la barrera intestinal.** Los probióticos mejoran la barrera de la mucosa intestinal por funciones indirectas, tales como la reducción de la expresión de genes de mucina y la posterior producción celular, la producción de inmunoglobulina A (IgA) y la producción de ácidos grasos de cadena corta, estos últimos estimulan la proliferación de células del epitelio intestinal, la producción de mucina intestinal, la excreción de enzimas pancreáticas y la motilidad intestinal (Isolauri *et al.*, 2004; Kotzampassi y Giamarellos, 2012).
- **Modulación de la respuesta inmune.** Evidencias recientes sugieren que la estimulación de la inmunidad innata y adquirida protegen contra la enfermedad intestinal. Estos microorganismos pueden alertar al sistema inmune y favorecer el rechazo de agentes infecciosos estimulando la producción de inmunoglobulina A (IgA), activando macrófagos e incrementando interferón gamma (IFN- γ) y citoquinas proinflamatorias (Castro y Rovetto, 2006).

2.2.3. Genero *Lactobacillus*

El género *Lactobacillus* es bien caracterizado en el grupo de bacterias ácido lácticas (BAL). Se compone por 100 especies reconocidas, y pertenecen a este todos aquellos microorganismos capaces de producir ácido láctico por fermentación (Lee *et al.*, 2011). Este género fue descrito por primera vez por Beijerinck en 1901, y organizado posteriormente en grupos, basados en las características fenotípicas: primero por sus temperaturas óptimas de crecimiento y vías de fermentación de hexosa, y más tarde por bacterias obligadas y facultativas, además de homofermentativas y heterofermentativas (Bernardeau *et al.*, 2008). Los lactobacilos juegan un papel importante en la producción de alimentos fermentados, como verduras, carnes y particularmente productos lácteos. Dado sus atributos potenciales terapéuticos, los *Lactobacillus* se han propuesto como probióticos, siendo el género más estudiado y que se ha notificado intensamente sus beneficios para el tratamiento y prevención de trastornos gastrointestinales; sin embargo, numerosos estudios sugieren que el uso de estos tiene un gran potencial que se extiende más allá del bienestar del intestino.

2.2.3.1. *Lactobacillus rhamnosus*

Lactobacilos rhamnosus es una especie que habita diversos nichos ecológicos como plantas, alimentos, así como la flora gastrointestinal y urogenital de los seres humanos. Las cepas de *L. rhamnosus* presentan en el cuerpo humano la capacidad de inhibir la propagación de bacterias patógenas, contribuir al proceso digestivo, y participar en la formación inmune innata y adquirida. Las propiedades de las cepas de *L. rhamnosus* difieren significativamente de otras como *L. casei*, *L. paracasei* y *L. zaeae*, no solo en la presencia y ausencia de genes individuales y sistemas, sino también en los mecanismos de regulación de estos (Klimina *et al.*, 2013). *L. rhamnosus* tiene la mayoría de las características deseadas en general para una buena cepa probiótica, incluyendo su capacidad de sobrevivir al paso a través del tracto gastrointestinal humano, después de la digestión y la capacidad de colonizar transitoriamente el íleon y el colon (Koponen *et al.*, 2012).

Diversos estudios reportan los numerosos beneficios de las cepas de *L. rhamnosus*, tal es el caso de Kim *et al.* (2014) quienes recientemente han informado que la aplicación oral de *L. rhamnosus* (Lcr35) atenúa las características del asma alérgica y dermatitis atópica en modelos con ratones. Asimismo DebMandal *et al.* (2012) afirman que *L. rhamnosus* reduce la incidencia de diarrea relacionada con antibióticos en los niños tratados con antibióticos orales por infecciones comunes de la infancia. Por otra parte, Lee *et al.* (2013) demostraron que *L. rhamnosus* proporciona una mayor protección contra la infección por el virus de la influenza, mediante la mejora de la producción de inmunoglobulina A (IgA) secretora de la mucosa y la actividad de las células T y NK. Los numerosos beneficios atribuidos a cepas de *L. rhamnosus* le permiten ser ampliamente utilizadas como probióticos en formulaciones de alimentos, alimentos saludables y alimentos funcionales (Pitino *et al.*, 2010).

2.2.4. Desarrollo de alimentos enriquecidos con probióticos

Los principales alimentos enriquecidos con probióticos son productos lácteos como queso, yogurt y algunas bebidas lácteas. En los últimos años también se ha considerado la aplicación de probióticos en alimentos no lácteos, tales como jugos y cereales. No obstante, existe la necesidad de desarrollar nuevos productos alimenticios con propiedades funcionales, los cuales contengan bacterias probióticas en una cantidad que puedan ejercer beneficios para el consumidor.

Las aplicaciones actuales de los probióticos han propuesto enriquecer matrices vegetales (Alzamora *et al.*, 2005; Betoret *et al.*, 2011), una alternativa prometedora debido a sus efectos biológicos en la salud del ser humano, por ello es necesario estudiar la incorporación de estos microorganismos considerando el uso de recubrimientos de diversos materiales con capacidad para formar películas con propiedades de barrera. Estos atributos en combinación con tecnologías que permitan alterar de manera controlada las características estructurales de la matriz del alimento, posibilitan el desarrollo de productos con sistemas multifuncionales de CFA.

2.2.5. Antioxidantes

El oxígeno es fundamental para la vida ya que sin él sería imposible el desarrollo de los seres vivos. Desempeña una importante función como aceptor final de electrones durante la respiración celular y el oxígeno consumido por los organismos aerobios es reducido completamente a agua durante la respiración mitocondrial; sin embargo, una pequeña parte genera especies reactivas de oxígeno (ERO), capaces de causar daño celular (Delgado y Martínez, 2009). La generación de ERO, tales como hidroxilo, peroxilo o radicales superóxido, así como otras especies oxidantes son inevitables en el metabolismo anaeróbico del cuerpo humano. También se producen por factores exógenos como radiación de la luz, exposición a los rayos X, el humo del cigarrillo, la contaminación ambiental, entre otros (Marazza *et al.*, 2009). Cuando la producción de ERO excede en el cuerpo humano, se da lugar al estrés oxidativo dañando principalmente tejidos y ocasionando la muerte celular. Sindhi *et al.* (2013) informaron que están asociadas con muchas enfermedades degenerativas: cáncer, aterosclerosis, asma, artritis, disfunción cardiovascular, cataratas, diabetes, Alzheimer, Parkinson, entre otras. Para hacer frente a estos compuestos dañinos, el cuerpo humano desarrolla tres mecanismos antioxidantes, clasificados como: mecanismo preventivo, mecanismo reparador y mecanismo secuestrador (Nuñez, 2011), estos pueden ser insuficientes cuando se presenta una producción excesiva de ERO, ocasionando un desequilibrio en los sistemas antioxidantes endógenos. Estudios epidemiológicos sugieren que el consumo regular de alimentos ricos en antioxidantes, como frutas y verduras, puede ayudar a reducir la acción de ERO, equilibrando el estrés oxidativo y, como consecuencia disminuir procesos de envejecimiento y riesgo de contraer enfermedades crónicas no transmisibles.

Los antioxidantes son sustancias capaces de neutralizar, impedir o retrasar la acción oxidante de ERO mediante la liberación de electrones en nuestra sangre, los que son captados por los radicales libres (Avello y Suwalski, 2006). Otra función de los antioxidantes descrita por Zamora (2007), es facilitar el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno, formando complejos que mitigan las reacciones productoras de

radicales libres y como consiguiente desempeñando una función fundamental en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Esta idea favorece una creciente tendencia que lleva a modificar los hábitos alimenticios para mejorar la salud y el estado nutricional de los consumidores.

Existen numerosos alimentos a los que se les ha atribuido la presencia de compuestos antioxidantes, la mayoría de ellos frutos de color morado, rojo y azul. No obstante, autores como Muñoz y Copaja (2007), reconocen la presencia de una amplia gama de constituyentes de la miel que presentan propiedades antioxidantes, entre estos destacan los compuestos fenólicos, que además contribuyen a exaltar las propiedades sensoriales de amargor en la miel. Se sabe que en el continente americano existen abejas nativas conocidas como abejas sin aguijón (*Tribu meliponini*) que producen miel con un alto contenido de compuestos fenólicos de elevada capacidad antioxidante (Manrique y Santana, 2008). Actualmente se desarrollan diversos trabajos de investigación con el propósito de utilizar la miel de abejas sin aguijón en el desarrollo de alimentos funcionales, los cuales contribuyen al mejoramiento de las funciones fisiológicas, reducen los riesgos de enfermedad y, en general, mejorar el bienestar físico y mental de las personas.

2.2.5.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son considerados metabolitos secundarios sintetizados por las plantas durante el desarrollo normal y en respuesta a condiciones de estrés, dentro de las cuales destacan las infecciones, radiación UV y heridas. La función primaria de estos compuestos es proteger plantas contra ERO, producidos durante la fotosíntesis y el consumo de herbívoros. Los polifenoles constituyen un amplio grupo de fitoquímicos con más de 8000 compuestos identificados (Naczki y Shahidi, 2004; Denev *et al.*, 2014). Son los antioxidantes más abundantes alcanzando valores de 1 g por día en la dieta humana, aproximadamente 10 veces mayor que la vitamina C. Se encuentran ampliamente distribuidos en vegetales, frutas, cereales, legumbres, café, chocolate, té, vino, miel, por mencionar algunos (Faller y Fialho, 2010). Durante los últimos años la investigación se ha centrado en estudiar las propiedades antioxidantes de estos

alimentos así como su más prominente efecto. Dentro de ellos, destaca la miel, una sustancia dulce y viscosa producida por las abejas a partir de la transformación del néctar de las flores (Montenegro *et al.*, 2013), usada con propósitos alimenticios por su alto valor nutritivo; además de que posee propiedades antioxidantes y medicinales. Existen diversas especies de abejas sin aguijón, nativas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo, principalmente de América (Manrique y Santana, 2008). Se estima que existen 391 especies de abejas sin aguijón, también conocidas como abejas criollas o abejas nativas, estas, almacenan su miel en celdas elaboradas con una mezcla de cera y resinas, lo cual les confiere flexibilidad ante cambios de volumen ocasionados durante la fermentación. La miel de melipónidos se extrae en pequeñas cantidades, aproximadamente de 1 a 2 kg por colmena al año (Basilio *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008; Vit, 2008). Algunas características conocidas de la miel son su capacidad antioxidante determinada por los compuestos fenólicos presentes en esta y su actividad antimicrobiana; debido al valor biológico de la miel, actualmente se están desarrollando diversas investigaciones que podrían implicar su uso en el desarrollo de alimentos funcionales, brindándole valor agregado a tan inigualable producto.

2.2.5.2. Aceite de uva

Las semillas de uva contienen desde 8 a 20% de aceite (base seca), que se compone de un promedio del 90% de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, responsables de su valor nutritivo como aceite comestible, particularmente ácido linoleico (58-78%) seguido de ácido oleico (3-15%) y cantidades menores de ácidos grasos saturados (10%). Contiene compuestos fisiológicamente activos, incluyendo tocoferoles y componentes fenólicos. Además posee un alto punto de humo que va de 190 a 230°C, por lo que es adecuado para la cocción a alta temperatura (Bail *et al.*, 2008; Da Porto *et al.*, 2013; Rombaut *et al.*, 2014; Chung y McClements, 2014). Özçimen y Ersoy-Mericboyu (2008), reconocen que la semilla de uva tiene una gran importancia por ser una fuente de antioxidantes capaces de destruir los radicales libres en el cuerpo humano. Mientras que Fernandes *et al.* (2013) refieren beneficios asociados a su contenido de vitamina E y ácidos grasos esenciales, en particular el linoleico, ya que este último es considerado un protector de las enfermedades

cardiovasculares, mientras que la vitamina E posee propiedades neuroprotectoras y antitumorales, además de ser capaz de reducir los niveles de colesterol y contener antioxidantes. Debido a los efectos benéficos del aceite de semilla de uva se ha convertido en un producto con potencial para ser utilizado en el desarrollo de nuevos productos altamente nutritivos y valiosos, pero susceptibles a sufrir procesos autooxidativos que deterioran su calidad, estabilidad y valor nutricional. Landines y Zambrano (2009), reconocen que la autooxidación lipídica puede generar más de 60 productos finales, muchos de los cuales son citotóxicos. En este proceso un hidrogeno alílico es extraído de la cadena lipídica de un ácido graso por influencia de factores como alta temperatura, incidencia directa a la luz, presencia de iones metálicos oxidantes y humedad; debido a este último factor, la adición de aceites funcionales en alimentos ricos en agua se ve frenada. No obstante, recientemente se investiga el uso de emulsiones como sistemas de protección que permitan la inclusión de compuestos lipídicos en alimentos.

2.3. Emulsiones

Las emulsiones se definen como una dispersión de dos o más líquidos inmiscibles en el que uno de los líquidos se dispersa en la otra como pequeñas gotitas (0.1-100 μm). A pesar de ser dispersiones termodinámicamente inestables, se pueden estabilizar mediante la presencia de agentes surfactantes que presentan la capacidad de adsorción en las superficies de las gotas. En la industria alimentaria, las emulsiones más comunes son mezclas de aceite en agua (O/W). Una amplia variedad de ingredientes alimentarios y productos se consideran total o parcialmente en forma de emulsiones en algún momento durante su producción, como bebidas, mantequillas, queso, colorantes, crema, postres, sabores, helados, margarinas, salsas, sopas y yogures. Los componentes emulsificantes de estos alimentos desempeñan papeles importantes en la determinación de sus distintos atributos (aparición, textura, estabilidad y sabor) (Chung y McClements, 2014). Actualmente existen sistemas más avanzados como las emulsiones múltiples (W/O/W o O/W/O) o nanoemulsiones (Kundu *et al.*, 2013; Lam y Nickerson, 2013), que son particularmente ventajosas en la aplicación de nutracéuticos y desarrollo de alimentos funcionales.

Las emulsiones simples pueden ser de dos tipos: emulsiones agua en aceite (W/O) y emulsiones aceite en agua (O/W) (Figura 1). En el caso de las emulsiones simples, las gotitas de una fase líquida se dispersan en otra fase líquida inmiscible. Las emulsiones de agua en aceite consisten en gotitas de agua dispersas en una fase continua de aceite mientras que las emulsiones de aceite en agua tienen una disposición inversa, es decir, gotitas de aceite dispersas en una fase continua de agua (Pal R, 2011).

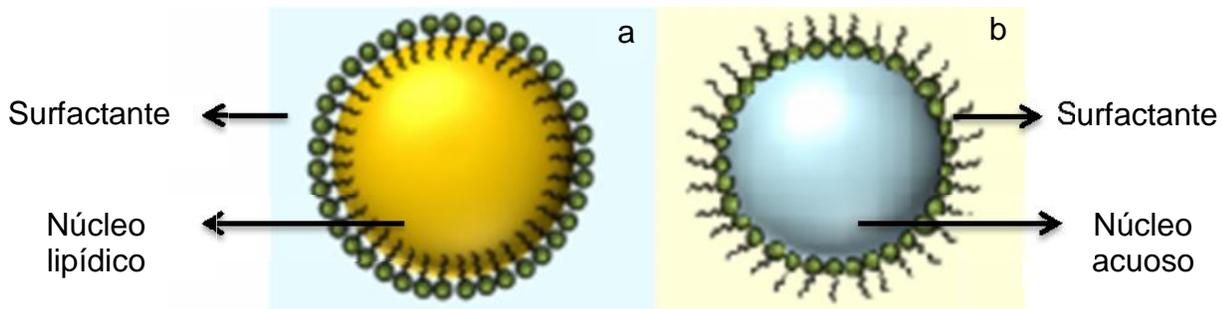


Figura 1 Emulsiones simples de tipo O/W aceite en agua (a) y W/O agua en aceite (b) (Modificado de Chung y McClements, 2014).

Las emulsiones múltiples son sistemas complejos de fluidos (Figura 2), caracterizados por la coexistencia de emulsiones aceite en agua (O/W) y emulsiones agua en aceite (W/O), también denominadas “emulsiones de emulsiones”, en las que los glóbulos de la fase dispersa contienen dentro de ellos gotas igualmente dispersas más pequeñas. Se sabe de la existencia de dos tipos de emulsiones múltiples, aceite en agua en aceite (O/W/O) y agua en aceite en agua (W/O/W), siendo esta última la más común. La multifase, estructura compartimentada de estas emulsiones, las hace útiles en sistemas que requieren capacidades de liberación o captación controlada (Jiménez, 2013; Lv *et al.*, 2014).

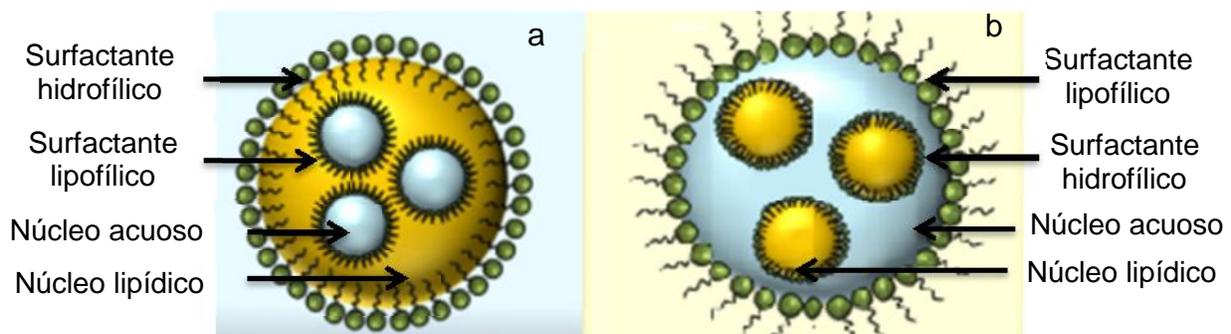


Figura 2. Emulsiones dobles de tipo $W_1/O/W_2$ agua en aceite en agua (a) y $O_1/W/O_2$ aceite en agua en aceite (b) (Modificado de Chung y McClements, 2014).

2.3.1. Mecanismos de inestabilidad de emulsiones

En general se distinguen cuatro mecanismos predominantes de inestabilización de las emulsiones, los cuales son descritos a continuación:

- **Creaming.** Es una separación de fases, consiste en el movimiento de gotitas hacia arriba o hacia abajo, según su densidad. Este fenómeno determina un producto que no es homogéneo y puede conducir a la falta de uniformidad en la dosis. Por lo general el creaming puede reducirse considerándose la teoría de creaming utilizando la ley de Stokes, esta ecuación relaciona el índice de creaming con el tamaño de las gotitas, la diferencia de densidades y la viscosidad de la fase externa. Así, el índice de creaming puede reducirse disminuyendo el tamaño de gotitas y aumentando la viscosidad de las fases externas (Aranberri *et al.*, 2006; Gennaro, 2003).
- **Floculación.** Es la aproximación de micelas formando agregados entre sí, que se mueven como un conjunto, aunque no se haya producido la ruptura de la película de la interfase propia de cada glóbulo. No implica variación en la distribución de tamaño de gotas (Bello J, 1998). La agregación en cierta medida es reversible y puede controlarse seleccionando un sistema surfactante diferente y controlando el potencial eléctrico de las gotitas (Gennaro, 2003).
- **Coalescencia.** Es la función de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible da lugar a un producto insatisfactorio que debe ser completamente reformulado (Aranberri *et al.*, 2006; Gennaro, 2003).
- **Engrosamiento de gotas (Ostwald ripening).** Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a

que la presión interna de las gotas (presión de Laplace) es mayor en las gotas más pequeñas (Aranberri *et al.*, 2006).

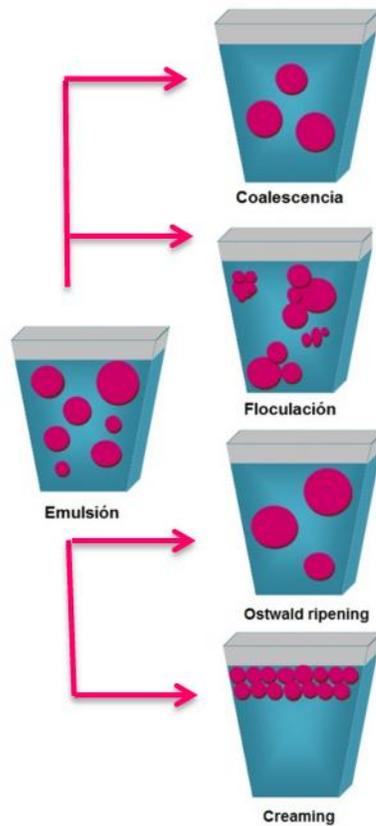


Figura 3. Mecanismos de inestabilidad en emulsiones.

La estabilidad de una emulsión puede lograrse mediante partículas sólidas, polímeros de alto peso molecular y compuestos anfílicos de peso molecular medio o bajo.

2.3.2. Agentes tensoactivos

Los agentes tensoactivos se utilizan comúnmente para estabilizar emulsiones cinéticamente. Son moléculas con una estructura que poseen la habilidad de adsorberse en la interface y asociarse en las soluciones acuosas. Se caracterizan por tener una parte polar y una apolar y son considerados como una molécula anfifílica que tiene una “cabeza” hidrófila de alta afinidad por el agua y una cola lipófila con una afinidad por el aceite (Aranberri *et al.*, 2006).

Ellos se clasifican en cuatro categorías, la primera clase se compone de tensoactivos no iónicos que pueden adsorberse en la superficie de gotas sin afectar la tensión superficial imponiendo una ligera barrera electrostática contribuyendo así a la estabilización de la emulsión. La segunda clase se compone de pequeños sólidos coloidales no tensoactivos que se adsorben y forman una barrera física entre las gotas, retrasando o previniendo coalescencia, a este tipo de emulsiones se les conoce como Pickering (Kpogbemabou *et al.*, 2014). La tercera clase está constituida por tensoactivos monoméricos clásicos como el dodecil sulfato de sodio, este disminuye la tensión interfacial y aumentan la estabilidad de la emulsión, pero puede ser altamente irritante y potencialmente tóxico. Finalmente, la cuarta clase comprende tensoactivos poliméricos, los cuales además de sus propiedades generales de disminuir la tensión interfacial, inducen interacciones estéricas o electrostáticas, así como cambios en la viscosidad o elasticidad de la interfase y en ocasiones cambios en la viscosidad de la masa del sistema, mejorando así la estabilidad de la emulsión (Bouyer *et al.*, 2012).

2.3.3. Emulsiones como una opción de protección para compuestos fisiológicamente activos

Las emulsiones son una excelente alternativa como vehículo de CFA, podrían permitir su incorporación en alimentos convencionales, ya que poseen depósitos internos separados por una fase continua inmiscible, esto posibilita potenciales aplicaciones, tales como el atrapamiento de compuestos hidrófilos o lipófilos con características benéficas, compartimentación de sustancias incompatibles y mejora del rendimiento de CFA (Delamplé *et al.*, 2014). La tecnología de alimentos ha previsto la incorporación de sustancias solubles en agua, como estrategia que permita producir alimentos funcionales, así como el enmascaramiento de sabores y más recientemente un estudio realizado por Shima *et al.* (2006) demostró la capacidad de las emulsiones dobles, específicamente agua en aceite en agua ($W_1/O/W_2$) de proteger probióticos contra los efectos del jugo gástrico y ácido biliar.

Recientemente se ha propuesto la deshidratación osmótica como tecnología que permite incorporar solutos deseados en la fracción porosa de la matriz sólida de

alimentos, utilizando emulsiones como vehículo de CFA dispersadas en la solución osmótica.

2.4. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica (DO) consiste en una remoción parcial de agua contenida en los tejidos celulares mediante la inmersión de matrices alimentarias en soluciones con altas concentraciones de azúcar o sal. Durante el proceso osmótico se presenta dos fenómenos de transporte simultáneos, la transferencia de agua del producto hacia la solución osmótica y la transferencia de soluto osmótico hacia el interior del alimento (Figura 4).

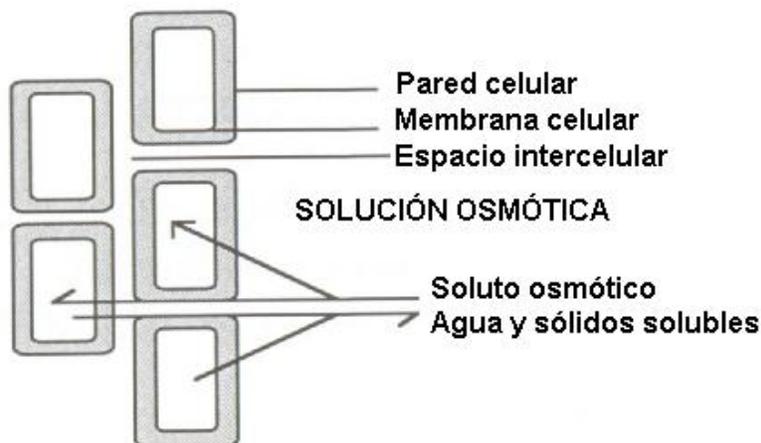


Figura 4. Transferencia de masa entre el tejido natural y la solución osmótica durante el procesamiento osmótico (Tomado de Lazarides, 2001).

La membrana responsable de la transferencia no es selectiva, por lo que ocurre una lixiviación de solutos propios de las células a la solución osmótica. Lazarides (2001), reconoce que a pesar de ser en cantidades insignificantes, puede afectar sustancialmente las características organolépticas y nutrimentales del alimento.

El proceso de DO tiene grandes ventajas las cuales se mencionan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Ventajas de la deshidratación osmótica.

- Lograr un producto de mejor color, textura y sabor que en el secado térmico.
- Inhibir la transferencia de oxígeno a la fruta por la presencia de azúcar sobre la superficie, reduciendo el pardeamiento enzimático.
- Aumentar la vida útil de los productos y evitar la pérdida de su naturaleza crujiente ya que se reduce la difusividad del agua en el proceso de sorción.
- Retardar la pérdida de volátiles durante el secado térmico.
- La DO requiere menor energía que otros tipos de secado, ya que la eliminación de agua se hace sin cambio de fase.
- Es posible introducir solutos y especies tales como agentes conservantes, nutrientes, saborizantes o mejoradores de textura como componentes activos a través de la disolución osmótica.
- Los productos secados por DO adquieren las propiedades mecánicas necesarias sin cambios sustanciales en la superficie, permitiendo un eficiente post-tratamiento.

Modificado: Ochoa y Ayala, (2005).

La DO permite la incorporación de solutos deseados en la estructura del alimento de manera simultánea a la remoción de agua del mismo. Esto genera productos que pueden ser almacenados durante más tiempo y a su vez resultan fortificados con diversos compuestos bioactivos (vitaminas, minerales, aceites, probióticos, entre otros) que le fueron añadidos. Por otra parte, disminuye los costos de almacenamiento, manipulación y distribución, además de suplir las necesidades de materia prima seca

como ingrediente para otros productos y el desarrollo de nuevos productos atractivos a los consumidores.

El proceso de deshidratación generalmente se realiza por medio de un secado térmico utilizando técnicas como secado con aire, al sol, microondas y fritura, pero con la consecuente modificación de las propiedades organolépticas del alimento y su degradación por descomposición térmica, oxidación o pardeamiento enzimático (Ochoa y Ayala, 2005; Brujin y Bórquez, 2014). La DO es una tecnología que conserva mejor la calidad de los alimentos en comparación con los tratamientos de secado convencionales. Sin embargo, numerosas variables pueden afectar la eficiencia del proceso osmótico y como consecuencia la calidad del producto.

