

## Influencia de Presiones de Vacío en la Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica del Mango.

Ing. Elizabeth Cristina Huayamave L., M.Sc Fabiola Cornejo Z.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.

Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Campus Gustavo Galindo Velasco, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

cristihua@hotmail.com , fcornejo@espol.edu.ec

### Resumen

*En el presente trabajo se estudió el efecto de la aplicación de presión de vacío sobre la cinética de transferencia de masa al deshidratar osmóticamente el mango de la variedad Tommy Atkins. Los experimentos fueron llevados a cabo para comparar los procesos de deshidratación osmótica al vacío (DOV) y deshidratación osmótica a pulso de vacío (DOPV). Se trabajó a las presiones absolutas de 140 mbar y 80 mbar, variando los tiempos de aplicación de vacío (5, 10 y 30 min) y manteniendo constante la temperatura (45°C) y la concentración de jarabe de sacarosa (45°Brix). Los resultados muestran que al aplicar vacío se obtiene una mayor pérdida de agua, sin afectar significativamente el ingreso de sólidos. La deshidratación osmótica a pulso de vacío (DOPV), presentó las mayores ventajas al compararse con el otro tratamiento, pues se obtienen similares resultados de pérdida de agua, con un mayor ahorro de energía.*

**Palabras Claves:** Deshidratación osmótica, vacío, transferencia de masa, mango

### Abstract

*The present study analyses the effect of vacuum pressure on the kinetics of mass transfer during the osmotic dehydration of mango (Tommy Atkins). The experiments were carried out to compare the vacuum osmotic dehydration (VOD) and pulse vacuum osmotic dehydration (PVOD). Absolute pressures of 140 mbar and 80 mbar were applied, varying the time of applied vacuum pressure (5, 10 y 30 min) and maintaining constant the temperature (45°C) and the sucrose syrup concentration (45°Brix). The results revealed that the vacuum treatments increase the water loss, without affecting the sugar uptake. The mayor advantage was observed in pulse vacuum osmotic dehydration (PVOD), because it showed the same water loss with less energy consumption.*

**Keywords:** osmotic dehydration, vacuum, mass transfer, mango.

### 1. Introducción

En países Latinoamericanos como Colombia, Venezuela, Chile, Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, México, Nicaragua, Puerto Rico y Uruguay, por medio del programa de CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) de Latinoamérica, han investigado sobre la posibilidad de desarrollar alternativas de aprovechamiento y preservación de ciertos alimentos, en especial de frutas tropicales; con tecnologías relativamente sencillas y con bajos montos de inversión. La deshidratación osmótica (DO) ha cobrado gran interés debido a que aplicada como un pre-tratamiento en los procesos tradicionales de conservación, mejora la calidad organoléptica del producto final con un bajo consumo de energía. En el Ecuador, se ha despertado este interés, en especial con frutas excedentes de exportación. Debido a que el 50% de la producción de mango (Tommy Atkins) no es

exportable como fruta fresca, el presente estudio plantea aplicar esta tecnología en alimentos ecuatorianos como el mango.

La Deshidratación Osmótica (DO) es una técnica que permite reducir su contenido de humedad e incrementar el contenido de sólidos solubles en las frutas, mediante la inmersión de esta, en solución acuosa de alta concentración de soluto (solución hipertónica). La deshidratación se debe a que ocurre un proceso de osmosis entre la fruta y la solución concentrada. El agua se traslada desde la disolución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica), de tal manera que las concentraciones tienden a igualarse [1,13]. Muchos estudios han enfocado su atención en eliminar rápida y efectivamente el agua de las frutas. Un rápido proceso de deshidratación osmótica, lo haría más eficiente y práctico [2,8,12].

Existen varios factores (temperatura, concentración de solución osmótica, etc.) que ejercen

influencia sobre los fenómenos de transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica. Recientemente se ha estudiado el comportamiento de la cinética transferencia de masa al aplicar presiones de vacío durante la deshidratación osmótica de varias frutas[3, 4,13].

Experimentos realizados [6] sugieren que bajo condiciones de vacío se presentan dos fenómenos: el mecanismo hidrodinámico (HDM) y el fenómeno deformación – relajación (DRP) de la matriz sólida del alimento[3,5,6].

El mecanismo hidrodinámico (HDM) describe el efecto de la presión de vacío sobre la transferencia de masa entre la parte interna de los poros del alimento y la fase líquida externa. Este mecanismo (HDM) ocurre debido a las diferencias de presiones que se presentan en el sistema y provocan la expansión del gas ocluido en los poros y el ingreso de un considerable volumen de solución osmótica a la estructura porosa del alimento, aumentando así la superficie de contacto entre el alimento y la solución, favoreciendo la cinética de transferencia de masa[3,5,6,9].

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la aplicación de la presión de vacío sobre las pérdidas de agua, ganancia de sólidos y cinética de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de mango.

## 2. Materiales y Métodos.

### 2.1. Materia Prima:

Mangos (variedad Tommy Atkins), utilizados en los experimentos, se obtuvieron en los mercados locales de la provincia del Guayas. Los mangos se seleccionaron de acuerdo al grado de madurez ( $9.2 \pm 1$  °Brix), para asegurar la uniformidad de la materia prima. La sacarosa (azúcar comercial) se obtuvo en los supermercados de la ciudad de Guayaquil y se usó para preparar la solución osmótica ajustada a 55°Brix para todos los experimentos.

Los experimentos se realizaron en Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL. El equipo utilizado para la realización de los experimentos se muestra en la figura 1.

### 2.2. Proceso de deshidratación osmótica al vacío:

El mango se lavó, peló y cortó en trozos de forma rectangular de  $1.0 \text{ cm} \pm 0.05 \times 1.0 \text{ cm} \pm 0.05$  de base y  $1.1 \text{ cm} \pm 0.05$  de altura.

El procedimiento experimental se basó en sumergir los trozos de mango en la solución osmótica dentro del equipo; en una relación 1:4, fruta: jarabe. Durante la experimentación, la temperatura se mantuvo controlada a 45°C, y se trabajó a presiones de vacío

de 80 y 140 mbar de presión absoluta, bajo dos diferentes condiciones: presión de vacío (DOV) y pulso de vacío (DOPV).

Los trozos se mantuvieron sumergidos en la solución osmótica a las presiones de vacío por un tiempo  $t_1$ . Luego, la presión fue restablecida a la presión atmosférica por un tiempo  $t_2$ . En la tabla 1 se especifican la presión y el tiempo a los que se realizaron cada uno de los experimentos.

Al finalizar la inmersión, las muestras fueron removidas de la solución osmótica, y secadas con un papel absorbente para luego ser analizadas. Las determinaciones de humedad se realizaron por método de AOAC 24003 y los grados °Brix (sólidos solubles) medidos por refractometría. Todos los tratamientos y los análisis fueron realizados por replicación y duplicado.

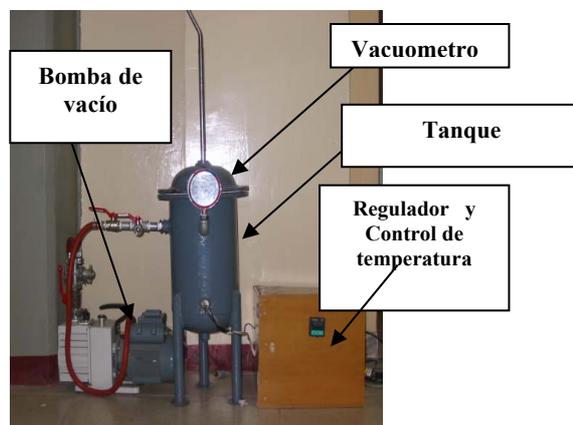


Figura1. Equipo de deshidratación osmótica al vacío.

EXPERIMENTOS	Parámetros de estudio		
	Presión absoluta (mbar)	$t_1^1$ (min)	$t_2^2$ (min)
DOV	80	30	90
	140	30	90
DOPV 5'	80	5	115
	140	5	115
DOPV 10'	80	10	110
	140	10	110

Tabla 1. Experimentos Realizados.

### 2.3. Cálculos realizados.

**2.3.1. Pérdidas de agua y ganancia de sólidos.** Para cada uno de los experimentos se determinó: las pérdidas de agua ( $\Delta M_w$ ) y las ganancias de sólidos ( $\Delta M_s$ ) [4].

<sup>1</sup>  $t_1$  es el tiempo en que el proceso se realiza a presión de vacío

<sup>2</sup>  $t_2$  es el tiempo en que el proceso se realiza a presión atmosférica.

$$\Delta M_w = \frac{M_o X_{wo} - M_t X_{wt}}{M_o} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\Delta M_s = \frac{M_t X_{st} - M_o X_{so}}{M_o} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

$\Delta M_w$ = Pérdida de agua (g de H<sub>2</sub>O/ g de fruta).

$\Delta M_s$ = Ganancia de sólidos ( g de sólidos/ g de fruta)

$M_o$ = Masa inicial de la fruta (g).

$M_t$ = Masa de la muestra deshidratada osmóticamente después de tiempo  $t$  (g).

$X_{so}$ = Sólidos solubles iniciales en la fruta (°Brix).

$X_{st}$ = Sólidos solubles en la muestra deshidratada osmóticamente después de un tiempo  $t$  (°Brix).

$X_w$ = Humedad inicial de la fruta (g de H<sub>2</sub>O/g de muestra húmeda)

$X_{wt}$ = Humedad de la fruta deshidratada osmóticamente después de un tiempo  $t$  (g de H<sub>2</sub>O/g de muestra húmeda).