2.4.1. Factores que afectan la deshidratación osmótica

2.4.1.1. Estructura del tejido

Los materiales alimenticios son sistemas multicomponentes y multifacéticos organizados en elementos microestructurales que responden de manera diferente a las condiciones impuestas por el proceso (Mayor *et al.*, 2008; Seguí *et al.*, 2012). El comportamiento de las membranas biológicas depende fundamentalmente de la microestructura del tejido celular y de la relación entre el diámetro de los poros y de las partículas contenidas en la solución osmótica. Chiralt y Talents (2006) afirman que también influye el cultivar, la variedad y el grado de madurez; tal como lo demuestran Lo Scalzo *et al.* (2001), quienes evaluaron 2 variedades de melón bajo las mismas condiciones, mostrando diferentes pérdidas de agua durante todo el proceso.

2.4.1.2. Geometría del producto a deshidratar

La geometría del producto inicial afecta la impregnación del soluto, se sabe que en muestras que presentan mayor superficie externa, existe una alta pérdida de agua y ganancia de solutos, ya que la superficie de la muestra presenta mayor contacto con el agente osmótico. Por el contrario, cuando la muestra posee una amplia longitud la deshidratación será lenta (Rastogi *et al.*, 2002). Esto se demostró en una investigación realizada por Sablani y Rahman (2003), quienes evaluaron el efecto de diferentes

geometrías en muestras de mango a las mismas condiciones, observando que el equilibrio de los coeficientes de distribución de agua y sólidos durante la deshidratación fueron influenciados por la geometría de la muestra.

2.4.1.3. Composición de la solución osmótica

Diversos estudios han reportado el uso de diferentes agentes osmóticos tales como sacarosa, glucosa, fructosa, sorbitol, cloruro de sodio, glicerol, entre otros (Singh *et al.*, 2010; Togrul, 2009; Pattanapa *et al.*, 2010).

El tipo de soluto osmótico y su tamaño molecular, desempeña un rol importante en el proceso de osmodeshidratación. Lazarides (2001) afirma que los solutos de alto peso molecular favorecen la pérdida de agua con un mínimo de ganancia de sólidos, mientras que los solutos de bajo peso molecular favorecen la entrada de sólidos debido a que sus moléculas poseen una alta capacidad de penetración. En algunos estudios se han utilizado sistemas ternarios (agua/sacarosa/cloruro de sodio) y los resultados han mostrado que las tasas más altas de pérdida de agua se logran cuando se añade cloruro de sodio, incluso con soluciones a bajas concentraciones de solutos (Rodríguez y Fernandes, 2007; Mercali *et al.*, 2011). Tal es el caso de Singh *et al.* (2010) quienes evaluaron diferentes combinaciones de sacarosa y cloruro de sodio, como agente osmótico, demostrando que existe una mayor pérdida de agua cuando se incrementa el porcentaje de cloruro de sodio.

2.4.1.4. Concentración de la solución osmótica

La fuerza impulsora en la osmodeshidratación está dada por la diferencia de presiones osmóticas entre la matriz alimenticia y la solución osmótica en la cual está inmerso. La presión osmótica es proporcional a la concentración de la solución osmótica, por lo que Phisut (2012) reconoce que a una mayor concentración en la solución osmótica traerá como consecuencia un aumento en la pérdida de agua y ganancia de sólidos. De igual forma, Vega *et al.* (2007) encontraron que la concentración de sacarosa en la solución osmótica, es aún más influyente que la temperatura cuando se osmodeshidrata papaya, la difusividad de sólidos solubles incrementa con un aumento de la

concentración de la solución osmótica debido a los cambios en las propiedades físicas de los alimentos, tales como, porosidad y permeabilización de las células. Sin embargo, Heng *et al.* (1990) explicaron que el uso de soluciones altamente concentradas puede reducir la ganancia de sólidos, probablemente a la formación de una capa de azúcar en el producto, actuando como una barrera.

2.4.1.5. *Temperatura*

La temperatura constituye un factor importante, el aumento de esta en el sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en la fluidez de la solución osmótica (Arreola y Rosas, 2007). Generalmente, las temperaturas elevadas promueven la transferencia de masa de acuerdo con la ley de Arrhenius. Sin embargo, Atares *et al.* (2011) consideran que las altas temperaturas pueden afectar negativamente la calidad del producto, de hecho, si la temperatura alcanzara un valor crítico, la membrana celular comienza a perder sus funciones especializadas de permeabilidad debido a la desnaturalización de las proteínas.

2.4.1.6. *Tiempo*

El tiempo es un factor muy relevante en el proceso de DO, debido a que los cambios más importantes de la deshidratación se observan relativamente durante las dos primeras horas, que es cuando toma lugar la transferencia de masa y el equilibrio se alcanza a tiempos prolongados (Lazarides, 1995; Arreola y Rosas, 2007).

2.4.1.7. *Deshidratación osmótica con pulso de vacío*

La deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV) es un proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-liquido (Fito *et al.*, 1994), consiste en la aplicación de presiones subatmosféricas durante un tiempo corto al comienzo de este, seguido por una etapa de relajación. La DOPV permite la incorporación de solutos deseados en el interior del tejido vegetal de una forma rápida y controlada, sin destruir la matriz inicial del producto, únicamente ocupa una parte de su fracción porosa inicial con la disolución, emulsión o dispersión de impregnación (Cortés *et al.*, 2007).

Experimentos realizados sugieren que cuando se trabaja en condiciones de vacío se presentan dos fenómenos: el mecanismo hidrodinámico (Hydrodynamic mechanism-HDM) y el fenómeno deformación-relajación (deformation-relaxation phenomena-DRP) de la matriz sólida del alimento (Huayamave y Cornejo, 2005). El HDM y el DRP de la matriz sólida del alimento poroso están sumamente afectados por la microestructura del alimento y por sus propiedades mecánicas, pudiendo a su vez provocar interesantes cambios en las propiedades físicas del producto.

La Figura 5 ilustra el acoplamiento de los fenómenos deformación-relajación y mecanismo hidrodinámico de un alimento poroso sumergido en una solución osmótica, en las diferentes etapas de un proceso de impregnación a vacío descrito y modelado por Fito (1994).

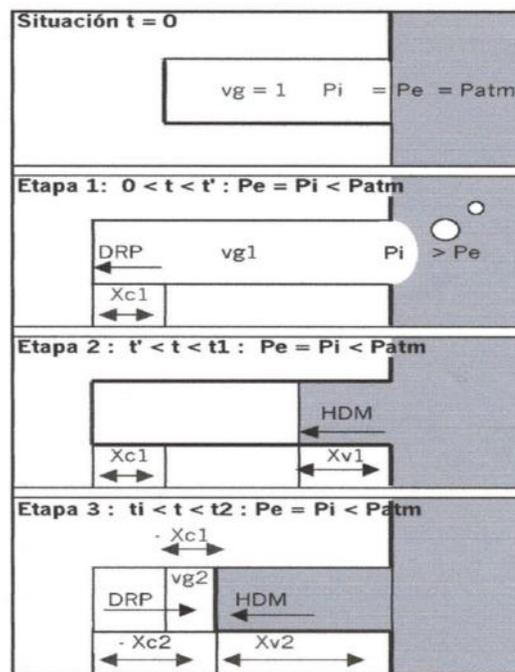


Figura 5. Desarrollo del DRP y HDM en los poros de un sistema alimento-solución osmótica (Adaptado de Fito *et al.*, 2001).

Al inicio del proceso osmótico ($t = 0$) existe un volumen de gas atrapado en el interior del poro (V_g). Cuando el producto se sumerge en un líquido y se somete a una presión subatmosférica (P_1) durante un tiempo, el gas ocluido en los poros sufre una expansión y en cierta medida una deformación de la matriz sólida (Etapa 1, Figura 5)

incrementando el valor de V_g . cuando la presión interior (P_i) se iguala la presión exterior (P_e) a $t = t'$ se interrumpe a la salida de gas desde el interior de los poros. Entonces, el volumen de gas en los mismos aumenta en X_{c1} , como consecuencia de la deformación (DRP). Se puede asumir que en este momento actúa el mecanismo hidrodinámico y el líquido externo penetra en el poro por efecto capilar (Etapa 2, Figura 5). En el equilibrio, el volumen de gas disminuye en la misma proporción en que penetra líquido por HDM (X_{v1}). Una vez que se restituye la presión atmosférica en el sistema, la presión externa (P_e) se iguala a la presión del líquido (P_2) y las fuerzas generadas por las diferencias entre la presión externa e interna actúan produciendo tanto deformaciones de la matriz sólida como llenado parcial de los espacios intercelulares por HDM (Etapa 3, Figura 5).

La entrada de líquido externo en el tejido del material biológico representa un aumento de la superficie de contacto alimento-solución dentro de los espacios intercelulares del producto, lo cual se refleja en altas velocidades de transferencia de masa. Al igual que antes, cualquier cambio en el volumen de la muestra (debido a cambios en la presión externa) se asume que es debido mayoritariamente a cambios en el volumen del gas interno. En el equilibrio $t=t_2$, el cambio de volumen y la penetración de líquido en el poro, durante la Etapa 3 será X_{c2} y X_{v2} respectivamente (Fito, 1994).

2.4.2. Desarrollo de alimentos funcionales mediante deshidratación osmótica

Una importante aplicación tecnológica de la DO es incorporar solutos tales como agentes conservantes, nutrientes, saborizantes o mejoradores de textura como componentes activos a través de la disolución osmótica en los espacios intercelulares de un tejido celular vegetal. Algunos autores como Boret *et al.* (2003) investigaron la impregnación de *S. cerevesiae* y *L. casei* y *L. spp. rhamnosus*, mostrando que es posible introducir células microbianas en la matriz del tejido estructural de manzana fresca, con un contenido microbiano que va desde 10^6 hasta 10^7 ufc/g, lo cual corresponde a los valores promedios en que generalmente se encuentran los productos lácteos comercializados actualmente.

Es probable observar un efecto similar al de Boret *et al.* (2003) en una matriz celular utilizando una emulsión múltiple del tipo $W_1/O/W_2$ como vehículo de un sistema multifuncional que contiene probióticos y biomoléculas, confiriéndoles un efecto protector al formar una barrera que evita la degradación de las células viables y compuestos bioactivos; además de analizar su posible aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales.

La producción de alimentos deshidratados con compuestos fisiológicamente activos como probióticos y compuestos fenólicos, proporciona una vida útil más prolongada que los productos líquidos, no obstante, el reto es la estabilidad que es dictada por los parámetros físicos de la matriz como producto final y las condiciones de almacenamiento. En la mayoría de los casos la pérdida de viabilidad durante el almacenamiento es más drástico que durante el procesamiento. La estabilidad se puede mejorar mediante el uso de agentes protectores y materiales de encapsulación como emulsiones. El uso de agentes protectores es una estrategia bien conocida para incrementar la tolerancia al secado de las cepas (Rodríguez-Huezo *et al.*, 2014).

3. JUSTIFICACIÓN

La reciente preocupación por los consumidores por su alimentación y la forma en que esta influye en su salud ha promovido la investigación en el desarrollo de alimentos que contienen CFA con potenciales beneficios adicionales a la salud más allá de la nutrición básica. La innovación de alimentos frescos a través de la adición de compuestos bioactivos permite dar valor agregado al producto y consecuentemente genera beneficios para los productores.

El plátano es un alimento energético que presenta un alto valor biológico, además de ser uno de los cultivos más importantes del mundo y considerado un producto básico. Su producción genera una gran cantidad de mano de obra en las regiones productoras, siendo de gran importancia para el desarrollo social y económico. Sin embargo, el fruto de este cultivo es extremadamente perecedero y no permite el uso de métodos de conservación convencionales como la congelación, lo que produce grandes pérdidas económicas para los productores. Esta situación representa la oportunidad de ofrecer alternativas para el desarrollo de nuevos productos a base de plátano con valor agregado mediante el desarrollo de técnicas de impregnación y/o adhesión de ingredientes fisiológicamente activos. Es por ello, que este trabajo de investigación, propone la elaboración de un sistema multifuncional a base de una emulsión doble del tipo $W_1/O/W_2$, conteniendo en su interior *L. rhamnosus* y compuestos fenólicos de la miel de abeja sin aguijón, y mediante el uso de métodos combinados como la deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío, incorporar el sistema multifuncional en los espacios intercelulares y/o superficie de un tejido celular vegetal. Y de esta forma se ofrece a la industria alimentaria nuevas técnicas innovadoras para el desarrollo de nuevos productos de alto valor comercial a partir de la adición de CFA.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1. Hipótesis

Un sistema multicomponente con potenciales propiedades funcionales formulado con probióticos y compuestos fenólicos puede ser incorporado en una matriz vegetal mediante el uso de emulsiones múltiples en combinación con el proceso de deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío.

4.2. Objetivo general

Impregnar *L. rhamnosus* y compuestos fenólicos de miel de abeja sin aguijón en placas de plátano utilizando una emulsión doble del tipo $W_1/O/W_2$ mediante la combinación de deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío.

4.3. Objetivos específicos

- Analizar las cinéticas de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución de sacarosa-emulsión con y sin pulso de vacío.
- Estudiar los cambios fisicoquímicos de actividad de agua, sólidos solubles y deformación volumétrica en las muestras de plátano osmodeshidratadas.
- Evaluar el tamaño de la emulsión doble en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa.
- Determinar la viabilidad del probiótico encapsulado en la emulsión, en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60%.
- Analizar el efecto de las diferentes condiciones de los tratamientos osmóticos sobre la impregnación de células viables de *L. rhamnosus* en el plátano.
- Analizar el efecto de las diferentes condiciones de los tratamientos osmóticos sobre la actividad antioxidante y compuestos fenólicos en las placas de plátano.
- Evaluar las microcápsulas en el plátano osmodeshidratado mediante microscopía electrónica de barrido.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materias primas

El fruto de plátano (*Musa cavendishii*) y azúcar refinada fueron adquiridas en un mercado local. Como agentes emulsificantes se utilizaron ésteres de polirricinoleato (EMULL PGPR 90, Milikan, S.A de C.V., México), ácido acetil tartárico (Panodan SDK, Danisco Mexicana, S.A de C.V., México), concentrado de proteína de suero de leche (WPC 80), con un contenido proteico de 80% en base seca (Amfer Foods, México) que se utilizaron como material de pared y aceite de uva (Primex S.A de C.V, México).

El microorganismo probiótico empleado fue *L. rhamnosus* LC705 (Danisco, Niebüll, Alemania) obtenido a partir de una cepa liofilizada. Para la activación y el conteo de células viables se utilizó caldo MRS y Agar MRS BD DIFCO (Becton Dickinson, México, D.F.), respectivamente.

5.2. Metodología

5.2.1. Activación del *Lactobacillus rhamnosus*

La activación se realizó a partir de un inóculo de cultivo almacenado a 4 °C en caldo MRS con glicerol en relación 1:1. Se activó al 1% en caldo MRS, se incubó por 24 horas a 35 °C en condiciones anaerobias (incubadora Lab-line/CS&E imperial II Inc.). Posteriormente, el concentrado celular se obtuvo por centrifugación de 100 mL de cultivo a 500 rpm a temperatura ambiente.

5.2.2. Cuenta de células viables

El conteo de células viables se realizó por el método de siembra en placa, se colocó 1 g ó mL de la muestra y se realizaron diluciones seriales de 10^{-1} a 10^{-8} con solución salina isotónica al 0.9%. De estas diluciones, 0.1 mL se sembraron en placa en agar MRS por duplicado y se incubaron en condiciones anaerobias por 48 horas a 35 °C. Los resultados fueron expresados como unidades formadoras de colonias por g o mL de muestra (ufc/g ó mL).

5.2.3. Preparación de la emulsión doble y solución osmótica

La emulsión doble agua en aceite en agua ($W_1/O/W_2$), se elaboró de acuerdo a la metodología propuesta por Pimentel *et al.* (2009) con algunas modificaciones. El proceso de emulsificación fue hecho a temperatura ambiente en dos etapas. En la primera etapa se elaboró una emulsión agua en aceite (W_1/O) con una fase acuosa que consistió en una carga celular al 11.57 ± 0.08 log (ufc/g) suspendida en 30 g de caldo MRS. La fase oleosa consistió en 62 g de aceite de uva con agentes emulsificantes, utilizando 5.34 g de ésteres de polirricinoleato (EMULL PGPR) y 2.66 g de ácido acetil tartárico (Panodan), con una concentración final de emulsificante del 8% (p/p). En la segunda etapa, se dispersaron 30 g de la emulsión W_1/O en 70 g de solución acuosa de concentrado de proteína de suero de leche (WPC) y miel de abeja sin aguijón (*Scaptptrigona mexicana*) al 14% (p/p), respectivamente. Se homogenizó a 2800 rpm por 5 minutos. En esta etapa se produjo una emulsión doble ($W_1/O/W_2$) donde el microorganismo quedó atrapado en la fase acuosa interna, mientras que la miel de abeja sin aguijón en la fase acuosa externa. La emulsión $W_1/O/W_2$ se diluyó 1:10 en soluciones de sacarosa de tal forma que la concentración final de sacarosa fue de 40, 50 y 60%.

5.2.4. Análisis microscópico del tamaño de la gota en la emulsión doble $W_1/O/W_2$

La longitud del diámetro promedio ($D_{1,0}$) de las gotas de la emulsión doble $W_1/O/W_2$ se determinó utilizando un microscopio óptico (Motic BA-210, Motic China Group Co. Ltd., Hong Kong, China) acoplado a un sistema de análisis de imagen (Motic Images PLUS 2.0). Para el análisis fueron seleccionadas 300 gotitas al azar inmediatamente después de la elaboración de la emulsión.

5.2.5. Análisis de la microestructura de plátano

Las muestras de plátano se liofilizaron utilizando un equipo Labconco (Freezone 4.5) a una presión de 0.010 mbar y -86 °C durante 72 h. Se realizaron cortes transversales a las muestras y se colocaron sobre un portamuestras para recubrirse con oro durante 4

min en una ionizadora JFC-1100[®] (JEOL LTD, Tokio, Japón). El análisis de microscopia SEM se realizó en un microscopio electrónico de barrido JSM-35C[®] (JEOL LTD, Tokio, Japón).

5.2.6. Deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío

Para llevar a cabo el estudio de la deshidratación osmótica con pulso de vacío, se acopló una estufa de vacío (Heraeus modelo D-6450 Hanau) a una bomba de vacío (Labconco modelo # 117).

Los plátanos fueron cortados en forma de placas de 28 mm de diámetro y 2.8 mm de grosor. Cada placa fue pesada y colocada en soluciones osmóticas de sacarosa-emulsión en una relación 1:20 (p/p) plátano: solución.

Para la deshidratación osmótica de las placas de plátano, el pulso de vacío fue de 100 mbar por 10 y 20 min. Posteriormente, la presión fue restaurada y se permitió que las muestras continuaran inmersas en la solución osmótica hasta completar los tiempos de 30, 60, 120, 180 y 300 min. En el caso de la deshidratación osmótica sin pulso de vacío, las muestras estuvieron inmersas en la solución osmótica por 10, 20, 30, 60, 120, 180 y 300 min. Los experimentos fueron realizados a 35 °C por triplicado.

5.2.6.1. Medición del cambio de volumen

El diámetro de las muestras se midió con un vernier digital (Trupper, Herramientas, S. A. de C. V. Veracruz, México) y el grosor con un micrómetro digital (SURTEK, URREA Herramientas Profesionales, S. A. de C. V. Veracruz, México).

5.2.6.2. Determinación de humedad

La humedad inicial y final de las muestras fue determinada mediante la diferencia de pesos, antes y después de ser colocadas en una estufa de convección (ECOSHEL 9053A) a 103 °C por 24 h (AOAC, 2000).

5.2.6.3. **Determinación de sólidos solubles**

Los sólidos solubles se determinaron con un refractómetro digital (Pocket refractometer pal-1 Atago), previamente calibrado a cero con agua destilada. La muestra sólida fue homogenizada y una gota del jugo fue colocada sobre el prisma. Los °Brix de la muestras fueron leídos directamente en la pantalla del refractómetro. La ganancia de sólidos solubles en la muestra se calculó con la Ecuación 1.

$$^{\circ}\text{Brix} = ^{\circ}\text{Brix}_f - ^{\circ}\text{Brix}_i \quad (1)$$

donde °Brix es la diferencia de sólidos solubles ganados por la muestra, °Brix_f son los grados °Brix de la muestra osmodeshidratada y °Brix_i son los grados °Brix de la muestra fresca.

5.2.6.4. **Determinación de la actividad de agua**

La actividad de agua (a_w) fue medida con un equipo Novasina LabMASTER (modelo estándar), con control interno de temperatura a 35 °C. La lectura de la actividad de agua fue obtenida hasta que el equilibrio dentro de la celda de medición fue alcanzado.

5.2.6.5. **Determinación de actividad antioxidante en plátano**

El análisis de actividad antioxidante en las placas de plátano se realizó mediante la metodología de Kim *et al.* (2002), a 0.1 mL del extracto de plátano se le añadieron 2.9 mL de solución metanólica de DPPH 0.1 mM. La mezcla se agito vigorosamente y se dejó reposar a temperatura ambiente en la oscuridad durante 30 min, posterior a ello se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un Espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Scientific Evoluyion 260 BIO). La actividad antioxidante se determinó a partir de la Ecuación 2 y se expresó como:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control}} \quad (2)$$

El control consistió en 0.1 mL de solución metanólica al 50% y 2.9 mL de solución metanólica de DPPH 0.1 mM.

5.2.6.6. Determinación de compuestos fenólicos en plátano

El contenido de compuestos fenólicos en las placas de plátano osmodeshidratadas se realizó utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, mediante la metodología de Lim *et al.* (2007) con algunas modificaciones. Se mezclaron 0.3 mL de extracto de plátano con 1.5 mL de Folin-Ciocalteu (diluido 10 veces en agua) y 1.2 mL de carbonato de sodio al 7.5% (p/v). Las mezclas se agitaron, se reposaron durante 30 min y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. El total de compuestos fenólicos se expresó como equivalente de ácido gálico por 100 g de plátano osmodeshidratado (EAG/ 100 g de plátano).

5.2.6.7. Análisis estadístico

El análisis de varianza y los promedios fueron comparados mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) utilizando el software Design Expert 8 (Stat-Ease, Inc, Minneapolis, USA). Los datos cinéticos fueron modelados con el programa KaleidaGraph™, versión 4.5.2 de SINERGY SOFTWARE, con análisis de regresión no lineal. La bondad de los modelos fue estimada con los coeficientes de determinación (R^2). Todas las mediciones fueron hechas por triplicado.

5.3. Metodología de cálculo

5.3.1. Cinéticas de deshidratación osmótica

Las cinéticas de pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de placas de plátano, se determinaron con el siguiente modelo (Azuara *et al.*, 1992):

$$WFL = \frac{s_1 t WFL}{1 + s_2 t} \quad (3)$$

$$SG = \frac{s_2 t SG}{1 + s_2 t} \quad (4)$$

donde WFL = fracción de agua perdida por el alimento al tiempo t, SG = fracción de sólidos ganados por el alimento al tiempo t, SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, s_1 = constante relacionada con la velocidad de pérdida de agua (min^{-1}), s_2 = constante relacionada con la velocidad de entrada de sólidos solubles al alimento (min^{-1}).

WFL y SG son determinados usando las siguientes ecuaciones (Beristain *et al.*, 1990):

$$WFL = \frac{M_o X_o - M_t X_t}{M_o} \quad (5)$$

$$SG = \frac{M_o(X_o - 1) - M_t(X_t - 1)}{M_o} \quad (6)$$

donde WFL = peso de agua perdida por el alimento al tiempo t, SG = peso de sólidos ganados por el alimento al tiempo t, M_o = peso inicial del alimento al tiempo 0, M_t = peso del alimento al tiempo t, X_o = humedad inicial del tiempo (base húmeda), X_t = humedad final del alimento (base húmeda) al tiempo t.

5.3.2. Coeficiente de difusión

Para calcular la variación del coeficiente de difusión durante la deshidratación osmótica de una muestra en forma de placa, se utilizó la siguiente expresión (Azuara *et al.*, 1992b):

$$D = \frac{t}{4} \frac{s_1 l}{[1 + s_1 t]^2} \quad (7)$$

donde l = mitad del espesor de la placa, t = tiempo de osmodeshidratación, s_1 = constante relacionada con la velocidad de pérdida de agua y con la velocidad de entrada de sólidos solubles al alimento.

5.3.3. Velocidad de secado

Las velocidades para la pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de placas de plátano, se determinaron con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dWFL}{dt} = \frac{s_1 WFL}{(1+s_1 t)^2} \quad (8)$$

$$\frac{dSG}{dt} = \frac{s_2 SG}{(1+s_2 t)^2} \quad (9)$$

donde WFL = fracción de agua perdida por el alimento al tiempo t , SG = fracción de sólidos ganados por el alimento al tiempo t , SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, s_1 = constante relacionada con la velocidad de pérdida de agua (min^{-1}), s_2 = constante relacionada con la velocidad de entrada de sólidos solubles al alimento (min^{-1}).

5.4. Diagrama de trabajo

La Figura 6 ejemplifica el procedimiento de trabajo llevado a cabo para este estudio.

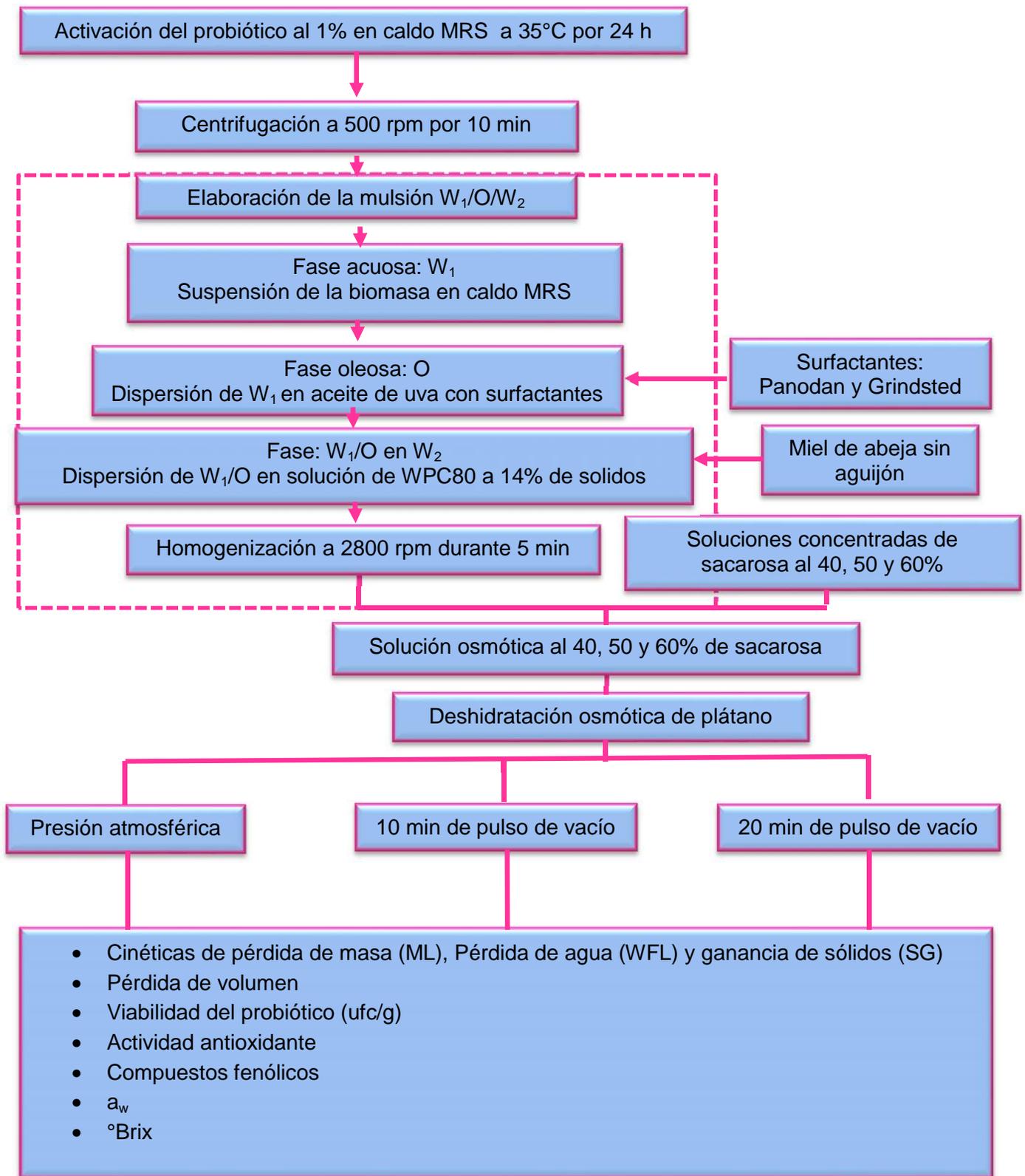


Figura 6. Diagrama de trabajo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Cinéticas de deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución osmótica de sacarosa-emulsión, con y sin pulso de vacío.

El análisis cinético de la deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío de placas de plátano con solución de sacarosa-emulsión se realizó con base en el modelo descrito por Azuara *et al.* (1992 a, b) el cual es capaz de predecir la fracción de agua pérdida y sólidos ganados por diversos alimentos a un determinado tiempo. En el Cuadro 6 se muestran los valores de las constantes cinéticas s_1 , WFL, SG y R^2 obtenidas con el método discontinuo a las diferentes condiciones de procesamiento.

Cuadro 6. Constantes cinéticas del modelo osmótico (Ecuación 3 y 4). Para la fracción del agua pérdida (WFL) y fracción de sólidos ganados (SG) en las placas de plátano.

Concentración de sacarosa (%)	Proceso	$s_1(\text{min}^{-1})$	WFL	R^2	$s_2(\text{min}^{-1})$	SG	R^2
40	DO	0.0171	0.4299	0.9929	0.0078	0.1516	0.9498
	DOPV10	0.0337	0.4102	0.9820	0.0195	0.1221	0.9711
	DOPV20	0.0316	0.4585	0.9903	0.0245	0.1339	0.9826
50	DO	0.0203	0.4814	0.9865	0.0025	0.2691	0.9407
	DOPV10	0.0413	0.4548	0.9452	0.0188	0.1448	0.9735
	DOPV20	0.0359	0.5335	0.9896	0.0221	0.1462	0.9630
60	DO	0.0231	0.5957	0.9865	0.0020	0.3173	0.8965
	DOPV10	0.0432	0.5513	0.9912	0.0125	0.1562	0.9834
	DOPV20	0.0401	0.5835	0.9931	0.0203	0.1525	0.9799

DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente, WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, s_1 = constante relacionada con la velocidad de pérdida de agua (min^{-1}), SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, s_2 = constante relacionada con la velocidad de entrada de sólidos solubles al alimento (min^{-1}).

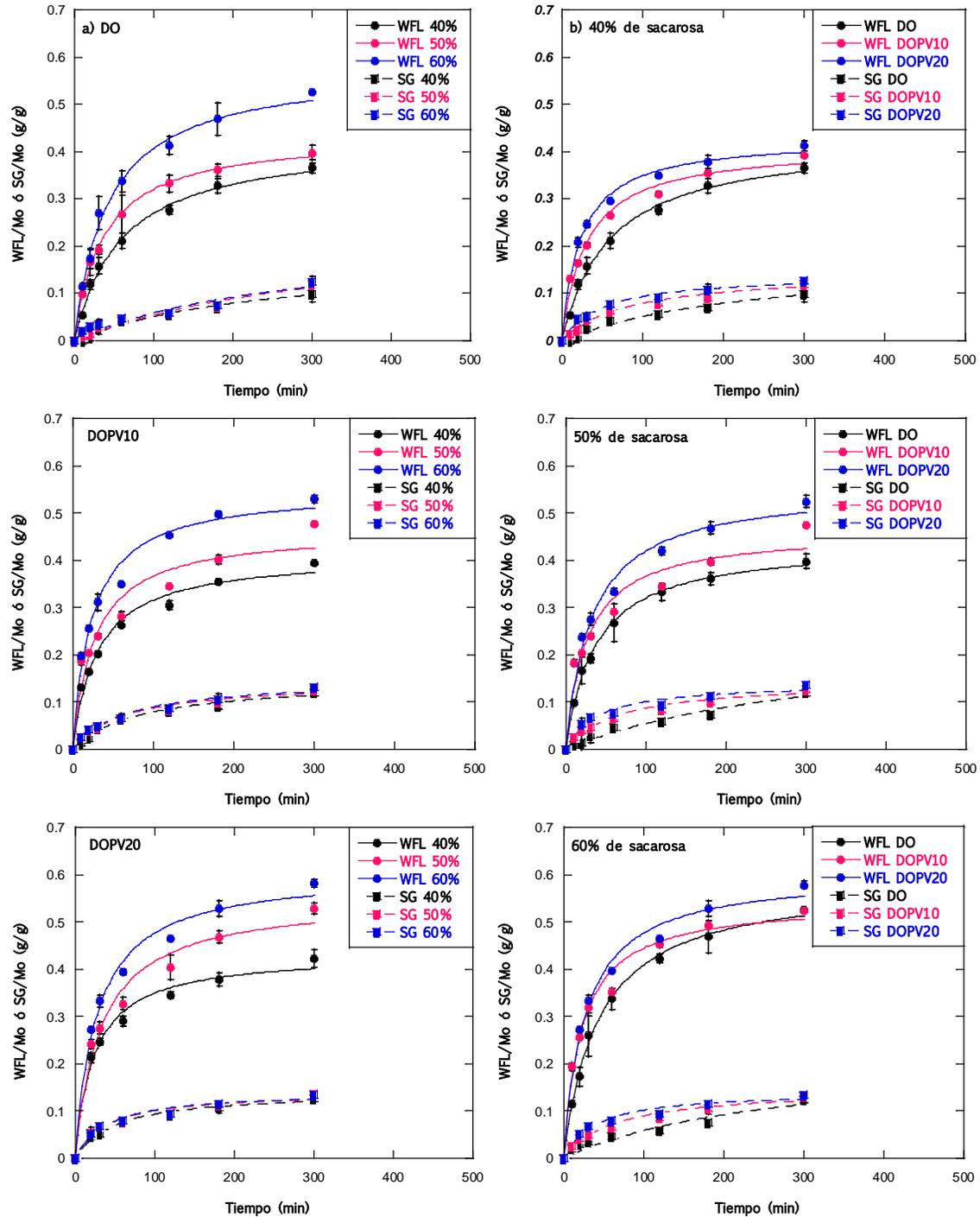
Como se puede observar en el Cuadro 6, la constante cinética s_1 para WFL tiende a incrementar cuando se utilizan altas concentraciones de sacarosa y pulso de vacío, lo que acelera la transferencia de agua del plátano a la solución osmótica. Al comparar las constantes cinéticas s_1 obtenidas en cada uno de los tratamientos realizados, se observa que los procesos en los que se aplica un pulso de vacío de 10 min presentan mayores velocidades de pérdidas de agua. Estos resultados son similares a los expuestos por Huayamave y Cornejo (2005) quienes estudiaron el efecto de la aplicación de diferentes tiempos de presión de vacío sobre la cinética de transferencia de masa en mango en forma rectangular, observaron que el uso de tiempos cortos de pulso de vacío incrementa la constante cinética s_1 . El uso de pulso de vacío acelera la transferencia de sólidos de la solución osmótica a la placa de plátano y se percibe como un aumento en los valores de s_2 para SG. No obstante, cuando se incrementa la concentración de sacarosa en la solución osmótica (40 al 60%) la constante s_2 disminuye, este comportamiento refleja que las soluciones osmóticas con altas concentraciones de sacarosa hacen el sistema más viscoso, desarrollando capas de soluto sobre el plátano que actúan como una barrera para la transferencia de masa. Lo cual resulta similar a lo informado por Mújica *et al.* (2003) quienes estudiaron el efecto de la presión de vacío y la concentración de jarabe en algunos frutos, en el caso de manzana observaron el decremento de la transferencia de sólidos conforme aumentaba la concentración de solutos en el jarabe.

Los parámetros en equilibrio para la fracción de agua pérdida (WFL) y fracción de sólidos ganados (SG) en las placas de plátano se refiere a la situación en donde la transferencia de masa se detiene ya que se alcanza el equilibrio de los potenciales químicos de las especies involucradas (agua y sólido) entre el plátano y la solución osmótica. En el Cuadro 6 se observa que el pulso de vacío no es práctico para incrementar WFL, ya que los valores son cercanos uno de otro, pero sí permite que se alcance más rápido. En el caso de SG, el uso de pulso de vacío provoca que disminuyan los valores hasta un 50%, mientras que el incremento de la concentración de la solución tiene mayor efecto sobre el proceso sin pulso de vacío (DO).

Los resultados obtenidos en el presente estudio reafirman lo reportado por Fito (1994), quien avala que los tratamientos con pulso de vacío incrementan de manera

significativa la pérdida de agua en comparación con los tratamientos a presión atmosférica, no obstante, la ganancia de solutos no se ve favorecida por el uso de pulso de vacío.

En la Grafica 1 (a) se presentan los datos experimentales de pérdida de agua (WFL) y ganancia de sólidos (SG) en placas de plátano como función del tiempo de inmersión. Como se observa, durante todo el proceso (300 min) se registra una transferencia simultánea de materia causada por los gradientes de presión osmótica. En todos los casos los valores de WFL incrementaron de forma no lineal de acuerdo al modelo de Azuara *et al.* (1992 a, b). En el caso de SG se observa la rapidez en la ganancia de solutos fue mayor durante los primeros 60 min del proceso y posteriormente disminuye. De acuerdo con algunos autores (Falade *et al.*, 2007; Lazarides *et al.*, 2007; Íspir y Togul, 2009) un rápido aumento en la transferencia de masa (agua y soluto) al inicio del proceso osmótico está dado por la elevada fuerza impulsora osmótica entre el alimento y la solución osmótica. Los resultados de este estudio muestran que el principal mecanismo de transporte en la osmodeshidratación de placas de plátano es la difusión de moléculas de agua a través de la membrana celular. Sin embargo, para entender mejor la transferencia de masa en la compleja estructura de los alimentos, es necesario considerar la existencia de diversos mecanismos responsables del transporte de masa que actúan a diferentes niveles. Asumiendo que los materiales biológicos poseen distintas capas de células, estas presentan diferentes condiciones de transferencia de masa (Shi y Maguer, 2003) a condición de las características del soluto contenido en la solución de impregnación, el cual puede o no penetrar la membrana celular (Yao y Le, 1995). Una elevada tasa de transferencia de masa al inicio del proceso osmótico, induce cambios en las placas de plátano, Mayor *et al.* (2008) infieren la presencia de tres fenómenos estructurales: contracción y plasmólisis, pérdida de adherencia celular y, la ruptura y formación de cavidades. La Grafica 1 muestra el efecto de la concentración de las soluciones de impregnación sobre las cinéticas WFL y SG en placas de plátano, y se observa que a mayor concentración de solutos en la solución existe una mayor transferencia de masa que se ve reflejada en una alta pérdida de agua (WFL) y ganancia de sólidos (SG), esto a causa de los cambios de presión osmótica impuestos por las altas concentraciones de sacarosa en la solución osmótica.



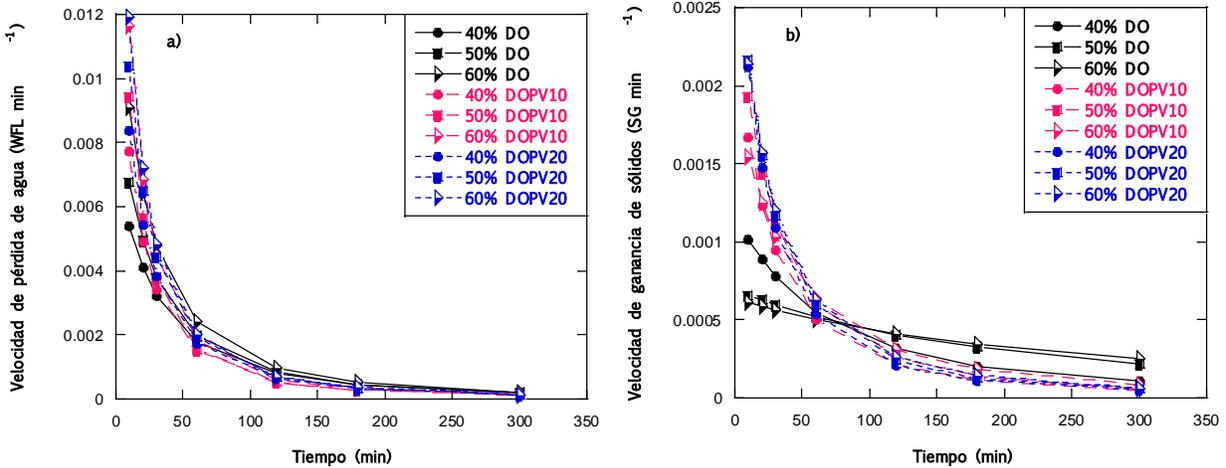
Grafica 1. Variación de WFL y SG con la concentración (a) y pulso de vacío (b), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente. Las líneas continuas corresponde al ajuste con el modelo de Azuara *et al.*, (1992 a, b).

Esto coincide con lo informado por Vega *et al.* (2007) quienes osmodeshidrataron cubos de papaya chilena a diferentes temperaturas y concentraciones de solución osmótica, demostrando que las soluciones con elevadas concentraciones de soluto favorecen el incremento de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

En la Grafica 1 (b) se percibe el efecto del pulso de vacío sobre las cinéticas WFL y SG en placas de plátano y se aprecia que al aumentar el tiempo de pulso de vacío se registra una mayor transferencia de masa, reflejándose en una alta pérdida de agua (WFL) y ganancia de sólidos (SG). Esto se atribuye a las diferencias de presiones que se presentan en el sistema, por consiguiente la expansión del gas ocluido en los poros, así como la incorporación de un importante volumen de solución de osmótica a la estructura porosa del alimento, incrementando la superficie de contacto entre el material biológico y la solución de impregnación, favoreciendo la cinética de transferencia de masa.

La Grafica 2 compara las velocidades de pérdida de agua (2a) y ganancia de sólidos (2b) obtenidas en cada uno de los tratamientos. De manera notable los procesos en que se aplica pulso de vacío presentan las mayores velocidades de transferencia de masa (agua y sólidos) en comparación con los procesos a presión atmosférica. Por otra parte, se observa que después de 60 min de procesamiento, la velocidad de transferencia de masa disminuye drásticamente para ambos flujos (agua y sólidos), probablemente porque los sólidos contenidos en la solución de impregnación y las placas de plátano tienden al equilibrio o por las modificaciones estructurales que sufre el tejido del material biológico, por lo que las fuerzas impulsoras disminuyen afectando los mecanismos de transferencia de masa.

Cuando se representa la pérdida de agua (WFL/Mo) versus ganancia de sólidos (SG/Mo) en un gráfico (Ver Anexo B) forma una línea recta, la cual de acuerdo con Azuara *et al.* (2002) es un importante criterio que determina si la deshidratación ($WFL/SG > 1$) o la impregnación ($WFL/SG < 1$) predomina a lo largo del proceso.



Grafica 2. Velocidades de transferencia de masa durante la cinética de placas de plátano osmódeshidratadas a 35 °C. a) Velocidades de pérdida de agua, b) Velocidades de ganancia de sólidos. $WFL\ min^{-1}$ = velocidad de agua perdida por el alimento al tiempo t, SG = velocidad de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio al tiempo t, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

El Cuadro 7 muestra la relación WFL/SG para la deshidratación osmótica de placas de plátano con solución de sacarosa-emulsión a diferentes condiciones de procesamiento. Además, se observa que la pendiente de todos los tratamientos es mayor a la unidad, lo que significa que en todos los casos predomina la deshidratación, la cual incrementa al utilizar altas concentraciones de sacarosa.

Cuadro 7. Relación WFL/SG para la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa.

Concentración (%)	WFL/SG		
	DO	DOPV10	DOPV20
40	3.6652	2.572	2.4899
50	4.0171	2.9161	3.6356
60	7.0773	3.1801	3.8046

WFL = fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, SG = fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

La Figura 7 muestra la estructura del tejido vegetal de plátano con y sin tratamiento osmótico. Se pueden apreciar las alteraciones estructurales en las placas de plátano durante la osmodeshidratación, las cuales obstaculizan la transferencia de masa debido a la formación de una película de capas compactas de sólidos y células parenquimatosas colapsadas (Figura 7 b), que actúa como una barrera que interfiere en el gradiente de la interface plátano-solución osmótica y dificulta la posterior pérdida de agua y ganancia de sólidos.

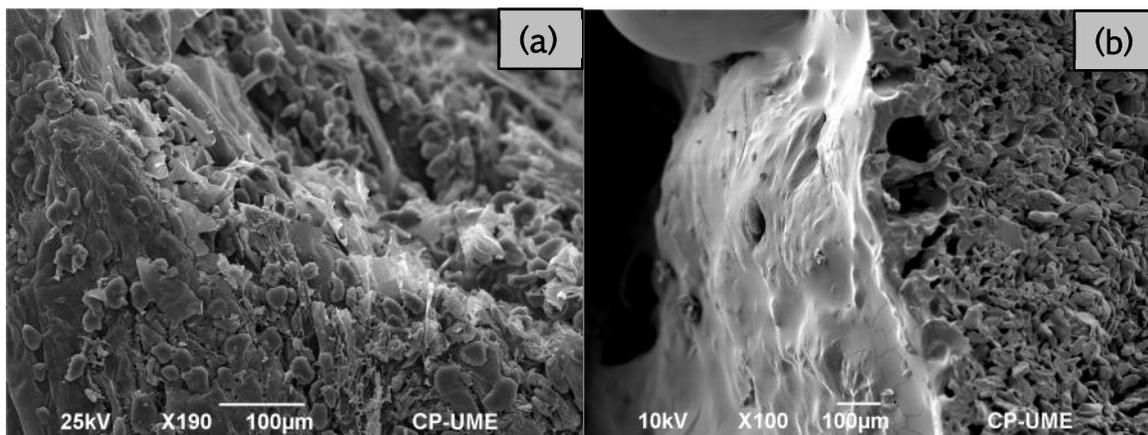


Figura 7. Micrografías SEM de la estructura de plátano (interfase) sin tratamiento de osmótico (a) y con tratamiento osmótico a presión atmosférica con solución de sacarosa al 50% por 35 min a 35 °C (b).

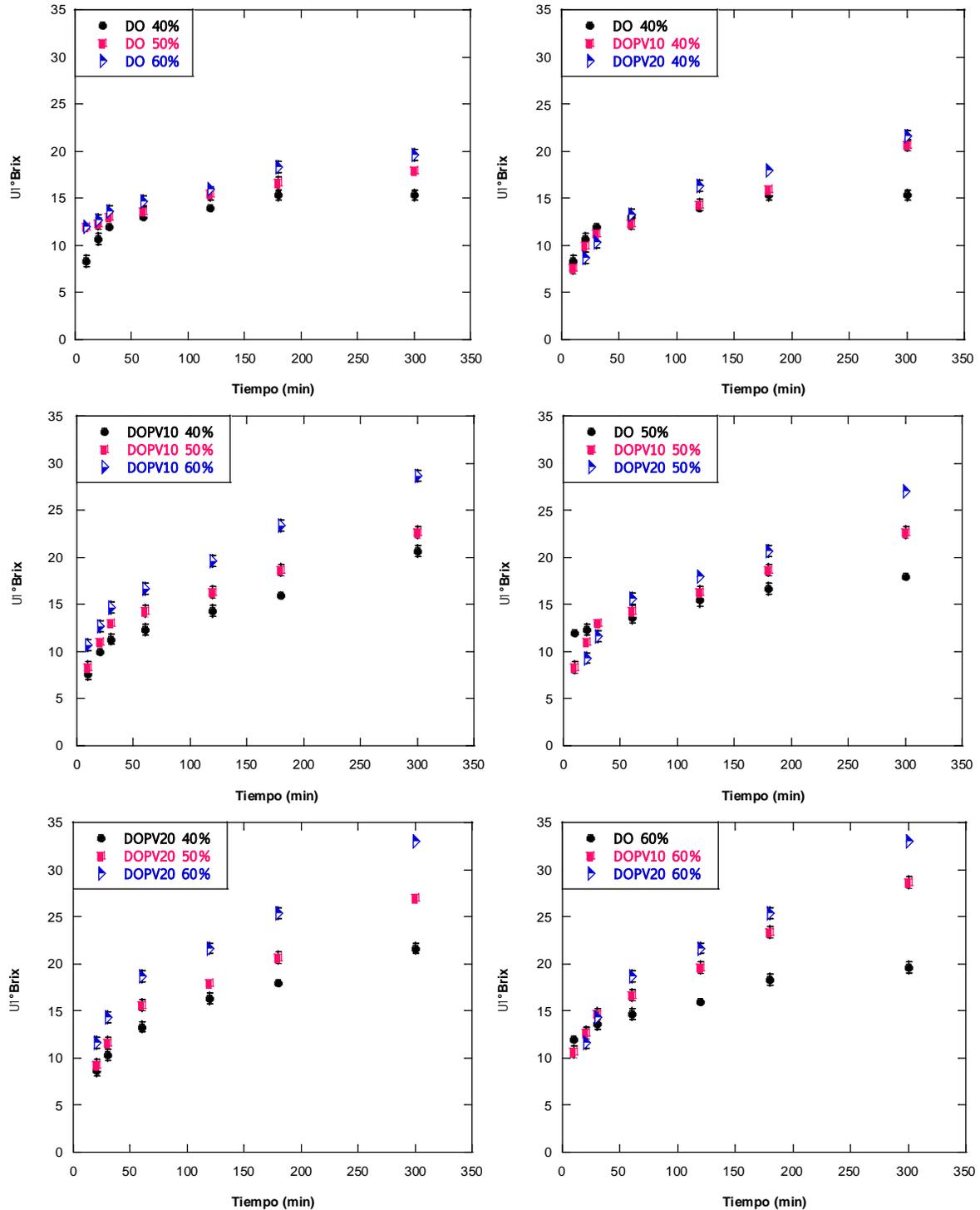
Lazarides *et al.* (2007) confirman que durante la osmodeshidratación se concentra una capa de sólidos, capas superficiales del producto, que presentan una resistencia adicional a la transferencia de masa.

6.2. Cambios en el contenido de sólidos solubles, actividad de agua y contenido de humedad durante la deshidratación osmótica de placas de plátano

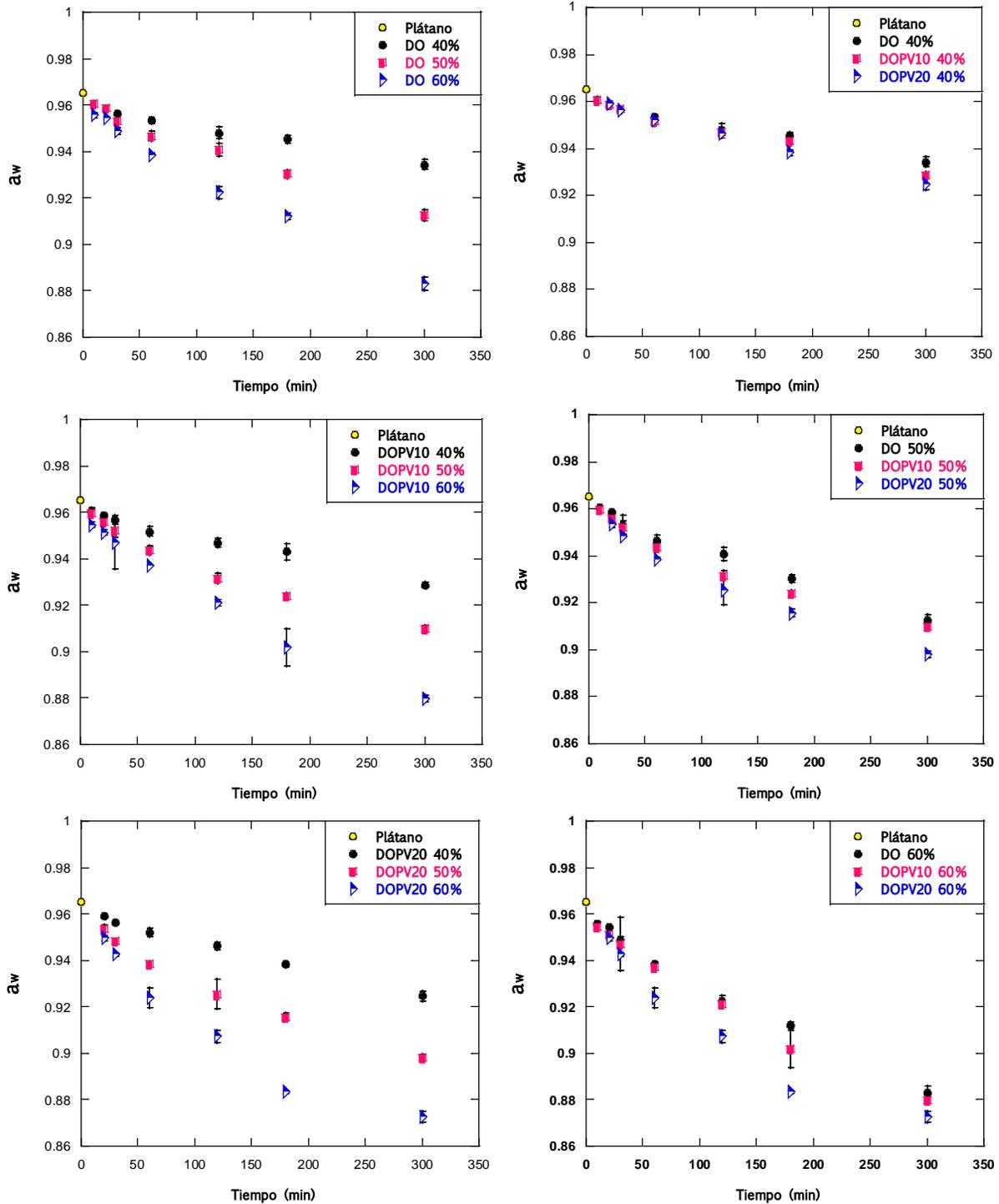
El procesamiento de materiales biológicos se caracteriza por una secuencia de continuos cambios fisicoquímicos, resultado de la profunda reestructuración que se desencadena dentro del alimento. Uno de los cambios más palpables e importantes durante la transformación de materiales vegetales es el sabor, comúnmente vinculado con los grados de dulzura (sólidos solubles totales) del producto. La medición de

sólidos solubles es empleado comercialmente como índice de calidad por guardar una alta correlación positiva con los niveles de azúcar interna y el buen sabor; por ello, sirve para evaluar la calidad organoléptica del producto (Angón *et al.*, 2006; Montaña y Méndez, 2009). En la Grafica 3 se observa el efecto de la concentración de la solución osmótica y el pulso de vacío sobre el incremento de sólidos solubles en las placas de plátano osmodeshidratadas. El pulso de vacío y largos tiempos de inmersión aumentaron los sólidos solubles hasta en un 40% en comparación con los tratamientos realizados a presión atmosférica, esto se debe a que el uso de vacío promueve la incorporación de un importante volumen de solución osmótica en la estructura del plátano, generando una mayor transferencia de sólidos solubles en el alimento. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Silva *et al.* (2012) quienes estudiaron la transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica de cereza, encontrando que el contenido de sólidos solubles incrementa conforme se prolonga el tiempo de procesamiento. Por otra parte, es notorio que las soluciones osmóticas con alta concentración de sacarosa transfieren una mayor cantidad de sólidos solubles a través de la membrana semipermeable de las placas de plátano. Algunos autores han expuesto que el uso de soluciones osmóticas con altas concentraciones de soluto, estimulan la ganancia de sólidos solubles en el material biológico, debido al incremento de la presión osmótica que a su vez produce grandes fuerzas impulsoras que incrementan la transferencia de masa (Sutar y Gupta, 2007; Vega *et al.*, 2007).