**2.3.2. Velocidades de pérdidas de agua y coeficientes de transferencia de masa.** Se determinaron las velocidades de pérdidas de agua, las cuales se obtuvieron a partir de las pendientes de la grafica de humedad libre de la fruta versus el tiempo de proceso[10].

**2.3.3. Coeficientes de transferencia de masa.** Los coeficientes globales de transferencia de masa están relacionados con la dificultad para el transporte de un determinado componente entre dos fases no miscibles. Crack, et al (1975) propuso que al graficar la velocidad de difusión del agua ( $M$ ) versus la raíz cuadrada del tiempo de contacto ( $t$ ), se obtiene una curva con pendiente  $K_w$  que representa el coeficiente de difusión del agua [4].

$$M = K_w \cdot (t)^{0.5} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

La velocidad de difusión del agua ( $M$ ) se puede hallar por la siguiente expresión:

$$M = \frac{M_o \cdot X_{wo} - M_t \cdot X_{wt}}{M_o \cdot X_{wo}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

El coeficiente de difusión de sólidos ( $K_s$ ) se calcula con la siguiente relación [10]:

$$S = K_s \cdot (t)^{0.5} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde  $S$  es el contenido normalizado de sólidos es decir los sólidos totales a cualquier tiempo dividido para el contenido inicial de sólidos totales.

$$S = \frac{M_t \cdot X_{st}}{M_o \cdot X_{so}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Por lo tanto graficando el contenido normalizado versus la raíz cuadrada del tiempo ( $t$ ) se obtiene una línea cuya pendiente es  $K_s$  que representa el coeficiente de difusión de los sólidos.

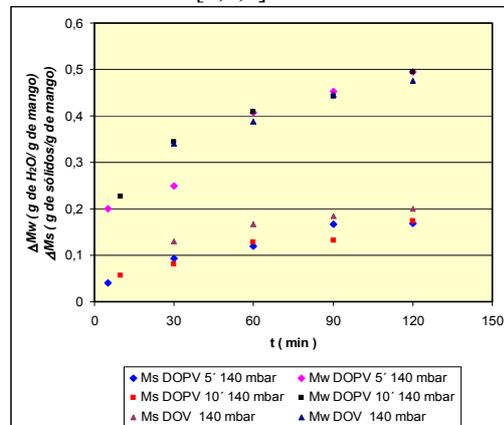
### 3 Análisis de resultados.

#### 3.1. Pérdidas de agua y ganancia de sólidos.

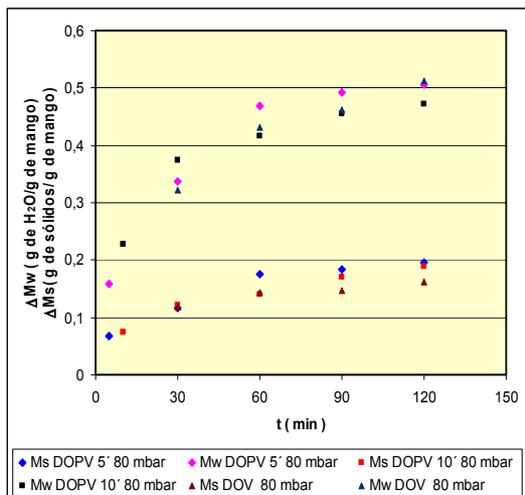
Las figuras 2 y 3 ilustran las pérdidas de agua y ganancia de sólidos en los experimentos realizados a las presiones absolutas de 140 mbar y 80 mbar respectivamente.

En ambos gráficos se observa, que las pérdidas de agua son mayores que las ganancias de sólidos. Esta diferencia se debe a que las moléculas de sacarosa presentan un tamaño mucho mayor a las moléculas de agua; que no le permiten difundirse tan fácilmente a través de la membrana celular del mango, determinando así que la pérdida de agua sea la primera en alcanzar el equilibrio osmótico.

**3.1.1. Efecto del tiempo de aplicación de la presión de vacío.** Las pérdidas de agua son similares, cuando se aplica la misma presión de vacío por cinco, diez o treinta minutos. Esto se debe a que el efecto más significativo del mecanismo hidrodinámico (HDM). Este efecto, se presenta justo en el momento en que se reestablece la presión atmosférica al sistema, ya que aquí es cuando se produce el ingreso del mayor volumen de solución osmótica al poro del alimento. Favoreciendo así, las pérdidas de agua del alimento, debido a que se aumenta la superficie de contacto entre el alimento y la solución osmótica[3,4,5].



**Figura 2.** Pérdidas de Agua y ganancia de sólidos en los experimentos de Deshidratación Osmótica a presión de vacío y pulso de vacío a 140mbar de presión absoluta.