La pérdida de agua y la ganancia de sólidos solubles (sacarosa) en las muestras de plátano ocasionan que disminuya su actividad de agua (a_w) durante el proceso osmótico. La a_w es de fundamental importancia, ya que determina el agua que se encuentra disponible para el crecimiento microbiano y para intervenir en diferentes reacciones químicas y bioquímicas. Es una de las herramientas más importantes en la predicción de la estabilidad y vida útil de los alimentos, refleja el grado de interacción del alimento con los demás constituyentes, además de que se relaciona con la formulación, el control de los procesos de deshidratación, la migración de la humedad en el almacenamiento y muchos otros factores (Badui, 2006). La grafica 4 muestra la variación de la a_w de las muestras durante el proceso osmótico con y sin pulso de vacío.



Grafica 3. Variación de contenido de °Brix (°Brix) con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

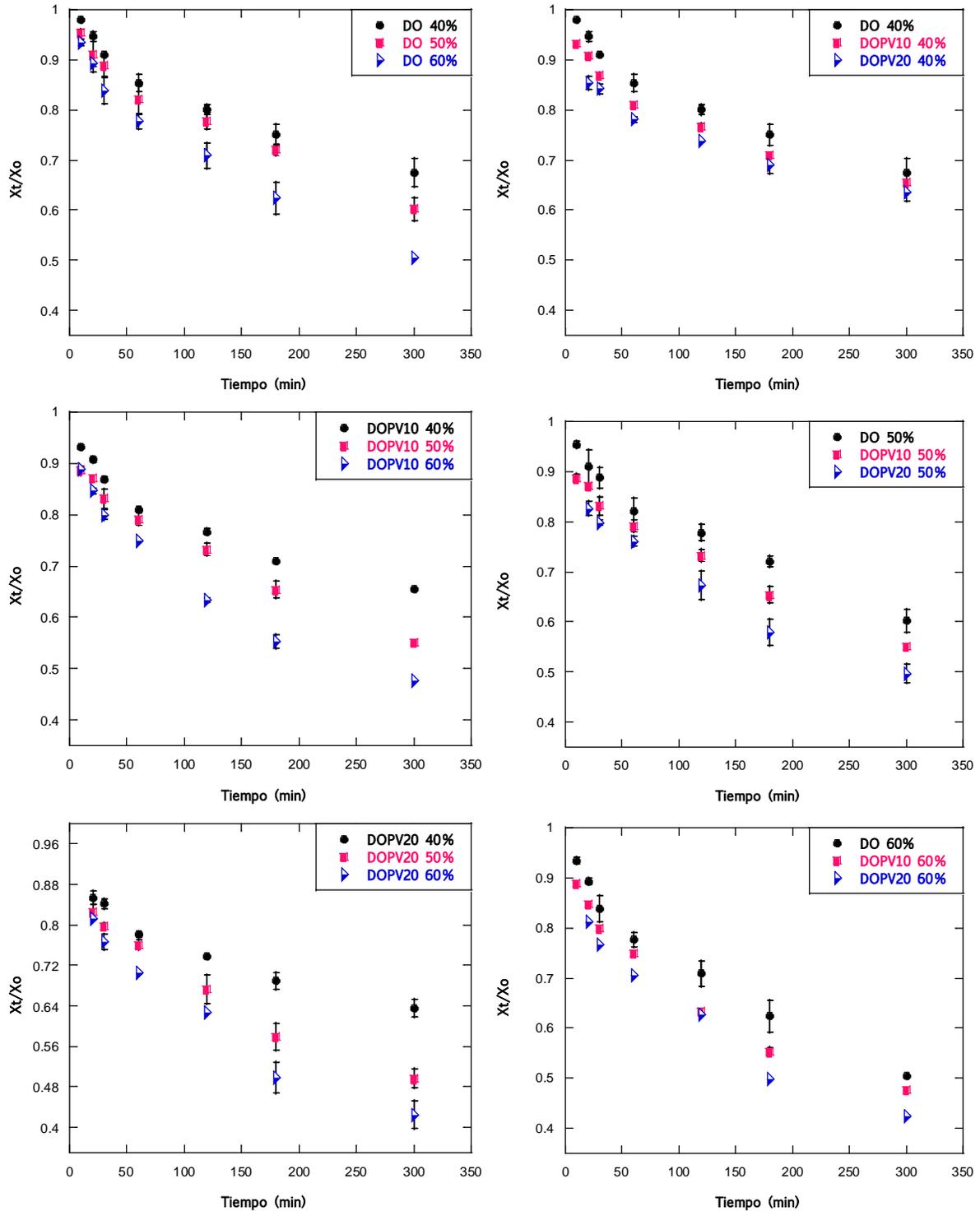


Grafica 4. Variación de la a_w con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Inicialmente la a_w de las soluciones osmóticas a 35°C fueron de 0.926, 0.887 y 0.845 a 40, 50 y 60% de sacarosa, respectivamente. La a_w de las placas de plátano antes de la osmodeshidratación fue de 0.965 ± 0.003 , lo que sugiere que el agua posee alta movilidad molecular ya que no está enlazada fuertemente a los sólidos del plátano. Posteriormente, conforme transcurrió el tiempo de inmersión la a_w disminuyó, debido a la eliminación de agua libre y a la impregnación de sólidos que interactúan con el agua contenida en el tejido, limitando la presión de vapor del agua en las placas de plátano con respecto a la presión de vapor del agua pura. De manera general se aprecia que las altas concentraciones de soluto en las soluciones osmóticas incrementó los gradientes de presión osmótica permitiendo una mayor transferencia de masa, deprimiendo considerablemente la presión de vapor, es decir, se obtienen muestras con menor a_w . Por otra parte, en la Grafica 4, se aprecia una importante diferencia en los distintos tratamientos (DO, DOPV10 y DOPV20). El uso de pulso de vacío produjo placas de plátano con menores actividades de agua, los cuales reducen hasta 9.6% la a_w inicial de las placas de plátano. Esto ocurre debido a que el uso de bajas presiones incrementa el contacto de las placas de plátano con la solución osmótica, favoreciendo la eliminación de agua (Grafica 1), que a su vez se refleja en menores actividades de agua, en comparación con los tratamientos a presión atmosférica.

Los cambios en la a_w en las placas de plátano suceden de manera paralela a los cambios en la humedad adimensional (X_t/X_o), es decir, la humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial. La humedad o contenido de agua en un alimento es uno de los factores que más influye en su alterabilidad. Los tratamientos osmóticos permiten eliminar de manera parcial el agua contenida en los alimentos (Khin *et al.*, 2007), lo que con frecuencia incrementa la vida de anaquel del producto.

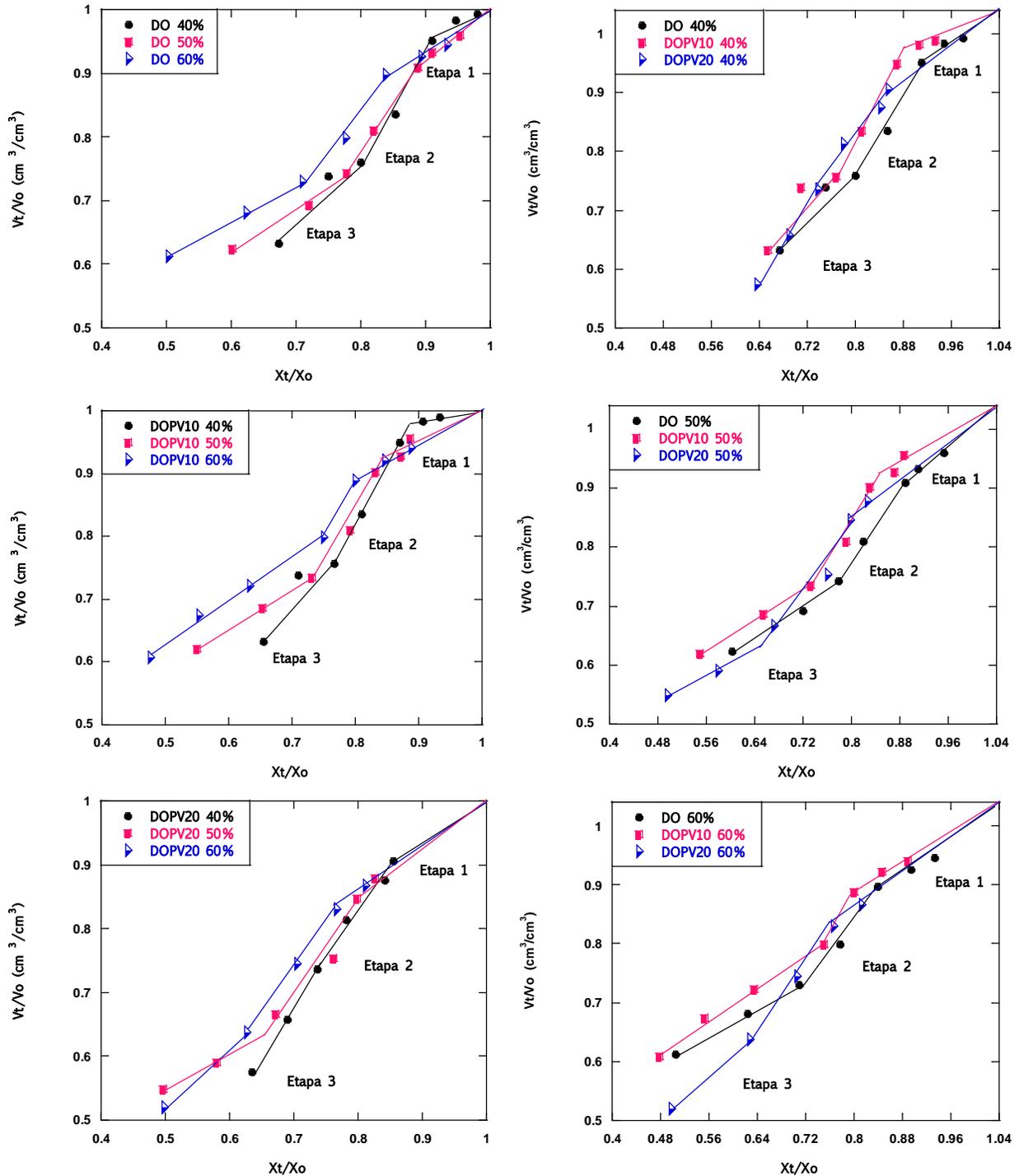
La Grafica 5 muestra el efecto de la concentración de la solución osmótica y el pulso de vacío sobre la humedad de las placas de plátano durante el tratamiento osmótico.



Grafica 5. Variación de la humedad con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o : humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Como se puede observar las altas concentraciones de sacarosa incrementan los gradientes de presión osmótica, favoreciendo la remoción de moléculas de agua presentes en la estructura del plátano, disminuyendo la humedad hasta un 35, 48 y 55% con respecto a la humedad inicial en soluciones al 40, 50 y 60% de sacarosa, respectivamente. De manera general, los largos tiempos de inmersión y el pulso de vacío disminuyen considerablemente la humedad de las placas de plátano, esto se debe a que las bajas presiones sustituyen el gas ocluido en los poros del plátano por solución osmótica, ejerciendo un mayor grado de deshidratación y dando como resultado alimentos con humedades inferiores en comparación a los obtenidos con los procesos realizados a presión atmosférica.

La eliminación de agua en el plátano provoca modificaciones en su arquitectura celular, los cuales se reflejan macroscópicamente como cambios en el volumen de las placas de plátano. Algunos autores como Azuara *et al.* (1992) y Flores *et al.* (2009) demostraron que durante la deshidratación osmótica, las células del producto atraviesan por tres etapas, las cuales están en función de la pérdida de volumen celular. La Grafica 6 presenta el efecto del uso de pulso de vacío sobre las etapas de osmodeshidratación en placas de plátano utilizando diferentes concentraciones de sacarosa de la solución osmótica. En la Etapa 1 las placas de plátano pierden agua rápidamente sin producir grandes cambios en el volumen, a su vez las células en contacto con la solución osmótica comienzan a perder su turgor (plasmólisis incipiente) (Azuara *et al.*, 1992). La Etapa 2 se caracteriza por una retracción del protoplasma y vacuola debido a la pérdida de agua celular e implica el colapso del volumen de los poros como consecuencia del deterioro en la arquitectura celular, generando nuevos espacios intercelulares, esto incrementa la ganancia de sólidos y por consiguiente la humedad y el volumen disminuyen. En la Etapa 3 la estructura celular comienza a colapsar y se caracteriza por una ligera reducción del volumen, sin embargo, la ganancia de sólidos provoca que continúe la disminución en el contenido de humedad.



Grafica 6. Efecto de la concentración de sacarosa (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha) sobre las etapas de osmodeshidratación durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o : humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, V_t/V_o : volumen de la muestra tratada osmóticamente con respecto al volumen inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

No obstante, los cambios de presión de vacío en el sistema representan una gran influencia sobre los cambios de volumen y humedad. El pulso de vacío de 10 y 20 min modifican el comportamiento de las etapas durante la deshidratación osmótica, desplazando las etapas a menores contenidos de humedad, lo cual significa que el uso de pulso de vacío en los procesos osmóticos permite la eliminación de mayores cantidades de agua libre gracias al acoplamiento de los fenómenos deformación-relajación y el mecanismo hidrodinámico.

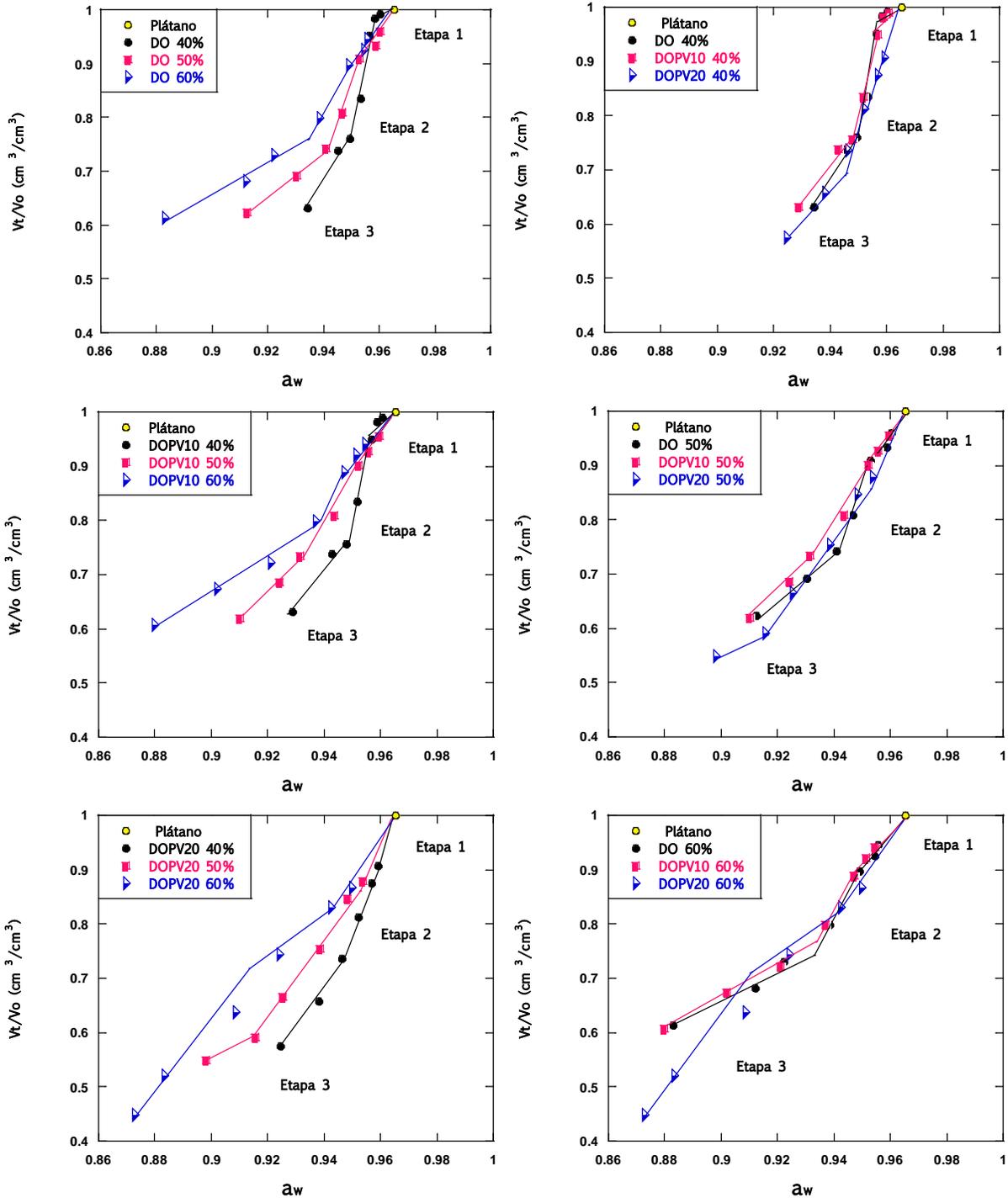
En la Etapa 1 (Grafica 6) el gas ocluido en los poros sufre una expansión para equilibrarse con la presión de vacío impuesta en el sistema, como consecuencia se presenta la desgasificación de la estructura porosa del material biológico (fenómeno deformación-relajación), al mismo tiempo el líquido penetra por capilaridad una vez que se alcanza el equilibrio de presiones en el sistema (mecanismo hidrodinámico). Cuando la presión atmosférica se restituye, se genera un nuevo gradiente de presiones que actúan como una fuerza impulsora generando el llenado parcial de los poros. La entrada de líquido externo en el tejido del material biológico representa un aumento de la superficie de contacto alimento-solución dentro de los espacios intercelulares del producto, ocasionando la plasmólisis de un mayor número de células internas en comparación con el proceso atmosférico, en donde dicho fenómeno ocurre solo en las células externas. Las Etapas 2 y 3 (Grafica 6) en los procesos con pulso de vacío implican los mismos cambios a nivel celular registrados en los procesos realizados a presión atmosférica; sin embargo, se percibe un mayor grado de deshidratación y encogimiento. Por otra parte, es importante mencionar que el encogimiento de las placas de plátano en los tratamientos con 10 min de pulso de vacío es similar al registrado por los tratamientos realizados a presión atmosférica.

Las gráficas de cambio en el volumen (V_t/V_o) vs humedad (X_t/X_o) son adecuadas para relacionar los cambios microscópicos con los cambios macroscópicos que ocurren en el alimento y que afectan la transferencia de masa durante el proceso de osmodeshidratación.

La humedad de un alimento se refiere al total del agua contenido en este. Sin embargo, el agua contenida en la estructura de los materiales vegetales se encuentra distribuida de manera heterogénea, es decir, posee diferentes estados energéticos, lo que

significa que no toda el agua enlazada en los sólidos del producto tiene las mismas propiedades fisicoquímicas. El agua contenida en el material biológico puede ser libre o ligada, esta última es aquella fracción unida fuertemente al alimento por medio de puentes de hidrogeno, mientras que el agua libre representa la fracción que tiene movilidad y está disponible para participar en distintas reacciones, por lo que es posible representar las etapas de la osmodeshidratación de las placas de plátano utilizando este último parámetro. La Grafica 7 presenta el efecto de la concentración de sacarosa en la solución osmótica y el pulso de vacío sobre las tres etapas de la deshidratación osmótica de placas de plátano utilizando la a_w . Durante la primera Etapa se registra el transporte pasivo de las moléculas de agua, desplazándose espontáneamente desde la vacuola a través de la membrana del sistema biológico a favor del gradiente de concentración, es decir, hacia la solución osmótica, por lo que la célula pierde el agua menos ligada a su estructura, trayendo con ello una deshidratación parcial que se refleja en la reducción de su volumen y a_w inferiores a 0.965 que esta la a_w del plátano fresco. La segunda etapa se caracteriza por una retracción del protoplasma y vacuola debido a la remoción de agua libre, ocasionando la pérdida total del turgor, por consiguiente la a_w y el volumen disminuyen. Finalmente, en la tercera etapa, la célula comienza a colapsar y se presenta una ligera reducción del volumen, sin embargo, la transferencia de sólidos solubles (sacarosa) de la solución osmótica a la célula, actúan como depresores de a_w . En esta etapa se presenta un drástico descenso de agua disponible para reacciones de deterioro en el alimento. Es importante hacer notar que la solución al 60% de sacarosa permite obtener placas de plátano con a_w menores a 0.9, siendo este el límite inferior para el crecimiento de la mayoría de las bacterias (Badui, 2006).

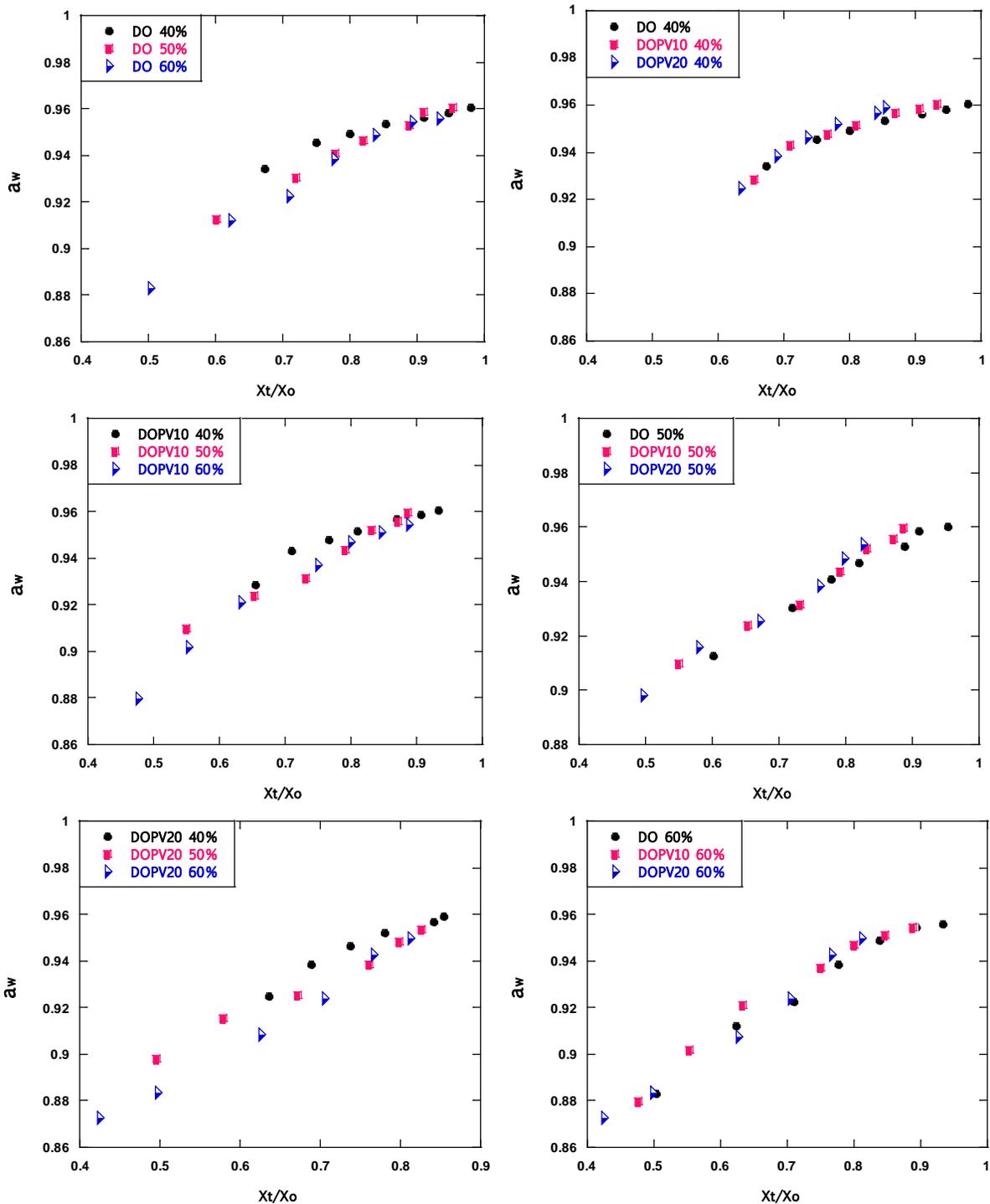
Por otra parte, el uso de pulso de vacío (Grafica 7, columna derecha) disminuye drásticamente la a_w en el alimento en comparación con los procesos realizados a presión atmosférica, esto se debe a que el pulso de vacío incrementa la superficie de secado gracias a la acción de los fenómenos deformación-relajación y mecanismo hidrodinámico, los cuales eliminan el gas atrapado en los poros del alimento e involucran la impregnación de una mayor cantidad de solución osmótica.



Grafica 7. Efecto de la concentración de sacarosa (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha) sobre las etapas de osmodeshidratación en función de la a_w durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. V_t/V_o : volumen de la muestra tratada osmóticamente con respecto al volumen inicial, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

De igual forma, se puede observar que el uso simultáneo de pulso de vacío prolongado (20 min) y altas concentraciones de sacarosa (60%) en la solución osmótica producen un efecto sinérgico, el cual disminuye de manera casi lineal la a_w y el volumen en las placas de plátano.

De acuerdo a lo expuesto en las Gráficas 6 y 7, las etapas de osmodeshidratación pueden ser representadas mediante el uso del contenido de humedad (X_t/X_o) o actividad de agua (a_w), sin embargo, ambos parámetros son diferentes entre sí ya que X_t/X_o representa el contenido de agua total en el producto al tiempo t de procesamiento, y la a_w es la relación entre la presión de vapor de agua de un producto y la presión de vapor del agua pura, a la misma temperatura (Boatella *et al.*, 2004). El contenido de agua (X_t/X_o) en los alimentos es uno de los factores que más influye en su conservación, aunque alimentos con el mismo contenido en agua pueden tener diferente a_w y sufrir un proceso de alteración diferente teniendo distintas vidas de anaquel, ya que su estabilidad está en función de la a_w (Badui, 2006). La Gráfica 8 muestra la disminución de la a_w en las placas de plátano durante la osmodeshidratación en función de la humedad. Al inicio del proceso osmótico las placas de plátano contienen grandes cantidades de agua libre atrapada en su estructura, lo cual se refleja en una elevada a_w (0.965). El proceso osmótico permite la difusión a contracorriente de agua y solutos a través del tejido del alimento, consecuentemente la presión de vapor disminuye, logrando que el contenido de agua en el alimento sea removida, ocasionando el decremento del agua disponible para reacciones de deterioro. Durante el tratamiento osmótico la a_w de las placas de plátano se reduce, mientras la a_w de la solución osmótica incrementa hasta que el equilibrio es alcanzado, de tal forma que las a_w de estas se igualan. Por otra parte, en esta misma gráfica se aprecia que a un mismo contenido de humedad se pueden obtener distintas a_w en las placas de plátano, demostrando que este último parámetro se modifica en función de la concentración de sacarosa de la solución osmótica. Esto se debe a la adición al sistema de sólidos (sacarosa) con capacidad para retener agua e inmovilizarla. Por otra parte, se observa que a un mismo tiempo de inmersión el pulso de vacío posibilita la obtención de plátanos con menor a_w y humedad.



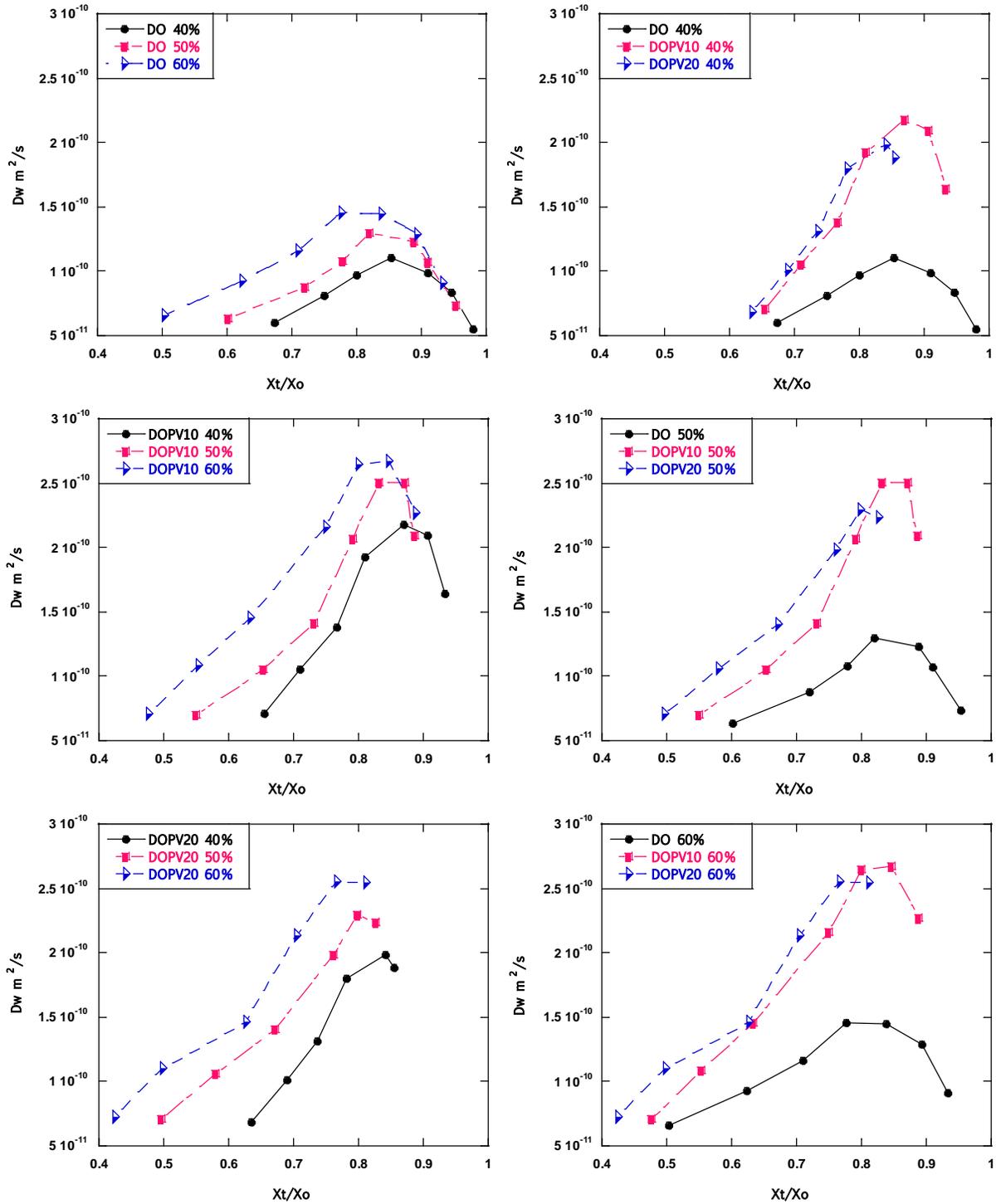
Grafica 8. Variación de humedad (X_t/X_o) y actividad de agua (a_w) con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

La medición de estos parámetros es de suma importancia debido a que la cantidad de agua en las placas de plátano a determinado tiempo (X_t/X_o), definirá la disponibilidad de agua (a_w) en el material biológico para interactuar con otros componentes.

6.3. Coeficientes de difusión de las moléculas de agua y sacarosa en placas de plátano

La difusividad de moléculas de agua y sólidos durante la deshidratación osmótica depende de la temperatura, concentración de la solución osmótica (asociado a propiedades físicas tales como densidad y viscosidad), tamaño y geometría del material y agitación del sistema (Corzo y Bracho, 2007). Sin embargo, Hernan *et al.* (2012) reconocen que la estructura del material biológico y los cambios que esta experimenta durante la osmodeshidratación también modifica la difusividad de agua y sólidos.

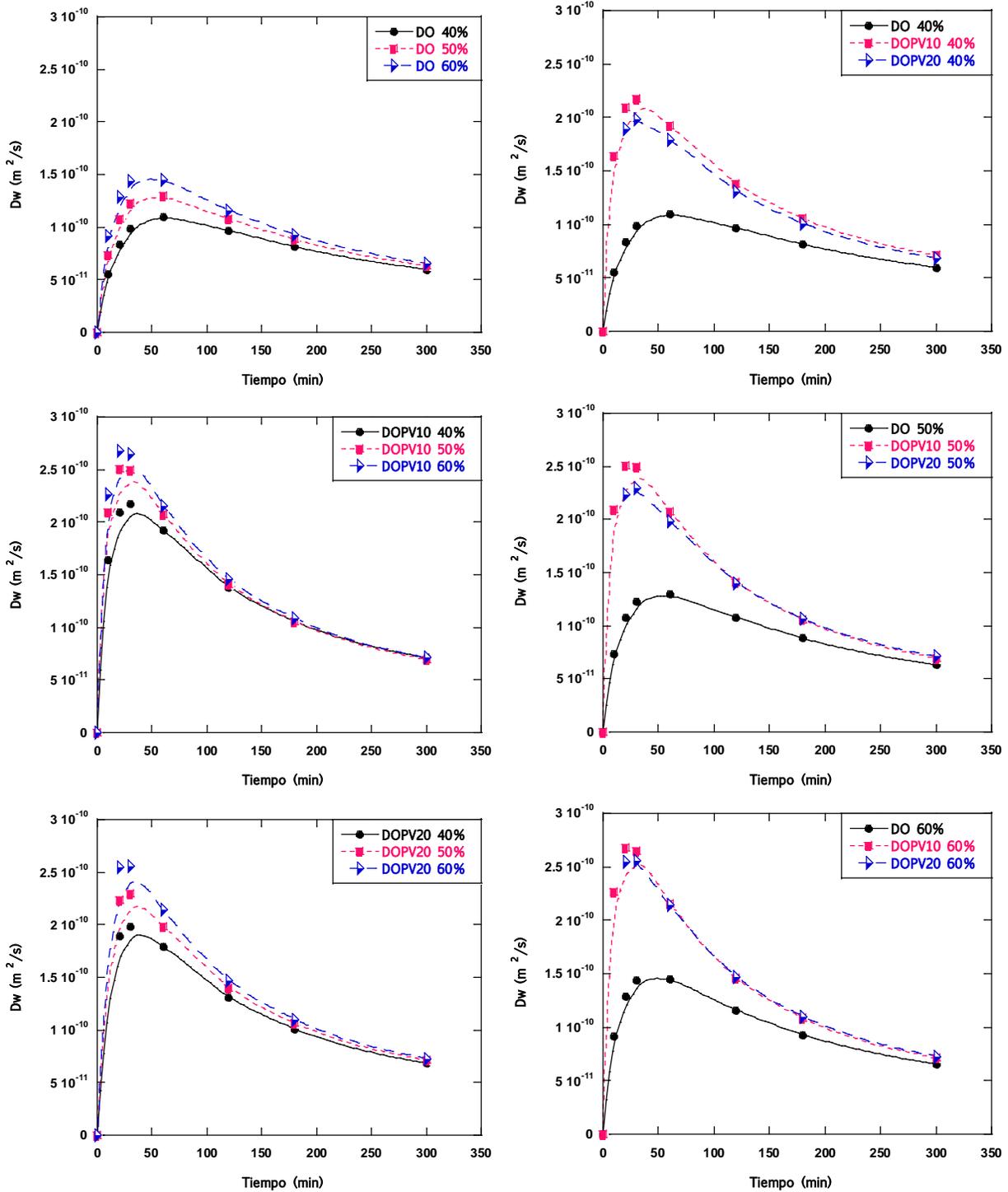
Al eliminar agua de las placas de plátano mediante deshidratación osmótica, ocurren grandes cambios que inducen modificaciones o destrucción de la estructura celular, lo que conlleva a diversas alteraciones en sus mecanismos de difusión de agua. La Grafica 9 muestra el efecto de las diferentes concentraciones de sacarosa en la solución osmótica sobre el coeficiente de difusión del agua en plátano obtenido con la Ecuación 7. Las curvas de difusión de agua en función de X_t/X_o presentan una zona de alto contenido de humedad donde los coeficientes de difusión son elevados. Flores *et al.*, (2009) estudiaron la transferencia de agua en la deshidratación osmótica de geles de agar a diferentes temperaturas, demostrando que el coeficiente de difusión aumenta con el incremento del contenido de humedad. Esta zona corresponde a la etapa 1 de la osmodeshidratación, en la cual la solución penetra al tejido por los espacios intercelulares conectados a la interface, en esta zona la deshidratación solo se lleva a cabo con las células en contacto con la solución de impregnación, por lo que la estructura del material biológico aún no ha sufrido grandes transformaciones. En el caso de las muestras tratadas con pulso de vacío al penetrar el líquido de impregnación, desaloja el aire ocluido en los poros del plátano, aumentando así la superficie de secado y por lo tanto la difusión de moléculas de agua.



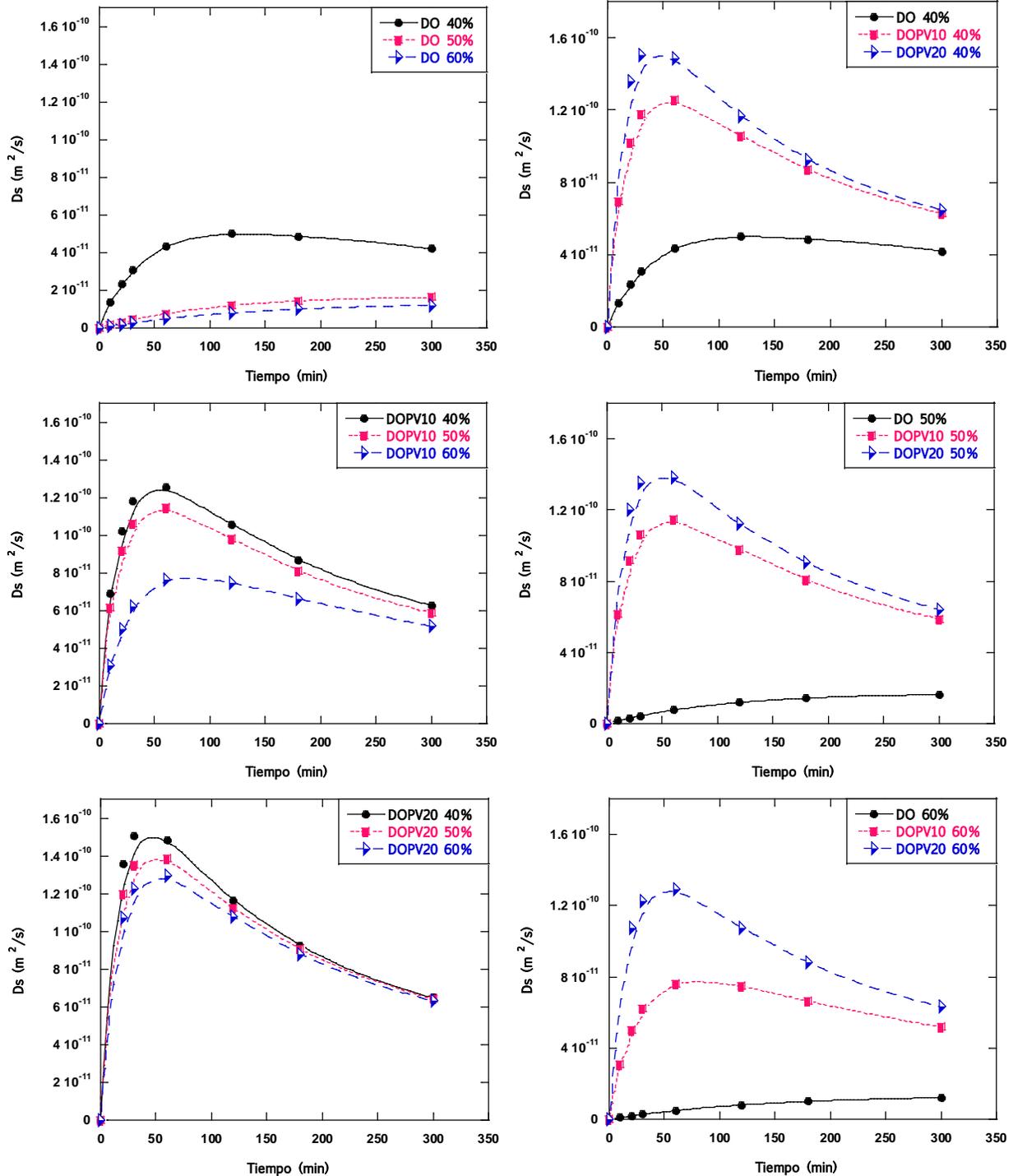
Grafica 9. Variación de D_w en función de la humedad con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. X_t/X_o : humedad de la muestra tratada osmóticamente con respecto a su humedad inicial, D_w : Coeficiente de difusión de agua, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

La Grafica 10 muestra la variación de los coeficientes de difusión del agua (D_w) en función del tiempo de inmersión. Los valores de D_w fueron de 8.3737×10^{-11} a $1.8573 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo similares a los del orden reportados por otros autores para la osmodeshidratación de plátano (Domeneghini *et al.*, 2011; Porciuncula *et al.*, 2013). De manera general se observa que durante los primeros 60 min las moléculas de agua contenidas en la solución de impregnación se difunden a través de la membrana semipermeable del material biológico sin grandes dificultades, lo cual promueve coeficientes de difusión elevados. Sin embargo, cuando el tiempo de osmodeshidratación se prolonga los coeficientes de difusión de agua fueron disminuyendo. Como se puede observar, la difusividad aparente depende de la concentración de soluto en la solución de impregnación, lo cual se asocia con cambios en las propiedades físicas de los alimentos, tales como la porosidad y la permeabilidad celular y como resultado aumenta la difusividad efectiva de moléculas de agua. Lo cual coincide con diversos autores, quienes demostraron que las altas concentraciones de soluto en la solución osmótica incrementan la transferencia de moléculas de agua (Falade *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2010; Lara *et al.*, 2012). Asimismo, se observa que el uso de pulso de vacío favorece la difusión de moléculas de agua en plátano, incrementando la tasa de difusión hasta en un 100% con respecto a los tratamientos realizados a presión atmosférica.

La Grafica 11 muestra el efecto de la concentración de la solución osmótica y el pulso de vacío sobre los coeficientes de difusión de sacarosa (D_s) en las placas de plátano. La difusividad aparente de sólidos contenidos en la solución de osmótica también se encuentra relacionada con los cambios estructurales que experimentan las placas de plátano durante la osmodeshidratación. El estrés osmótico ocasionado por las altas concentraciones de sacarosa en la solución osmótica resulta en la desintegración celular, promoviendo la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular. Por lo que, mediante el incremento de concentración en la solución de impregnación, los sólidos podrían acumularse más rápido sobre la superficie de las placas de plátano, añadiendo una resistencia para la transferencia de masa, lo cual se refleja en bajos coeficientes de difusión de sólidos.



Grafica 10. Variación de D_w con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. D_w : Coeficiente de difusión de agua, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.



Grafica 11. Variación de D_s con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. D_s : Coeficiente de difusión de sólidos, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Los valores D_s indican que las soluciones de impregnación con bajas concentraciones de soluto, presentan menor dificultad para atravesar la membrana semipermeable de las placas de plátano, lo cual puede ser debido a que las bajas concentraciones de sacarosa producen una relación óptima de viscosidad-concentración. Domeneghini *et al.* (2011) osmodeshidrataron cilindros de plátano a diferentes temperaturas y concentraciones de sal-sacarosa e informaron que el azúcar puede obstaculizar la entrada de sal en el tejido. Este comportamiento se explica por la formación de un gradiente de concentración alrededor del tejido debido a la azúcar que impide la entrada de sal en el producto o por una reducción de la permeabilidad celular durante la plasmólisis. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los de Lazarides *et al.*, (1985) quienes osmodeshidrataron manzanas y papas, encontrando que las altas concentraciones de solutos disminuyen la difusión de moléculas de sacarosa. Por otra parte, la Grafica 11 también muestra el efecto del uso de pulso de vacío, el cual incrementa la permeabilidad de la membrana de las placas de plátano produciendo espacios intercelulares que incrementan el contacto entre fases y facilita la entrada de moléculas de azúcar.

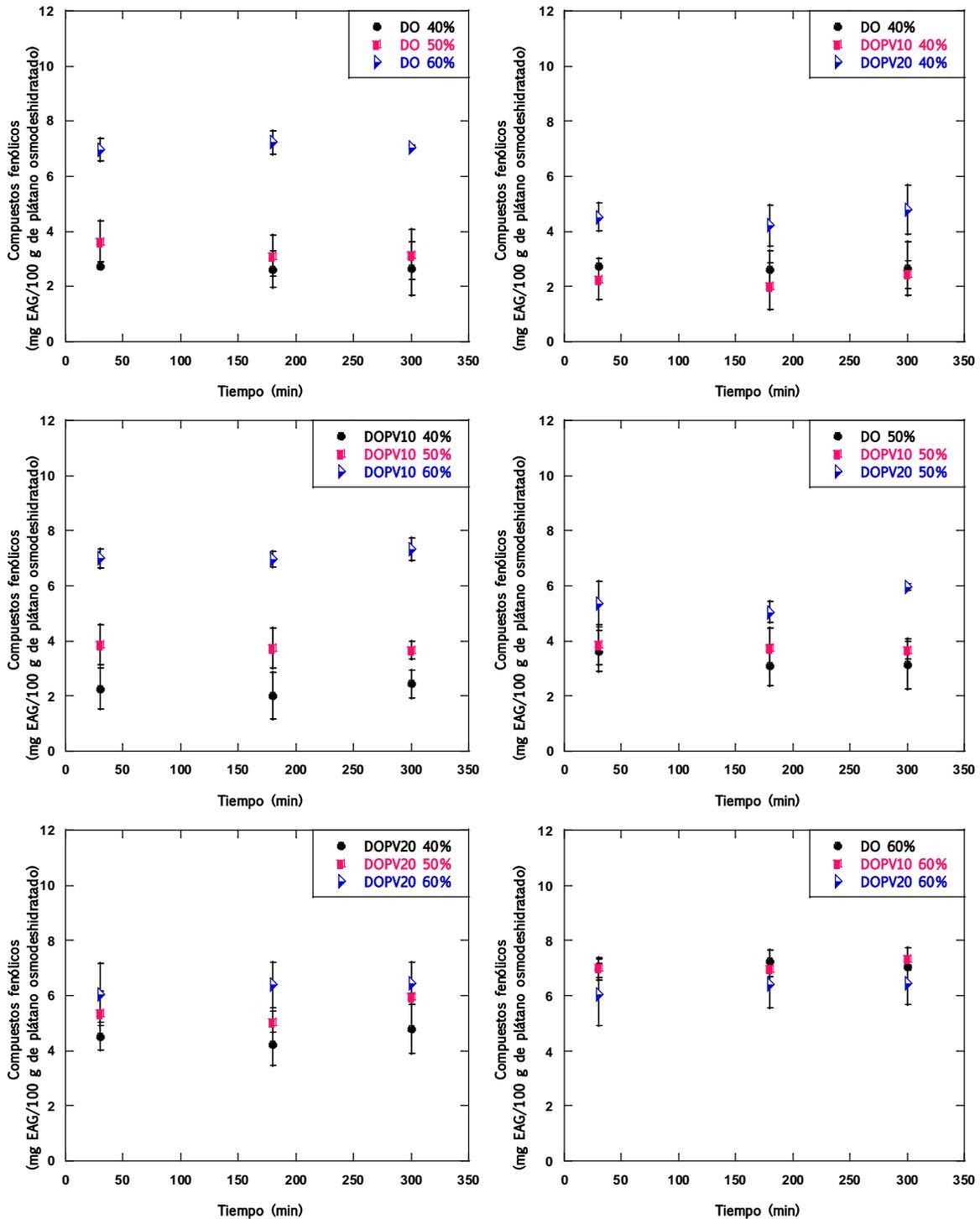
6.4. Efecto de la deshidratación sobre la actividad antioxidante en plátano con solución de sacarosa-emulsión.

Una de las ventajas del uso de la emulsión $W_1/O/W_2$ en las soluciones osmóticas con sacarosa, es que posibilita la incorporación de solutos deseados sobre la superficie e interior del tejido vegetal, sin destruir la matriz inicial del producto, ocupando una parte de su fracción porosa y modificando las propiedades funcionales, estructurales y nutricionales del alimento. En este estudio, la emulsión $W_1/O/W_2$ funciona como un sistema de protección que impide la degradación de compuestos fisiológicamente activos dispersos en sus compartimentos internos separados por una fase continua inmisible. Dentro de ella se encuentran encapsulados *L. rhamnosus* (W_2) y miel de abejas sin aguijón con alto contenido de compuestos fenólicos de elevada capacidad antioxidante (W_1).

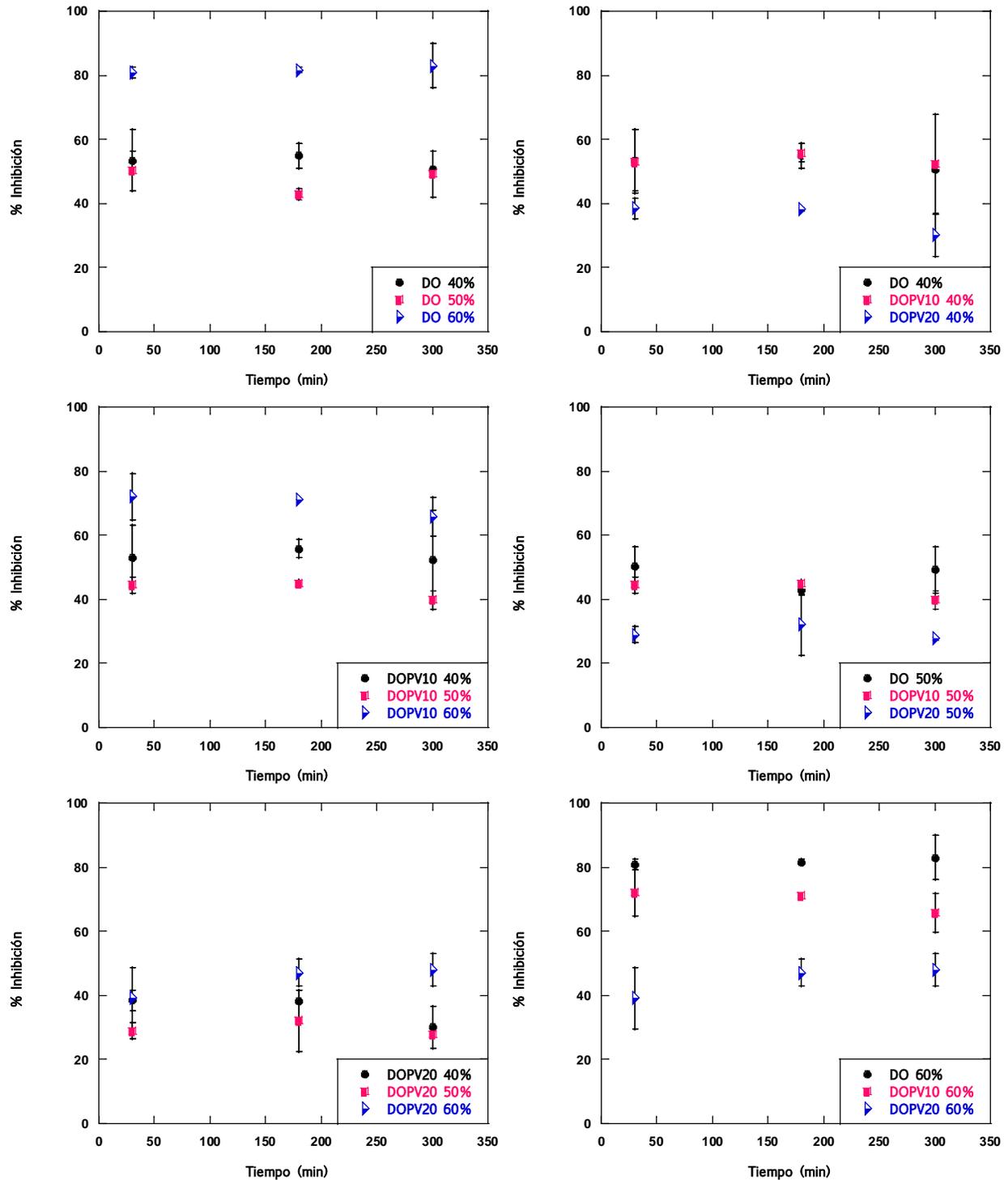
El contenido de compuestos fenólicos del plátano fresco fue de 2.99 ± 0.31 mg EAG/100 g de fruta fresca. Por su parte, la actividad antioxidante (% de inhibición) fue

de $49.94 \pm 5.59\%$, lo cual se atribuye principalmente a la presencia de compuestos fenólicos y ácido ascórbico (Lim *et al.*, 2007). Este resultado es similar al reportado por González *et al.* (2010) quienes evaluaron la actividad antioxidante en cascara de plátano obteniendo un valor de $44 \pm 8\%$. Las Gráficas 12 y 13 muestran el efecto de la concentración de sacarosa y el pulso de vacío sobre el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en plátano osmodeshidratado con solución de sacarosa-emulsión, respectivamente. Como se puede apreciar, el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante del plátano se mantienen constantes a lo largo del proceso de osmótico. En la Grafica 12, se observa que las concentraciones de sacarosa al 50 y 60 % en la solución osmótica inducen una mayor impregnación de compuestos fenólicos en el plátano. Rózek *et al.* (2009) compara el contenido de compuestos fenólicos totales en los alimentos vs alimentos osmo-tratados, reportan que el contenido de compuestos fenólicos totales es mayor o igual después del tratamiento osmótico. También, en la Grafica 13 se observa que la concentración de sacarosa al 60% provoca mayor actividad antioxidante en las placas de plátano, incrementando hasta en un 62% el porcentaje de inhibición en comparación con las otras soluciones osmóticas. Esto se debe al aumento de la fuerza impulsora de proceso que a su vez incrementa la transferencia de masa, promovido por la gran diferencia de concentración entre la solución osmótica y el interior de las muestras de plátano.

Por otra parte, el pulso de vacío disminuye el contenido de compuestos fenólicos (Grafica 12) y actividad antioxidante (Grafica 13) del plátano, en comparación con los tratamientos realizados a presión atmosférica. Los resultados muestran que la actividad antioxidante en las placas de plátano disminuye 20 y 46% para 10PV y 20PV, respectivamente. Esto se debe probablemente a que el uso de pulso de vacío ocasiona la salida de solutos propios del alimento (azúcares, ácidos, sales y vitaminas) hacia la solución, lo que puede afectar las características organolépticas y nutrimentales del producto (Lazarides, *et al.*, 2001; Chavarro *et al.*, 2006; Castro *et al.*, 2011). Sin embargo, Hironaka *et al.* (2011) afirman que se necesitan más estudios sobre las pérdidas reales de nutrientes (azúcares, fenoles) durante los tratamientos de osmodeshidratación con vacío.



Grafica 12. Variación de los compuestos fenólicos con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. mg/EAG: miligramos equivalentes de ácido gálico, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.



Grafica 13. Variación de la actividad antioxidante con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

6.5. Caracterización de la emulsión y solución de impregnación

La Figura 8 muestra la emulsión $W_1/O/W_2$, con *L. rhamnosus* disperso en la fase W_1 , con una morfología esférica con múltiples gotitas de agua en su interior clasificada como tipo C (Garti, 1997).

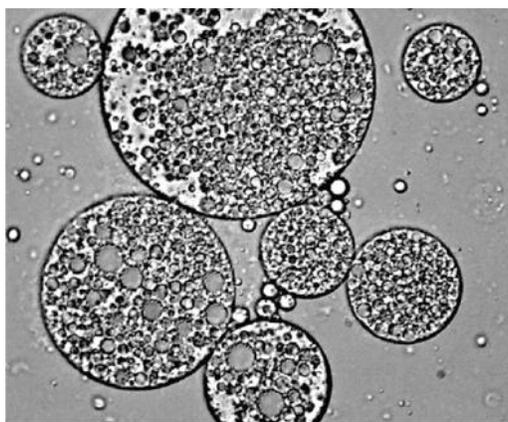
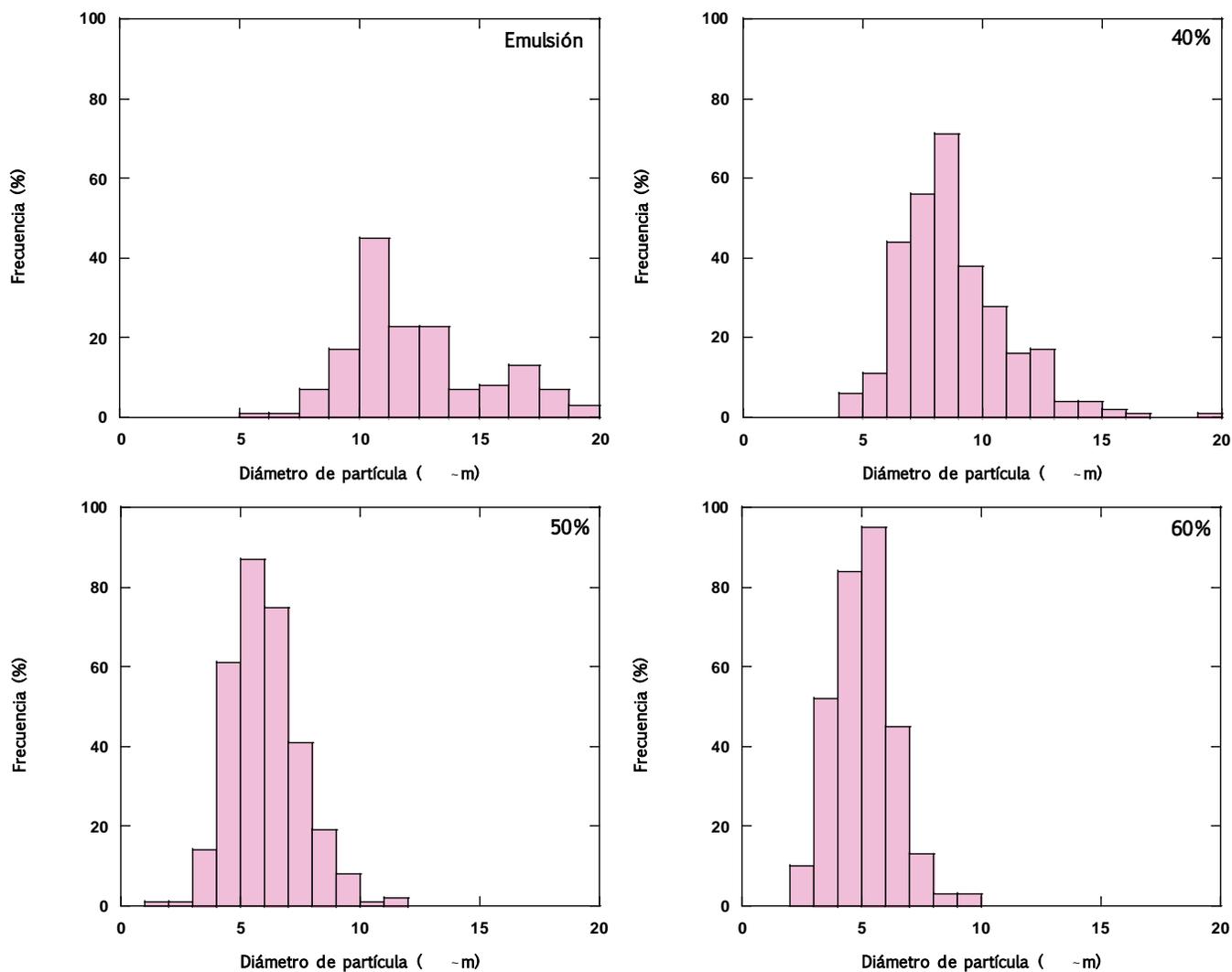


Figura 8. Micrografía de la emulsión $W_1/O/W_2$ inmediatamente después de su elaboración, observadas con microscopio óptico y magnificación de 100x.

La Grafica 14 muestra la distribución de los diámetros ($D_{1,0}$) de las emulsiones e indica el porcentaje en un rango de tamaños de la emulsión, la cual está dispersa en soluciones osmóticas a diferentes concentraciones de sacarosa. El tamaño promedio de la emulsión $W_1/O/W_2$ fue de $12.56 \pm 3.19 \mu\text{m}$, mientras que en las soluciones fueron de 8.74 ± 2.45 , 5.94 ± 1.48 , $4.98 \pm 1.24 \mu\text{m}$ a 40, 50 y 60% de sacarosa, respectivamente. Estos resultados muestran que al mezclar la emulsión con soluciones osmóticas existe una reducción del tamaño conforme incrementa la concentración de sacarosa. Probablemente se deba a que las altas concentraciones de sacarosa ejercen presión osmótica sobre la emulsión, por lo que la interfase (polímero) actúe como una membrana semipermeable y las moléculas de agua se desplazan espontáneamente a favor del gradiente de concentración, es decir, de la fase continua acuosa a la solución hipertónica. Esta modificación en la emulsión $W_1/O/W_2$ afecta el volumen, lo cual se refleja en la reducción de su tamaño.

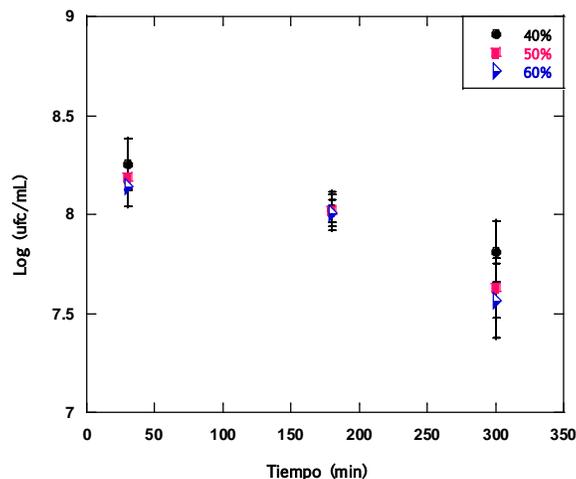


Grafica 14. Distribución de diámetro de la emulsión $W_1/O/W_2$ dispersa en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa.

Las distribuciones de frecuencias de tamaño oscilan entre 1 y 20 μm , abarcando los diámetros de emulsión reportados por Pimentel *et al.* (2009), quienes encapsularon *L. rhamnosus* en una emulsión doble del tipo $W_1/O/W_2$ con suero de leche y aceite de canola, y demostraron la presencia del microorganismo probiótico en las emulsiones con diámetros de gota de 8-10 μm . Asimismo coinciden con lo reportado por Rodriguez *et al.* (2014), quienes encapsularon *L. plantarum* en una emulsión doble con agua miel y proteína de suero de leche, y obtuvieron diámetros de 10-12 μm .

6.6. Viabilidad de *L. rhamnosus* en la solución osmótica de sacarosa-emulsión

Después de la activación de *L. rhamnosus* en caldo MRS el número de células viables fue de 9.48 ± 0.29 log (ufc/mL). Con base en este resultado, y de acuerdo a lo descrito en la metodología de la sección 5.2.3, se estimó que el número de células viables en la emulsión $W_1/O/W_2$ deberá ser de 9.05 log (ufc/g), lo que experimentalmente se comprobó obteniéndose una viabilidad de 9.05 log (ufc/g). Por lo tanto, al hacer la dilución 1:10, emulsión: solución de sacarosa, la carga de células viables fue de 8.09 log (ufc/mL). En la Grafica 15 se observa la viabilidad de *L. rhamnosus* en las soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa durante 30, 180 y 300 min.



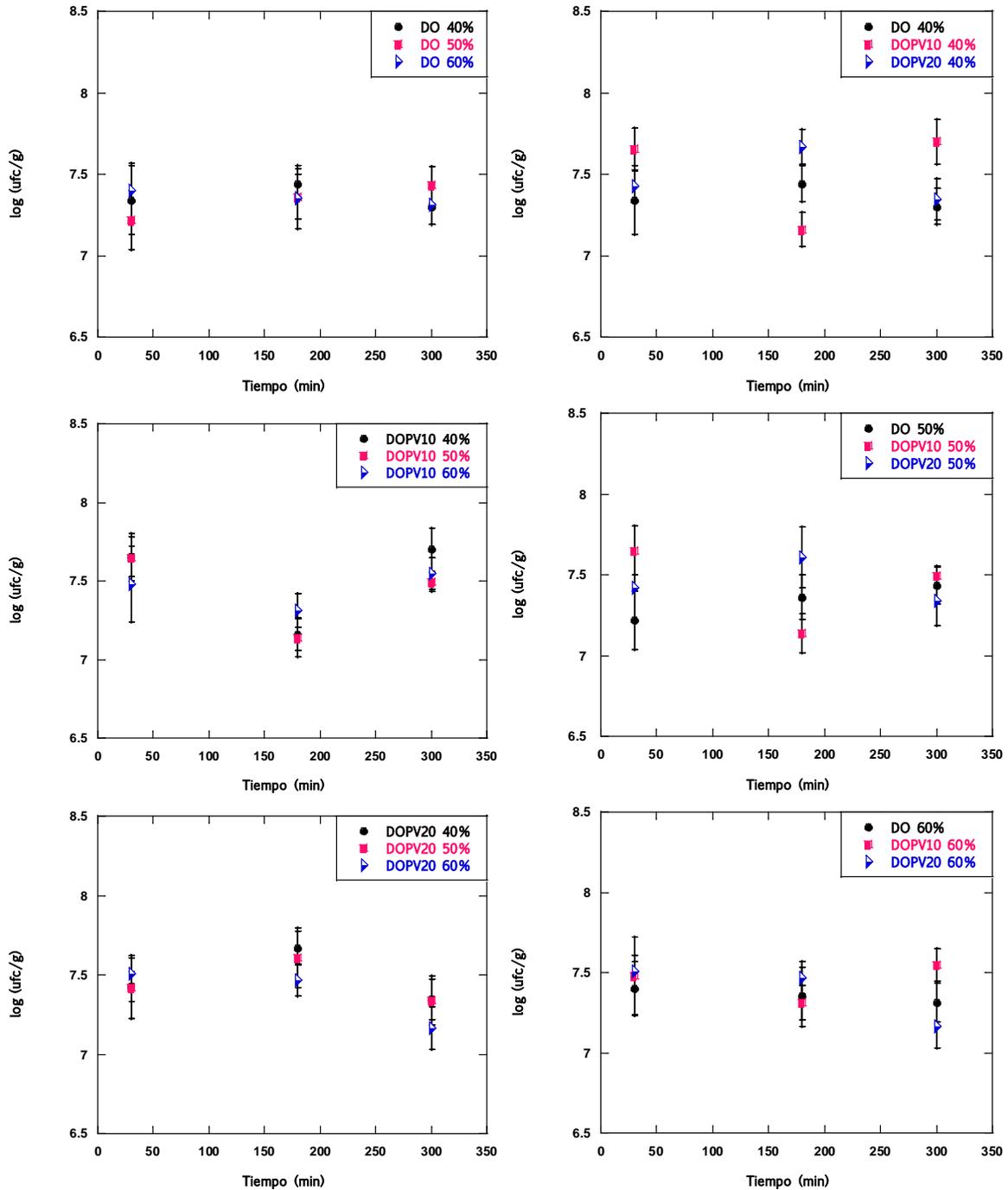
Grafica 15. Viabilidad de *L. rhamnosus* encapsulado en la emulsión $W_1/O/W_2$, disperso en soluciones osmóticas al 40, 50 y 60% de sacarosa a 35°C.

Se puede observar que la viabilidad celular del probiótico en las soluciones osmóticas fue cercano al valor estimado de 8.09 log (ufc/mL), confirmando los cálculos antes mencionados. De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla A6, Anexo) el tiempo de

inmersión tiene mayor efecto (valor-p <0.05) sobre la viabilidad de *L. rhamnosus* encapsulado en la emulsión $W_1/O/W_2$ en comparación con la concentración. La reducción del número de células viables se debe probablemente al estrés osmótico que generan los diferentes gradientes de concentración sobre el microorganismo. No obstante, la membrana líquida de la emulsión $W_1/O/W_2$ actúa como un recubrimiento que le confiere protección al microorganismo probiótico, permitiendo el uso de este en procesos de deshidratación osmótica. La literatura existente hasta el momento sobre impregnación de probióticos en tejidos vegetales, indica que utilizan soluciones isotónicas y células libres en la solución en un rango de entre 7 y 10 log ufc/mL (Betoret *et al.*, 2003; Rößle *et al.*, 2010; Alegre *et al.*, 2011; Betoret *et al.*, 2012). Estas condiciones pudieran ser una limitante para el procesamiento de tejidos vegetales si lo que se requiere es remover grandes cantidades de agua del material biológico, ya que sería necesario el uso de altas concentraciones en la solución osmótica y tiempos largos de procesamiento que pudieran resultar con efectos negativos en la viabilidad del microorganismo. Por lo tanto, los resultados experimentales obtenidos en el presente estudio indican que las soluciones hipertónicas de sacarosa-emulsión son apropiadas para realizar la deshidratación osmótica por periodos prolongados (hasta 300 min) de placas de plátano con propiedades funcionales.

6.7. Viabilidad de *L. rhamnosus* en placas de plátano osmodeshidratadas

La Grafica 16 muestra el número de células viables impregnadas en plátano osmodeshidratado con y sin pulso de vacío en soluciones de sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60%, durante tiempos de 35, 180 y 300 min a 35 °C, respectivamente.



Grafica 16. Variación de la viabilidad de *L. rhamnosus* con la concentración (columna izquierda) y pulso de vacío (columna derecha), durante la deshidratación osmótica de placas de plátano en una solución sacarosa-emulsión al 40, 50 y 60% de sacarosa. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Se puede apreciar que el contenido microbiano permanece prácticamente constante a las diferentes concentraciones de sacarosa, lo cual sugiere que la emulsión ejerció un efecto protector sobre la viabilidad del microorganismo probiótico ante el estrés osmótico de la solución.

Esto indica que la encapsulación de *L. rhamnosus* en la emulsión $W_1/O/W_2$ permite el uso de soluciones hipertónicas para incrementar la remoción de agua en el tejido vegetal del material biológico y produciendo alimentos con bajos contenidos de humedad y mayor vida de anaquel.

El análisis de varianza (Tabla A7, Anexo) muestra que el tiempo de inmersión, la concentración de sacarosa en la solución osmótica y el uso de pulso de vacío no representaron efecto significativo (valor-p <0.05) sobre la viabilidad de *L. rhamnosus* encapsulado en la emulsión $W_1/O/W_2$. No obstante, el Cuadro 8, muestra los valores promedio de células viables de *L. rhamnosus* en placas de plátano sin considerar el tiempo de procesamiento.

Cuadro 8. Viabilidad de *L. rhamnosus* en las placas de plátano osmodeshidratadas a diferentes condiciones de tratamiento.

Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i>			
Concentración de sacarosa	Proceso osmótico		
	DO	DOPV10	DOPV20
	log (ufc/g)	log (ufc/g)	log (ufc/g)
40 %	7.36	7.50	7.47
50 %	7.33	7.42	7.45
60 %	7.35	7.44	7.37

DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

En todos los casos, la viabilidad fue superior a 7 log (ufc/g). Esto se debe a la adherencia superficial y a la impregnación del probiótico en los espacios intercelulares hasta aproximadamente 100 a 150 μm (Figura 9).

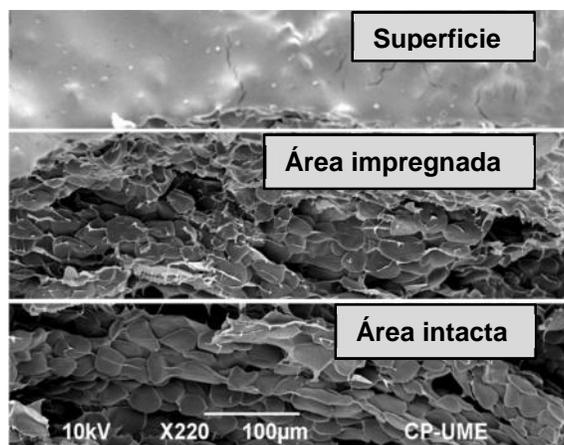


Figura 9. Micrografía SEM mostrando la presencia de emulsión $W_1/O/W_2$ en la interfase de plátano osmodeshidratado con solución de impregnación sacarosa-emulsión.

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan que la emulsión $W_1/O/W_2$ sirve como vehículo para impregnar en el plátano células viables superior a 7 log (ufc/g) sin importar las condiciones del tratamiento osmótico. Debido a esto, el producto tiene potenciales propiedades funcionales para el consumidor. Además, el uso de la emulsión permite la selección de las condiciones del tratamiento osmótico, que dependerá de las características sensoriales y del balance SG y WFL que se deseen en el producto final.

El Cuadro 9 muestra el número de células viables impregnadas en plátano liofilizado, previamente osmodeshidratado con y sin pulso de vacío en soluciones de impregnación sacarosa-emulsión a 40, 50 y 60% de sacarosa, durante 30 min a 35°C. De acuerdo al análisis de varianza (Tabla A8, Anexo), la concentración de sacarosa no tuvo efecto significativo sobre la viabilidad de *L. rhamnosus* en plátano. En cambio, si se observó efecto significativo en la aplicación de pulso de vacío (10PV y 20PV). El uso de pulso de vacío durante el tratamiento osmótico permite una mayor adherencia y/o impregnación del microorganismo en plátano.

Cuadro 9. Viabilidad de *L. rhamnosus* en las placas de plátano liofilizado, previamente osmodeshidratado a diferentes concentraciones y pulso de vacío.

Viabilidad de <i>L. rhamnosus</i>			
Concentración de sacarosa	Proceso osmótico		
	DO log (ufc/g)	DOPV10 log (ufc/g)	DOPV20 log (ufc/g)
40 %	7.90	8.03	8.10
50 %	8.14	7.99	8.04
60 %	7.96	7.86	8.12

DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

La deshidratación osmótica atmosférica también permitió la adherencia superficial de microorganismos probióticos en el tejido vegetal de plátano a niveles entre 7 y 8 log (ufc/g).

Estos resultados sugieren que la emulsión puede actuar como vehículo para incorporar probióticos y CFA en un tejido vegetal. Además, la membrana de la emulsión protege al microorganismo probiótico del estrés osmótico de las soluciones hipertónicas, lo que puede utilizarse para balancear la WFL o SG (WFL/SG) del producto. Además de ello, la emulsión $W_1/O/W_2$ le confiere un efecto crioprotector ante las bajas temperaturas de almacenamiento, por ejemplo a -86 °C durante el proceso de liofilización, lo cual se ve reflejado en viabilidades de hasta 8 log (ufc/g).

El análisis de microscopia de barrido muestra la presencia de microcápsulas de emulsión $W_1/O/W_2$ sobre la superficie de las células (Figura 10). Estas microcápsulas son producto de un proceso de sublimación de agua en las membranas líquidas de la emulsión debido al proceso de liofilización.

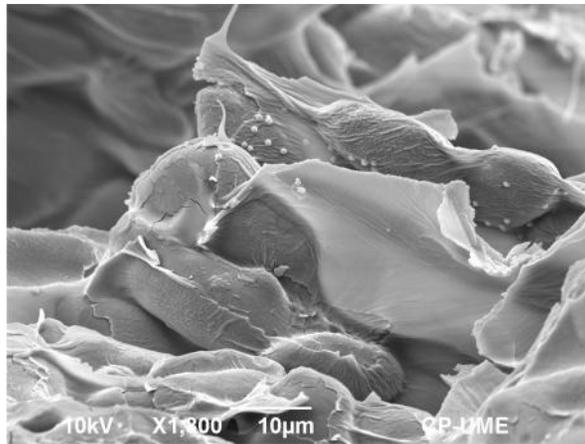


Figura 10. Micrografía de barrido de la interfase de plátano liofilizado previamente osmodeshidratado con solución sacarosa-emulsión por 30 min a 35 °C.

El uso de métodos combinados como la deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío y la liofilización, juega un papel importante en el desarrollo de una nueva generación de alimentos a partir de la microencapsulación intercelular de compuestos fisiológicamente activos que modifiquen sus propiedades funcionales, estructurales y nutricionales. Varios trabajos han propuesto esta alternativa (Esteves, 2013) y el proceso general se representa en la Figura 11.

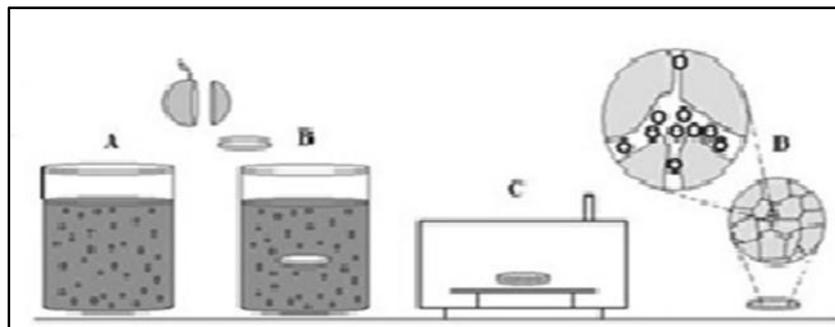


Figura 11. Esquema del proceso de impregnación-deshidratación. A: preparación de la emulsión, B: deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV) o sin pulso de vacío (DO), C: liofilización, D: producto final impregnado con microcápsulas. (Tomado de Esteves, 2013).

El tratamiento osmótico induce la transferencia de agua, sólidos y cambios en la estructura celular del material biológico los cuales están en función de las variables del proceso (Chiralt y Talents, 2005). Estos cambios se perciben visualmente de forma macroscópica en la Figura 12, donde se muestran las placas de plátano liofilizado previamente osmodeshidratadas a diferentes condiciones. Se observa que el uso de pulso de vacío reduce considerablemente el volumen de las placas de plátano haciéndolas más susceptibles a la fractura, asimismo, cuando este se combina con una solución osmótica al 60% de sacarosa, la pérdida de volumen es más evidente, por lo que las placas de plátano presentan un tamaño inferior con respecto a las procesadas a presión atmosférica. Esto se debe a que el uso de pulso de vacío ejerce efecto de los fenómenos deformación-relajación en las muestras biológicas, debido al intercambio de gas ocluido en los poros por solución osmótica (Chiralt y Fito, 2003).

No obstante, en la Figura 12, también se observa que los tratamientos realizados a presión atmosférica no presentan cambios visibles en su volumen ni fracturas sobre su superficie; además de presentar una mejor apariencia en comparación con los tratamientos realizados con pulsos de vacío.

Por otra parte, la Figura 12 muestra que las placas de plátano osmodeshidratadas con solución osmótica al 60% de sacarosa exhiben la formación de una película sobre la superficie del plátano. Esto es posible debido al alto contenido de sólidos solubles en la solución osmótica que incrementan su viscosidad.

La aplicación de películas o recubrimientos comestibles en alimentos mínimamente procesados es una tecnología que permite prolongar la conservación y la calidad de estos. No solo constituyen barreras que reducen la permeabilidad e intercambio de moléculas con el ambiente, sino que además son un excelente vehículo para la incorporación de aditivos alimentarios. En este caso, el desarrollo de recubrimientos enriquecidos con probióticos utilizando DO representa potenciales beneficios para la salud del consumidor.

Plátano osmodeshidratado y liofilizado

Proceso de osmodeshidratación

Concentración de sacarosa	DO	DOPV10	DOPV20
40 %			
50 %			
60 %			

Figura 12. Plátano liofilizado previamente osmodeshidratado a diferentes condiciones. DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

6.8. Presencia de la emulsión en el plátano osmodeshidratado

La Figura 13 corresponde a la micrografía electrónica de barrido (SEM) de un corte transversal de tejido parenquimatoso de plátano liofilizado sin tratamiento osmótico, utilizado como muestra control y en donde se observa el tamaño de los espacios intracelulares de aproximadamente 50 μm . En el interior de estos se observan gránulos de almidón.

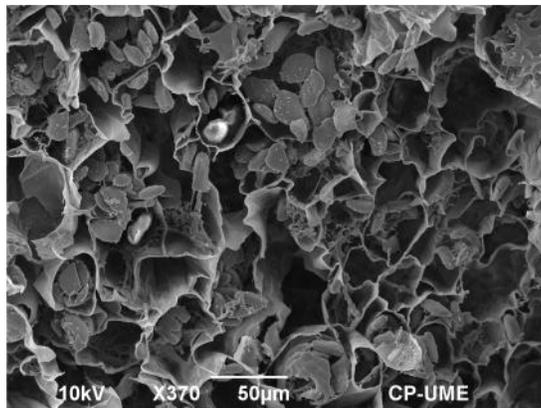


Figura 13. Micrografías SEM de un corte transversal de la estructura de plátano liofilizado sin tratamiento osmótico.

Durante el tratamiento osmótico se eliminó el gas ocluido en los espacios intercelulares del tejido vegetal lo cual permite que las partículas de la emulsión $W_1/O/W_2$, que presentan un tamaño que oscilan entre 1 y 20 μm , se adhieran y/o penetren los espacios intracelulares a una profundidad de 100 a 150 μm , sin importar el tratamiento de osmodeshidratación como se observa en las micrografías SEM de la interfase del plátano (Figura 14). Se puede observar que la estructura celular interna está intacta posterior al tratamiento osmótico, lo que indica que la solución no penetra más allá de 150 μm en la parte interna del tejido celular. Particularmente, las micrografías SEM de la superficie de plátano (Figura 15) muestran que conforme incrementa la concentración de sacarosa en la solución osmótica, se forma un recubrimiento denso sobre la superficie de las muestras, en donde se logra observar que la emulsión tiende a acumularse formando una capa compacta que presenta la apariencia de un recubrimiento.

Proceso de osmodeshidratación

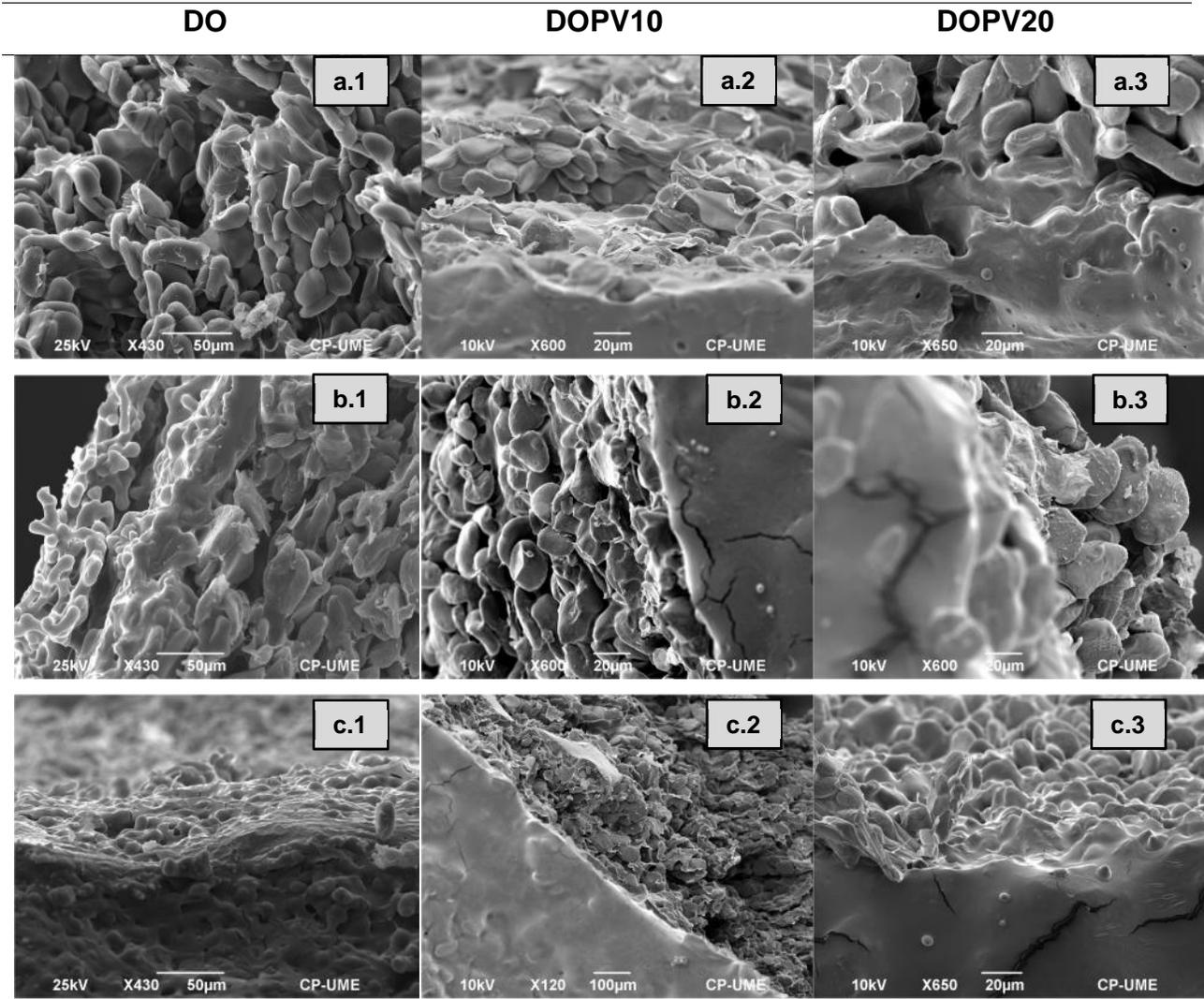


Figura 14. Micrografías SEM de la interfase de plátano osmodeshidratado a diferentes condiciones de tratamiento. a.1-a.3: solución osmótica al 40 % de sacarosa, b.1-b.3: solución osmótica al 50 % de sacarosa, c.1-c.3: solución osmótica al 60 % de sacarosa, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Flores *et al.* (2013) estudiaron la transferencia de masa en placas de manzana en mezclas acuosas de sacarosa-proteína de suero de leche, y explicaron que la ganancia

de sólidos se deba a la entrada de sacarosa, ya que su peso molecular es inferior al de la proteína, por lo que esta última tiende acumularse alrededor de la manzana.

Proceso de osmodeshidratación

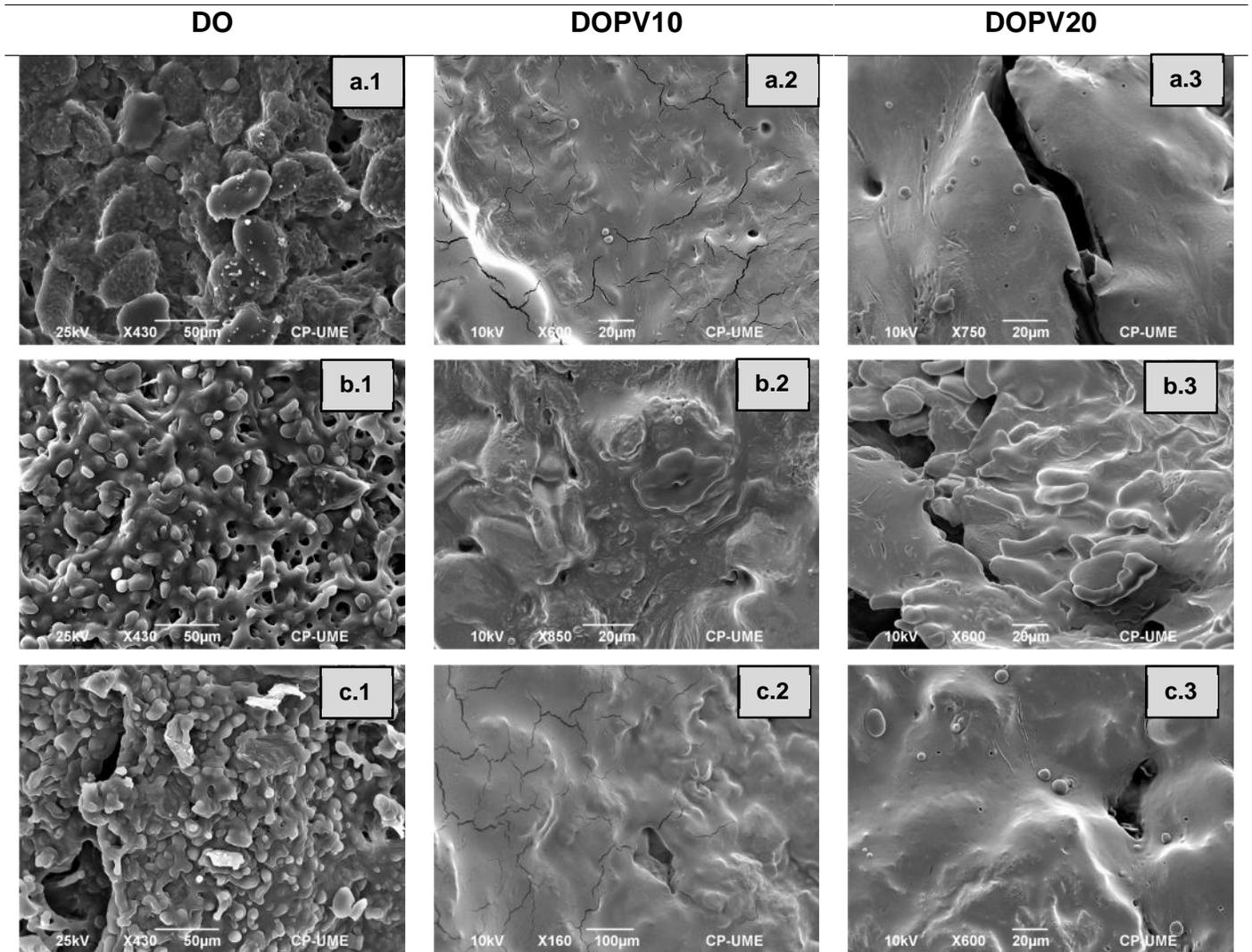


Figura 15. Micrografías SEM de la superficie de placas de plátano osmodeshidratadas a diferentes condiciones de tratamiento. a.1-a.3: solución osmótica al 40 % de sacarosa, b.1-b.3: solución osmótica al 50 % de sacarosa, c.1-c.3: solución osmótica al 60 % de sacarosa, DO: proceso osmótico a presión atmosférica, DOPV10 y DOPV20 proceso osmótico con la aplicación de pulsos de vacío durante 10 y 20 minutos, respectivamente.

Los resultados de este estudio reflejan que los diferentes tratamientos osmóticos permiten la adhesión de probióticos a modo de un recubrimiento y la impregnación en el tejido vegetal alrededor de 100 a 150 μm . En este sentido, es importante notar que el uso de emulsiones $W_1/O/W_2$ son un vehículo apropiado para la incorporación de un sistema multifuncional compuesto por microorganismos probióticos y biomoléculas antioxidantes, y poseen gran potencial de aplicación para la formación de recubrimientos en alimentos mínimamente procesados, principalmente frutas y hortalizas troceadas y empacadas. El tratamiento osmótico y el uso de pulso de vacío es aplicable para alimentos mínimamente procesados por sus cualidades de disminuir los niveles de O_2 , debido a que causa una alteración estructural, ocasionada por el intercambio del gas ocluido en los poros por el líquido externo, afectando los niveles de respiración de frutas mínimamente procesadas y, por tanto, influye en la vida útil de los productos. Además de ser un medio para incorporar en la estructura compuestos funcionales que puedan mejorar las cualidades organolépticas y nutricionales del producto. Betoret *et al.* (2012) reconoce que los recubrimientos tienen un alto potencial para incorporar ingredientes activos en tejidos vegetales, los cuales pueden ampliar la vida útil del producto y proporcionar nutrientes específicos que afectan beneficiosamente una o más funciones del cuerpo humano. Por el contrario, escasos estudios reportan el efecto de la adición de probióticos para obtener recubrimientos funcionales, uno de ellos es el de Tapia *et al.* (2007) quienes desarrollaron recubrimientos probióticos con alginato y gellan conteniendo en manzana y papaya recién cortada con un contenido de 6 log (ufc/g) de *Bifidobacterium lactis* Bb-12.

Una de las ventajas del uso de la emulsión $W_1/O/W_2$ utilizada en este estudio es que la presencia de proteína de suero de leche en su interior, mejora la flexibilidad del recubrimiento aumentando el volumen libre y el espaciado intermolecular (Tapia *et al.*, 2007). Además de que Yang y Paulson (2000) aluden que el uso de lípidos (aceite de uva) y antioxidantes (compuestos fenólicos de la miel de abeja sin aguijón) a menudo son incluidos en las formulaciones de recubrimientos para mejorar sus propiedades de barrera contra el vapor de la humedad y el oxígeno, y para ayudar a prevenir la oxidación y degradación cuando se cubren tejidos vegetales.

7. CONCLUSIONES

Las cinéticas de transferencia de masa en el fruto de plátano deshidratado osmóticamente en soluciones de sacarosa-emulsión, fueron afectadas por la concentración de sacarosa y aplicación del pulso de vacío al inicio del proceso. El pulso de vacío en combinación con una mayor concentración de sacarosa en la solución osmótica, produjo una mayor velocidad de pérdida de agua (WFL) y ganancia de sólidos (SG) en placas de plátano.

Los cambios fisicoquímicos en el tejido celular, tales como sólidos solubles (°Brix), actividad de agua (a_w) y contenido de humedad (X_t/X_o), fueron afectados por la concentración de sacarosa en la solución osmótica, el tiempo de inmersión y pulso de vacío. El pulso de vacío permitió producir muestras con mayor contenido de sólidos solubles, menor actividad de agua y baja humedad en comparación con el proceso osmótico realizado en condiciones atmosféricas.

Las gráficas de encogimiento (V_t/V_o) vs contenido de humedad (X_t/X_o) y encogimiento (V_t/V_o) vs actividad de agua (a_w) mostraron el comportamiento de la compleja estructura del material biológico, el cual, al ser sometidos a un proceso osmótico atraviesa por diferentes cambios estructurales representados en tres etapas que se modifican en función de las variables del proceso osmótico (pulso de vacío y concentración de sacarosa en la solución osmótica).

Los coeficientes de agua y sacarosa indican que el proceso de difusión fue controlado por la concentración de la solución osmótica y asociado a efectos físicos tales como mecanismos de barrera y cambios estructurales. Los valores fueron de 8.3737×10^{-11} a $1.8573 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para agua, y estos incrementan directamente con la concentración de sacarosa. Un efecto opuesto se registra en los coeficientes de sólidos que varían de 5.8302×10^{-12} a $1.1813 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

La emulsión presentó una marcada reducción del diámetro cuando esta se encontró en un medio hipertónico. Sin embargo, la estabilidad de la emulsión permitió la transferencia de agua y sólidos durante el proceso osmótico, siendo útil para la incorporación de *L. rhamnosus* y compuestos fenólicos, en el tejido celular del plátano.

El proceso de deshidratación osmótica con soluciones de sacarosa-emulsión con y sin pulso de vacío fue exitoso para incorporar *L. rhamnosus* y miel de abejas sin aguijón

con alto contenido de compuestos fenólicos de elevada capacidad antioxidante en el tejido de plátano.

El contenido microbiano del *L. rhamnosus* en la emulsión $W_1/O/W_2$ fue de 9 log (ufc/g), y la sobrevivencia del microorganismo al estrés osmótico de las soluciones concentradas de sacarosa se debió al efecto protector de la emulsión.

La emulsión ayuda a que el tejido celular vegetal pueda ser deshidratado osmóticamente con y sin pulso de vacío, haciendo uso de soluciones osmóticas hipertónicas y obtenerse alimentos con recubrimientos funcionales con un total de 7 log (ufc/g) de células viables de *L.rhamnosus*, con un cierto balance WFL/SG dependiendo de las características sensoriales que se desean en el producto final.

El análisis de microscopia SEM permitió visualizar la presencia de microcápsulas en el tejido intercelular de plátano liofilizado previamente osmodeshidratado. Las microcápsulas fueron producidas debido a la sublimación de agua, a partir de las membranas líquidas de la emulsión $W_1/O/W_2$. Este hallazgo permite concluir que el uso de métodos combinados como la deshidratación osmótica con y sin pulso de vacío y la liofilización, juega un papel importante en el desarrollo de una nueva generación de alimentos a partir de la microencapsulación intercelular de compuestos fisiológicamente activos que modifiquen sus propiedades funcionales, estructurales y nutricionales.

8. REFERENCIAS

- Alzamora, S. M., Salvatori, D., Tapia, M. S., López-Malo, A., Welti-Chanes, J. and P. Fito. 2005. Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering* 67:205-214.
- Angón, P., Santos, N. F. y C. G. Hernández. 2006. Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de ciencia y tecnología* 10:3-8.
- Aranberri, I., Binks, B., Clint, J. y P.D. Fletcher. 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 7:211-231.
- Araya H. y M. Lutz. 2003. Alimentos funcionales y saludables. *Revista Chilena de Nutrición* 30.
- Armas, M.J., Armas, M.C. y R. Hernández. 2006. La hipertensión en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Hipertensión* 1:10-17.
- Arreola, S.I. y M. E. Rosas. 2007. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*). *Información Tecnológica* 2:43-48.
- Atares, L., Sousa, M.J. and F.A.R. Oliveira. 2011. Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated. *Journal of Food Engineering* 103:401-408.
- Avello, M. y M. Suwalsky. 2006. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea* 494:161-172.
- Azuara E., Beristain C., and G. Gutiérrez. 1998. A Method for Continuous Kinetic Evaluation of Osmotic Dehydration. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 31:317–321.

- Azuara, E., Beristain, C. I., and G. F. Gutiérrez. 2002. Concentrated sucrose/maltodextrin solutions. *Journal of Food Processing Preservation* 26:295-306.
- Azuara, E., Cortés, R., Garcia, H. S. and C. I. Beristain. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law. *International Journal of Food Science and Technology* 27:409–418.
- Azuara, E., Cortes, R., García, H. and C. Beristain. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science and Technology* 27:409-418.
- Badui, S. 2006. *Química de los alimentos*. 4^a Ed. Pearson Educación. México.
- Boatella, J., Codony, R. y P. López. 2004. *Química y bioquímica de los alimentos II*. Ed. Universitat de Barcelona. España.
- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H. and G. Buchbauer. 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. *Food chemistry* 108:1122-1132.
- Baquerizo, K. I., Yim, E. and J.E. Keri. 2014. Probiotics and prebiotics in dermatology. *J American Academy of Dermatology* 71:814-821
- Basilio, A.M., Spagarino, C., Landi, L. y B. Achával. 2013. Miel de *Scaptotrigona jujuyensis* en dos localidades de Formosa, Argentina. Vit P. & Roubitk DW, eds. Stingless bees process honey and pollen incerumen pots. Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de los Andes; Mérida, Venezuela 1-8.
- Beristain, C. I., Azuara, E., Cortés, R. and H. S. García. 1990. Mass transfer during the osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and Technology* 25:576-582.

- Bernardeau, M., Vernoux, J.P., Henri-Dubernet, S. and M. Guéguen. 2008. Safety assessment of dairy microorganisms: The Lactobacillus genus. *International Journal of Food Microbiology* 126:278-285.
- Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D. and P. Fito. 2011. Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology* 22:498-508.
- Betoret, N., Puente, L., Diaz, M.J., Pagan, M.J., Garcia, M.J., Gras, M.L., Martinez Monzo, J. and P. Fito. 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering* 56:273–277.
- Betoret, N., Puente, L., Diaz, M.J., Pagan, M.J., Garcia, M.J., Gras, M.L., Martinez Monzo, J. and P. Fito. 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering* 56:273–277.
- Binns, C. and M. K. Lee. 2010. The use of Probiotics to Prevent Diarrhea in Young Children Attending Child Care Centers: A Review. *Journal of Experimental and Clinical Medicine* 6:269-273.
- Bouyer, E., Mekhloufi, G., Rosilio, V. and J. L. Grossiord. 2012. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field?. *International Journal of Pharmaceutics*. 436:359-378.
- Brown, E., Mc, N. and D. Savaiano. 2012. Dietary and biological factors influencing lactose intolerance. *International Dairy Journal* 22:98-103.
- Bruijn, J. and R. Bórquez. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International* 63:42-48.
- Canto, B y G. Castillo. 2011. Un mil usos:el plátano. *La Ciencia y el Hombre* 24.
- Castro, L. y C. Rovetto. 2006. Probióticos: utilidad clínica. *Colombia médica* 37:308-314.

- Castro, M., Fito, P. J. and P. Fito. 2011. Nonlinear thermodynamic approach to analyze long time osmotic dehydration of parenchymatic apple tissue. *Journal of Food Engineering* 102:34-42.
- Chavarro, L.M., Ochoa, C.I., y A. Ayala. 2006. Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. *Maradol*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 26:596-603.
- Chiralt, A. y P. Talens. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering* 67:167-177.
- Chung, C. and D. J. McClements. 2014. Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure* 1:106-126.
- Corrêa, J., Pereira, L., Vieira, G. and M. Hubinger. 2010. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*. 96:498–504.
- Cortés, M., Guardiola, L.F. y R. Pacheco. 2007. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (*Var. Tommy Atkins*) con calcio. *Dyna* 153:19-26.
- Corzo, O. and N. Bracho. 2007. Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *LWT- Food Science and Technology* 40:1452-1458.
- Crank J. 1975. *The mathematics of diffusion* 2 Ed. Clarendon Press.
- Da Porto, C., Porretto, E. and D. Decorti. 2013. Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry* 20:1076-1080.

- Davidos-Pardo, G. and D. J. McClements. 2015. Nutraceutical delivery systems: Resveratrol encapsulation in grape seed oil nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. *Food Chemistry* 167:205-212.
- DebMandal, M., Mandal, S. and N. K. Pal. 2012. Detection of intestinal colonization of probiotic *Lactobacillus rhamnosus* by stool culture in modified selective media. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 205-210.
- Del Rio, D., Costa, L.G., Lean, M.E.J. and A. Crozier. 2010. Polyphenols and health: What compounds are involved?. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases* 20:1-6.
- Delample, M., Da Silva, F. and F. Leal-Calderon. 2014. Osmotically driven gelation in double emulsions. *Food Hydrocolloids* 38:11-19.
- Delgado, L. y G. Martinez. 2009. El estrés oxidativo en la enfermedad cardiovascular: evidencias para un tratamiento más integral. *Revista Cubana de Farmacia* 43:1
- Denev, P., Kratchanova, M., Ciz, M., Lojek, A., Vasicek, O., Nedelcheva, P., Blazheva, D., Toshkova, R., Gardeva, E., Yossifova, L., Hyrsi, P. and L. Vojtek. 2014. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. *Food Chemistry* 157:37-44.
- Domenechini, G., Damasceno, L., Cristina, I. and C. P. Zapata. 2011. Evaluation of wáter, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum, shum*). *LWT-Food Science and Technology*. 44:82-91.
- Durán C., R. y A. Valenzuela B. 2010. La experiencia japonesa con los alimentos foshu ¿Los verdaderos alimentos funcionales?. *Revista Chilena de Nutrición* 37:224-233.
- Esteves Limón Miriam del Refugio. (2013). Microencapsulación Intercelular del probiótico *Lactobacillus paracasei* en tejido de piña (*ananas comosus*). Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Jalapa Enriquez, Veracruz.

- Falade, K., Igbeka, J. and F. Ayanwuyi. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*. 80:979-985.
- Faller, A.L. and E. Fialho. 2010. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 23:561-568.
- Fernandes, L., Casal, S., Cruz, R., Pereira, J. A. and E. Ramalhosa. 2013. Seed oils of ten traditional Portuguese grape varieties with interesting chemical and antioxidant properties. *Food Research International* 50:161-166.
- Fernandez, F. A., Rodrigues, S., Gaspareto, O. and E. Oliveira. 2006. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*. 77:188-193.
- Ferrer., L., B. y J. Dalmau. 2001. Alimentos funcionales: probióticos. *Nutrición Infantil* 59:150-155.
- Fito, P. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering* 22:313-328.
- Flores, E., Beristain, C., Carter, E., Gutiérrez, G. and E. Azuara. 2009. Enthalpy-Entropy Compensation and Water Transfer Mechanism in Osmotically Dehydrated Agar Gel. *Drying Technology*. 27:999–1009.
- Flores-Andrade, E., Pascual-Pineda, L. A., Jiménez, M. y C. I. Beristain. 2013. Efecto de la proteína de suero de leche-sacarosa en la deshidratación osmótica de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12:415-424.
- Garti, N. 1997. Progress in stabilization and transport phenomena of double emulsions in food applications – review article. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*. 30:222–235.

- Gaspareto, O., E. Oliveira, Da Silva, P. and A. Mahalhães. 2004. Influencia en el tratamiento osmótico en el secado de banana nanica (*Musa cavendishii*, L.) en secador de lecho fijo. *Información Tecnológica* 15:9-16.
- Genina P. 2002. Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. *Avance y Perspectiva* 21.
- Gill., H. S. 2003. Probiotics to enhance anti-infective defences in the gastrointestinal tract. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* 17:755–773.
- González, R., Lobo, M. G. and M. González. 2010. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry* 119:1030-1039.
- Gutiérrez, M.G., Enríquez, E., Lusco, L., Rodríguez, A., Persano, O. y P. Vit. 2008. Caracterización de mieles de *Melipona beecheii* y *Melipona solani* de Guatemala. *Revista de la Facultad de Farmacia* 50:2-6.
- Huang, Y., Wang, X., Wang, J., Wu, F., Sui, Y., Yang, L. and Z. Wang. 2012. *Lactobacillus plantarum* strains as potential probiotic cultures with cholesterol-lowering activity. *American Dairy Science Association* 96:2746-2753.
- Huayamave, E.C. y F. Cornejo. 2005. Influencia de presiones de vacío en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del mango. *Revista Tecnológica ESPOL* 18:141-145.
- Huerta, K., Contreras, A. y E. Andrade. 2014. Nueva alternativa para dar valor agregado al plátano *AGROENTORNO* 170:70-71.
- Isolauri, E., Salminen, S. and A. Ouwehand. 2004. Microbial–gut interactions in health and disease. *Probiotics. Best Practice & Research: Clinical Gastroenterology* 18:299–313.
- Íspir, A. y Í. T. Togrul. 2009. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering and Design* 87:166-180.

- Jiménez, F. 2013. Emulsiones multiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria* 28:1413-1421.
- Jindal, G., Ramesh K. P., Rajeev, K.S. and P. Neelisha. 2012. Can early exposure to probiotics in children prevent dental caries? *A current Perspective* 2:110-115.
- Khin, M., Zhou, W. and C. O. Perera. 2007. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and celular structure of Apple tissue during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*. 79:817-827.
- Kim, D., Lee, K. W., Joo, H. and C. Yong. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:3713-3717.
- Kim, H., Kim, Y., Lee, S., Yu, J., Jeong, S. and S. Hong. 2014. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on allergic march model by suppressing Th2, Th 17, and TSLP responses via CD4⁺ CD25⁺Foxp3⁺Tregs. *Clinical Immunology* 153:178-186.
- Klimina, K.M., Kjasova, D.K., Poluektova, E.U., Krûgel, H., Leuschner, Y., Saluz, H.P. and V.N. Danilenko. 2013. Identification and characterization of toxin-antitoxin systems in strains of *Lactobacillus rhamnosus* isolated from humans. *Anaerobe* 22:82-89.
- Koponen, J., Laakso, K., Koskenniemi, K., Kankainen, M., Savijoki, K., Nyman, T. A., Vos, W.M., Tynkkynen, S., Kalkkinen, N. and P. Varmanen. 2012. Effect of acid stress on protein expression and phosphorylation in *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Journal of proteomics* 75:1357-1374.
- Kotzampassi, K. and E. J. Giamarellos-Bourboulis. 2012. Probiotics for infectious diseases: more drugs, less dietary supplementation. *International Journal of Antimicrobial Agents* 40:288-296.
- Kpogbemabou, D., Lecomte-Nana, G., Aimable, A., Bienia, M., Niknam, V. and C. Carrion. 2014. Oil-in-water Pickering emulsions stabilized by phyllosilicates at

- high solid content. *Colloids and surfaces a: Physicochemical and Engineering Aspects* 463:85-92.
- Kundu, P., Agrawal, A., Mateen, H. and I. M. Mishra. 2013. Stability of oil-in-water macro-emulsion with anionic surfactant: Effect of electrolytes and temperatura. *Chemical Engineering Science* 102:176-185.
- Lam, R.S. and M. T. Nickerson. 2013. Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure-function approach. *Food Chemistry* 141:975-984.
- Lazarides, H. N. 2001. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. In: *Osmotic dehydration and vacuum impregnation. Applications in food industries.* Fito, P., Chiralt, A., Barat, K., Spiess, W. E. y D. Behsnilian. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania. 33-42.
- Lazarides, H. N., Katsanidis, E. and A. Nickolaidis. 1985. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering* 25: 151-166.
- Lazarides, H. N., Mitrakas, G. E. and K. I. Matsos. 2007. Edible coating and counter-current produc/solution contacting: a nvel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *Journal of Food Engineering* 82: 171-177.
- Lee, J., Yun, H., Cho, K., Oh, S., Kim, S., Chun, T., Kim, B. and K. Y. Whang. 2011. Evaluation of probiotic characteristics of neWFLy isolated *Lactobacillus spp*: Immune modulation and longevity. *International Journal of Food Microbiology* 148:80-86.
- Lee, Y., Youn, H., Kwon, J., Lee, D., Park, J., Yuk, S., Erdene-Ochir, T., Kim, K., Lee, J., Park, S., Choi, I. and C. Song. 2013. Sublingual administration of *Lactobacillus rhamnosus* affects respiratory immune responses and facilitates

- protection against influenza virus infection in mice. *Antiviral Research* 98:284-290.
- Li, G. 2012. Intestinal Probiotics: Interactions with Bile Salts and Reduction of Cholesterol. *Procedia Environmental Sciences* 12:1180–1186.
- Lim, Y. Y., Lim, T. T. and J. J. Tee. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry* 103:1003-1008.
- Lo Scalzo, R., Papadimitriu, C., Bertolo, G., Maestrelli, A. and D. Torreggiani. 2001. Influence of cultivar and osmotic dehydration time on aroma profiles of muskmelon (*Cucumis melo, cv reticulatus Naud.*) spheres. *Journal of Food Engineering* 49:261-264.
- Lv, G., Wang, F., Cai, W., Li, H. and X. Zhang. 2014. Influences of addition of hydrophilic surfactants on the W/O emulsions stabilized by lipophilic surfactants. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 457:441-448.
- Manrique, A.J. y W.C. Santana. 2008. Flavonoides, actividades antibacteriana y antioxidante de propóleos de abejas sin aguijón, *Melipona quadrifasciata*, *Melipona compressipes*, *Tetragonisca angustula* y *Nannotrigona* sp. de Brasil y Venezuela. *Zootecnia Tropical* 26:157-166.
- Manzano, A. C., Estupiñán, G.D. y E. E. Poveda. 2012. Efectos clínicos de los probióticos: Qué dice la evidencia. *Revista Chilena de Nutrición* 39:98-110.
- Marazza, J. A., Nazareno, M. A., Savoy de Giori, G. and M. S. Garro. 2012. Enhancement of the antioxidant capacity of soymilk by fermentation with *Lactobacillus rhamnosus*. *Journal of Functional Foods* 4:594-306.
- Mayor, L., Pissarra, J. and A.M. Sereno. 2008. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering* 85: 326-339.

- Mercali, G. D., Ferreira, L. D., Tessaro, I. C. and C. P. Zapata. 2011. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum, shum.*). LWT-Food Science and Technology 44:82-91.
- Mirenadi, F., Ayyash, M. and F. Sherkat. 2014. Cholesterol reduction mechanisms and fatty acid composition of cellular membranes of probiotic *Lactobacilli* and *Bifidobacteria*. Journal of functional foods 9:295-305.
- Montaño, N. J. y J. R. Méndez. 2009. Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.). Revista UDO Agrícola 9:295-303.
- Montenegro, G., Santander, F., Jara, C., Nuñez, G. y C. Fredes. 2013. Actividad antioxidante y antimicrobiana de mieles monoflorales de plantas nativas chilenas. Boletín Latinoamericano del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 12:257-268.
- Mújica-Paz, H., Valdez, A., López, A., Palou, E. and J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. Journal of Food Engineering 56:307-314.
- Muñoz, K. y M. Alarcón. 2010. Efecto de los probióticos en las condiciones periodontales. Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral 3:136-139.
- Muñoz, O. y S. Copaja. 2007. Contenido de flavonoides y compuestos fenólicos de mieles chilenas e índice antioxidante. Química Nova 30:848-851.
- Naczki, M. and F. Shahidi. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. Journal of Chromatography 1054:95-111.
- Núñez, A. J. 2011. Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades. Revista Cubana de Salud Pública 37:644-660.

- Ochoa C. y A. Ayala. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 4:330-342.
- Ôzçimen, D. and A. Ersoy-Meriçboyu. 2008. A study on the carbonization of grape seed and chestnut Shell. *Fuel Processing Technology* 89:1041-1046.
- Pal, R. 2011. Rheology of simple and multiple emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 16:41-60.
- Pande, R., Bagad, M., Dubey, V. and A. Ghosh. 2012. Prospectus of probiotics in modern age diseases. *Asian Pacific Journal of Tropical B Food Science and Technology Biomedicine*. S1963-S1974.
- Parra, R. A. 2012. Yogur en la salud humana. *Revista Lasallista de Investigación* 9:162-177.
- Pérez G. 2003. Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigación Biomédica*.22
- Phisut, N. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal* 19:7-18.
- Pimentel-González, D.J., Campos-Montiel, R.G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R., and E. J. Vernon-Carter. 2009. Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International* 42:292–297.
- Pitino, I., Randazzo, C.L., Mandalari, G., Lo Curto, A., Faulks, R. M., Le, Y., Bisignano, C., Caggia, C. and M. S. John. 2010. Survival of *Lactobacillus rhamnosus* strains in the upper gastrointestinal tract. *Food Microbiology* 27:1121-1127.
- Porciuncula, B., Zotarelli, M. F., Carciofi, B. and J. B. Laurindo. 2013. Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (*Prata variety*) during osmotic dehydration and its use in predictive models. *Journal of Food Engineering* 119:490-496.

- Ramírez, J. C., Rosas, P., Velázquez, M. Y., Armando, J. y F. Arce. 2011. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente* 7:1-16.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjan, K. and D. Knorr. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology* 13:48-59.
- Rodríguez-Huezo, M. E., Estrada-Fernández, A. G., García-Almendárez, B. E., Ludeña-Urquiza, F., Campos-Montiel, R. G. and D. J. Pimentel-González. 2014. Viability of *Lactobacillus plantarum* entrapped in double emulsion during Oaxaca cheese manufacture, melting and simulated intestinal conditions. *LWT-Food Science and Technology* 59:768-773.
- Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Bélliard, T., Castello, J., Van Hecke, E. and J.L. Lanoisellé. 2014. Grape seed oil extraction: Interest of supercritical fluid extraction and gas-assisted mechanical extraction for enhancing polyphenol co-extraction in oil. *Comptes Rendus Chimie* 17:284-292.
- Rößle, C., Auty, M. A. E., Bruton, N., Gormley, R. T. and F. Butler. 2010. Evaluation of fresh-cut slices enriched with probiotic bacteria. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:203-209.
- Rózek A., García J. V., López F., Guell C. and M. Ferrando. 2010. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering* 99:142-150.
- Sablani, S.S. and M: S. Rahman. 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Research International* 36:65-71.
- Salminen S., Nybom S., Meriluoto J., Collado M., Vesterlund S and H. El-Nezami. 2010. Interaction of probiotics and pathogens—benefits to human health?. *Current Opinion in Biotechnology* 21:157–167.

- Schnettler, B., Shene, C., Rubilar, M., Miranda, H., Sepúlveda, J., Denegri, M. y G. Lobos. 2010. Aceptación hacia yogurt con diferentes ingredientes funcionales en consumidores de supermercados del sur de Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60:380-390.
- Seale, J.V. and M. Millar. 2013. Probiotics: a new frontier for infection control. *Journal of Hospital Infection* 84:1-4.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009. Monitor Agroeconómico 2009 del Estado de Veracruz.
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca. 2013. Disponible en la línea: <http://www.veracruz.gob.mx/blog/2013/01/02/32715/>
- Seguí, L., Fito, P.J. and P. Fito. 2012. Understanding osmotic dehydration of tissue structured foods by means of a cellular approach. *Journal of Food Engineering* 110:240-247.
- Shi, J. and M. L. Maguer. 2003. Mass transfer in cellular material at solid-liquid contacting interface. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology* 36:3-11.
- Shima, M., Matsuo, T., Yamashita, M. and S. Adachi. 2009. Protection of *Lactobacillus acidophilus* from bile salts in a model intestinal juice by incorporation into the inner-water phase of a W/O/W emulsion. *Food Hydrocolloids* 23:281-285.
- Silva, M. A., Silva, Z. E., Mariani, V. C. and S. Darche. 2012. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *Food Science and Technology*. 45:246-252.
- Silveira M. B., Monereo S. y B. Molina. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos?. *Revista Española Salud Pública* 77.
- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, k., Bhatnagar, S., Kumari, R. and N. Dhaka. 2013. Potential applications of antioxidants-A review. *Journal of Pharmacy Research* 7:828-835.

- Singh, B., Panesar, P. S., Nanda, V. and J. F. Kennedy. 2010. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. *Food Chemistry* 123:590-600.
- Singh, K., Kallali, B., Kumar, A. and V. Thaker. 2011. Probiotics: A review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* S287-S290.
- Siró I., Kápolna E., Kápolna, B. and A. Lugasi. 2008. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance- A review. *Appetite* 51:456-467.
- Szakály Z., Szente V., Kövér G., Polereczki Z. and Szigeti O. 2012. The influence of lifestyle on health behavior and preference for functional foods. *Appetite* 58: 406–413.
- Szakály Z., Szente V., Kövér G., Polereczki Z. and O. Szigeti. 2012. The influence of lifestyle on health behavior and preference for functional foods. *Appetite* 58: 406–413.
- Tapia, M. S., Rojas, M. A. Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A. and O. Martin. 2007. Alginate and gellan based edible films for probiotic coatings on fresh cut fruits. *Food Engineering and Physical Properties* 72:190-196.
- Tuo Y., Zhang W., Zhang L., Ai L., Zhang Y., Han X. and H. Yi. 2013. Study of probiotic potential of four wild *Lactobacillus rhamnosus* strains. *Anaerobe* 21:22-27.
- Vega, A., Palacios, M., Boglio, F., Pássaro, C., Jeréz, C. y R. Lemus. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 3:470-477.
- Vesterlund, S., Salminen, K. and S. Salminen. 2012. Water activity in dry foods containing live probiotic bacteria should be carefully considered: A case study with *Lactobacillus rhamnosus* GG in flaxseed. *International Journal of Food Microbiology* 157:319-321.

- Vit, P., Gutiérrez, M. G., Titeta, D., Bedna, M. y A. J. Rodríguez. 2008. Mieles checas categorizadas según su actividad antioxidante. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 42:237-244.
- Wadher, K.J., Mahore, J.G. and M. J. Umekar. 2010. Probiotics: Living medicines in health maintenance and disease prevention. *International Journal of Pharma and Biosciences* 1:1-9.
- Yang, L. and A. T. Paulson. 2000. Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International* 33:563-570.
- Yao, Z. and M. L. Maguer. 1995. Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: Conceptual and mathematical models. *Journal of Food Engineering* 29:349-360.
- Zamora, J. D. 2007. Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista Chilena de Nutrición* 34.

ANEXOS

ANEXO A: Tablas de análisis de varianza.

Tabla A1. Análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración y tiempo de inmersión de placas de manzana sobre el incremento de sólidos solubles (°Brix).

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	2609.23	5	521.85	2126.77	< 0.0001
Concentración	565.52	2	282.76	1152.38	< 0.0001
Pulso de vacío	219.91	2	109.96	448.12	< 0.0001
Tiempo-Concentración	91.83	10	9.18	37.43	< 0.0001
Tiempo-Pulso de vacío	398.44	10	39.84	162.38	< 0.0001
Concentración-Pulso de vacío	70.86	4	17.71	72.19	< 0.0001
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	24.73	20	1.24	5.04	< 0.0001
Error	26.50				
Total	4007.03				

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A2. Análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de procesamiento, concentración de la solución y aplicación de pulso de vacío sobre la actividad de agua (aw) de las placas de plátano.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	0.050	5	0.009952	1486.56	< 0.0001
Concentración	0.019	2	0.009691	1447.66	< 0.0001
Pulso de vacío	0.002221	2	0.001111	165.92	< 0.0001
Tiempo-Concentración	0.007130	10	0.0004713	106.51	< 0.0001
Tiempo-Pulso de vacío	0.0006341	10	0.00006341	9.47	< 0.0001
Concentración-Pulso de vacío	0.0005551	4	0.0001388	20.73	< 0.0001
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	0.000369	20	0.00001847	2.76	0.0004
Error	0.0007230	108	0.000006694		
Total	0.081	161			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A3. Análisis de varianza para evaluar el efecto del pulso de vacío, concentración y el tiempo de inmersión sobre la humedad adimensional (X_t/X_o) de las muestras osmodeshidratadas.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	5.78	5	1.16	3937.04	< 0.0001
Concentración	0.23	2	0.11	383.29	< 0.0001
Pulso de vacío	0.42	2	0.21	722.70	< 0.0001
Tiempo-Concentración	0.017	10	0.001653	5.63	< 0.0001
Tiempo-Pulso de vacío	0.020	10	0.002042	6.95	< 0.0001
Concentración-Pulso de vacío	0.009910	4	0.002477	8.44	< 0.0001
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	0.025	20	0.001248	4.25	< 0.0001
Error	0.032	108	0.0002936		
Total	6.53	161			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A4. Análisis de varianza para evaluar el efecto del pulso de vacío, concentración y el tiempo de inmersión sobre la actividad antioxidante de las muestras osmodeshidratadas.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	115.73	2	57.87	3.57	0.0326
Concentración	12319.14	2	6159.57	380.29	< 0.0001
Pulso de vacío	11499.52	2	5729.76	354.99	< 0.0001
Tiempo-Concentración	127.89	4	31.97	1.97	0.1063
Tiempo-Pulso de vacío	153.53	4	38.38	2.37	0.0593
Concentración-Pulso de vacío	1571.86	4	392.97	24.26	< 0.0001
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	422.08	8	52.76	3.26	0.0029
Error	1311.96	81	16.20		
Total	27521.73	107			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A5. Análisis de varianza para evaluar el efecto del pulso de vacío, concentración y el tiempo de inmersión sobre los compuestos fenólicos de las muestras osmodeshidratadas.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	25.33	2	12.67	3.72	0.0284
Concentración	4229.37	2	2114.68	621.32	< 0.0001
Pulso de vacío	260.23	2	130.11	38.23	< 0.0001
Tiempo-Concentración	15.04	4	3.76	1.10	0.3600
Tiempo-Pulso de vacío	12.57	4	3.14	0.92	0.4545
Concentración-Pulso de vacío	631.35	4	157.84	46.37	< 0.0001
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	22.18	8	2.77	0.81	0.5920
Error	275.69	81	3.40		
Total	5471.76	107			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A6. Análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración y tiempo de inmersión sobre la viabilidad del *L. rhamnosus* en soluciones sacarosa -emulsión.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F	Valor-p
Tiempo	3.72	2	1.86	158.99	<0.0001
Concentración	0.44	2	0.22	18.92	<0.0001
Interacción	0.28	4	0.070	6.02	0.0003
Error	0.88	75	0.012		
Total	5.69	83			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A7. Análisis de varianza para evaluar el efecto del tiempo de procesamiento, concentración de la solución y aplicación de pulso de vacío sobre la viabilidad del *L. rhamnosus* de las placas de plátano.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F	Valor-p
Concentración	0.015	2	0.007487	0.25	0.9296
Pulso de vacío	0.060	2	0.030	0.98	0.3941
Concentración-Pulso de vacío	0.012	4	0.003111	0.10	0.9804
Error	0.55	18	0.031		
Total	0.64	26			

Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

Tabla A8. Análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración y el pulso de vacío sobre la viabilidad del *L. rhamnosus* en placas de plátano osmodeshidratadas y liofilizadas.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F	Valor-p
Concentración	0.055	2	0.028	2.03	0.1434
Pulso de vacío	0.16	2	0.078	5.74	0.0060
Interacción	0.25	4	0.063	4.67	0.0031
Error	0.61	45	0.014		
Total	1.07	53			

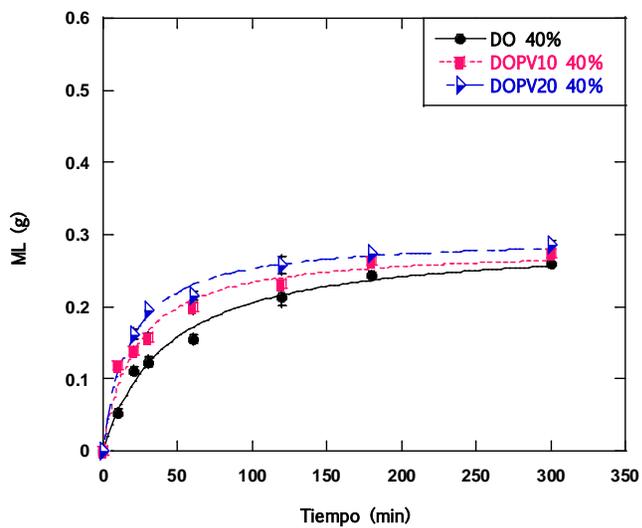
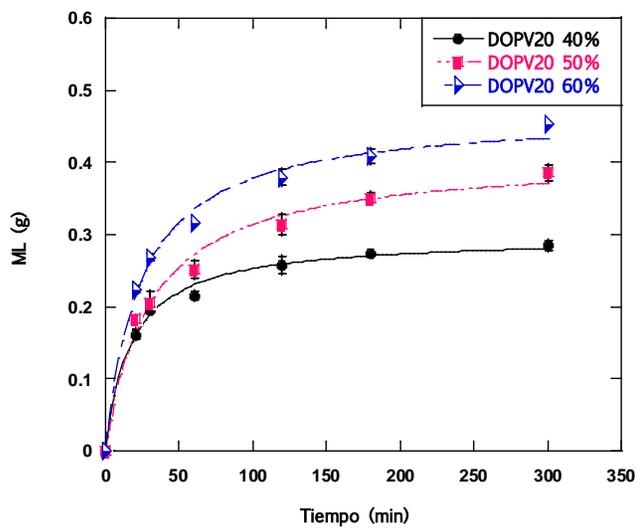
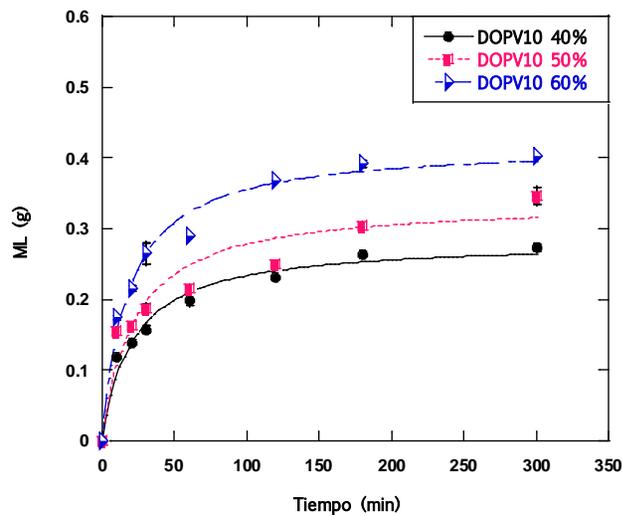
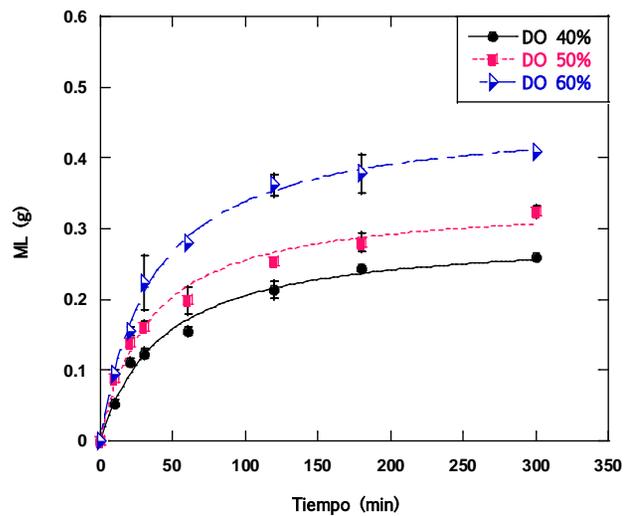
Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

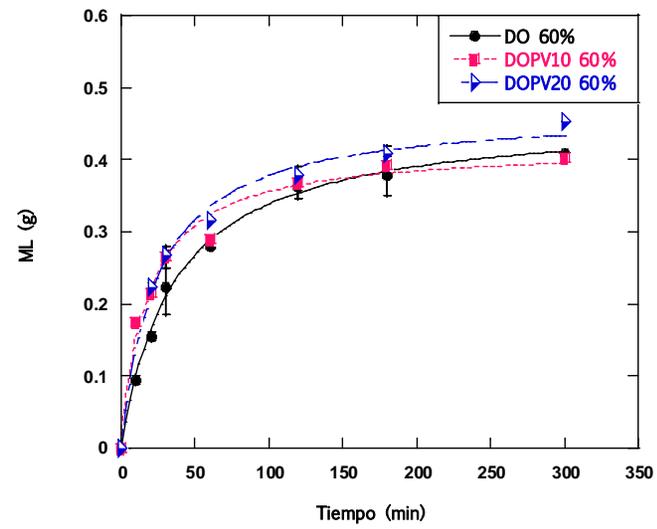
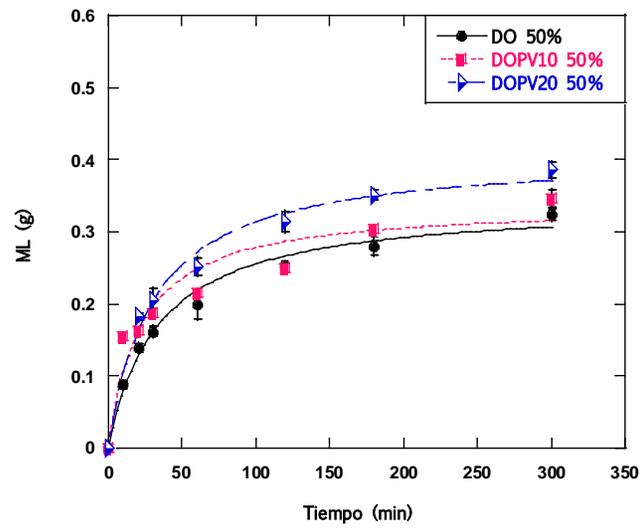
Tabla A9. Análisis de varianza para evaluar el efecto del pulso de vacío, concentración y el tiempo de inmersión sobre el volumen adimensional (V_t/V_o) de las muestras osmodeshidratadas.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de p
Tiempo	1.95	5	0.39	1572.63	< 0.0001
Concentración	0.31	2	0.16	626.44	< 0.0001
Pulso de vacío	0.19	2	0.094	381.45	< 0.0001
Tiempo-Concentración	0.068	10	0.006788	27.42	< 0.0001
Tiempo-Pulso de vacío	0.005946	10	0.0005946	2.40	0.0130
Concentración-Pulso de vacío	0.004264	4	0.001066	4.31	0.0029
Tiempo-Concentración-Pulso de vacío	0.009735	20	0.0004868	1.97	0.0147
Error	0.026	106	0.0002476		
Total	2.58	159			

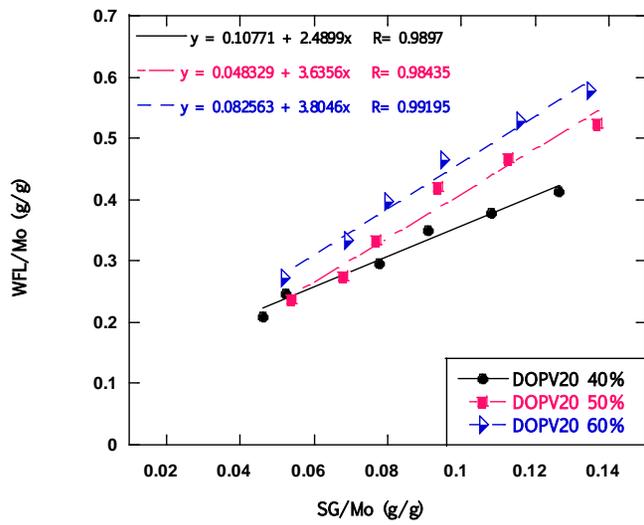
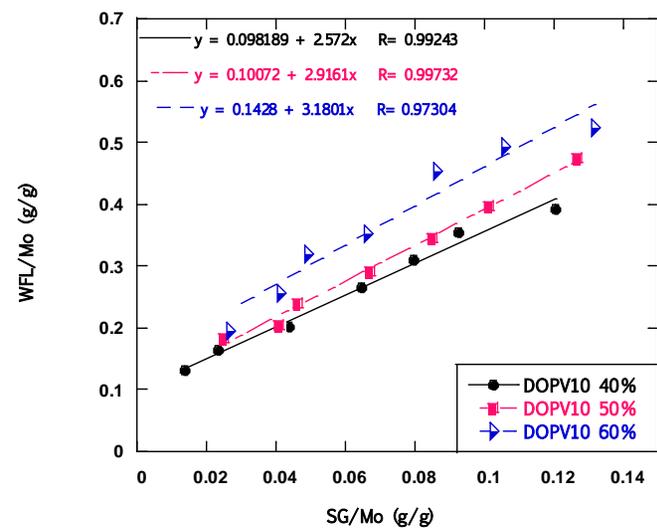
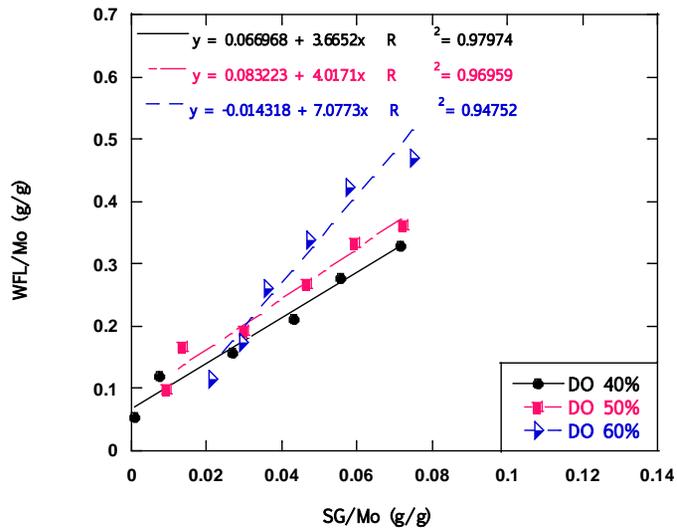
Valores-p < 0.05 indica efecto significativo a un $\alpha = 0.05$.

ANEXO B: Cinéticas de variación de masa total de placas de plátano osmodeshidratado a diferentes condiciones de tratamiento.





ANEXO B: Relación de la pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de placas de plátano a diferentes condiciones de tratamiento.



ANEXO C: Efecto de la concentración de sacarosa en la solución de impregnación sobre las etapas de osmodeshidratación en placas con diferentes concentraciones de soluto en la solución de impregnación.