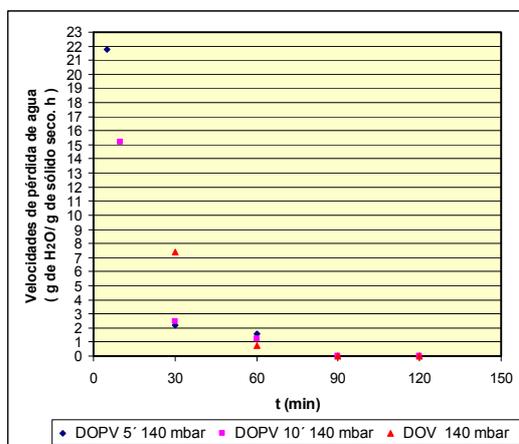


**Figura 3.** Pérdidas de agua y ganancia de sólidos en los experimentos de Deshidratación Osmótica a presión de vacío y pulso de vacío a 80mbar de presión absoluta.

**3.1.2.Efecto de la presión.** Al analizar el efecto de la presión sobre las pérdidas de agua, en la figura 3.2, se puede distinguir que no hay una diferencia significativa entre las pérdidas de agua a presión atmosférica y las conseguidas a la presión de 140 mbar, pero al aplicar la presión absoluta de 80 mbar, se observa un aumento significativo de las pérdidas de agua. Por lo tanto se puede comprobar que la aplicación de una presión de vacío por lo menos de 80 mbar, favorece notablemente al incremento de las pérdidas de agua en el mango. Se puede concluir entonces, que mientras mayor sea la presión de vacío que se aplique mayor será la pérdida de agua.

### 3.2. Velocidades de pérdidas de agua.

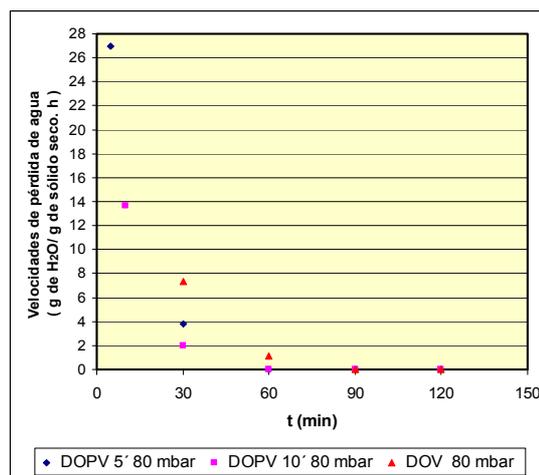
Las figuras 4 y 5 muestran las velocidades de pérdidas de agua presentadas durante los experimentos de deshidratación osmótica al vacío.



**Figura 4.** Velocidades de pérdida de agua en los experimentos de deshidratación osmótica a presión de 140 mbar.

**3.2.1. Efecto de la presión.** Se puede apreciar que las mayores velocidades de pérdidas de agua, se obtuvieron al aplicar más vacío (80 mbar). Por lo tanto los tratamientos de deshidratación osmótica a presiones de vacío, nos proporcionan la ventaja de aumentar la velocidad de difusión del agua, tomando menos tiempo reducir el contenido de humedad del mango [4,5,7,9].

**3.2.2. Efecto del tiempo de aplicación de la presión de vacío.** Al comparar las velocidades de pérdidas de agua obtenidas en cada uno de los tratamientos realizados a presión de vacío, se observa que los procesos en que se aplica un pulso de vacío durante cinco minutos, son los que presentan las mayores velocidades de pérdidas de agua en los primeros minutos de tratamiento. Por otro lado, después de dos horas de proceso, las velocidades decrecen considerablemente, debido a que la diferencia entre concentración de sólidos de la solución osmótica y del mango van disminuyendo. Por lo tanto, la fuerza impulsora para que el proceso de osmosis ocurra, disminuye. Disminuyendo de esta manera los mecanismos de transferencia de masa[10,11,14].



**Figura 5.** Velocidades de pérdida de agua en los experimentos de deshidratación osmótica a presión de 80 mbar.

### 3.3. Coeficientes de transferencia de masa.

En la tabla 2 se presentan los valores de los coeficientes de difusión del agua ( $K_w$ ) y de los coeficientes de difusión de sólidos ( $K_s$ ), para los diferentes experimentos realizados a presión de vacío.

Al analizar los procesos de deshidratación osmótica al vacío, desde este punto de vista, se busca el proceso que presente la menor resistencia a la transferencia de agua, es decir, el mayor coeficiente de difusión de agua. Este proceso se consiguió en el

tratamiento en que se aplicó un pulso de presión de 80 mbar durante 5 minutos (DOPV 5') [10].

En cuanto a la ganancia de azúcar se requiere que el proceso presente la mayor resistencia a la ganancia de azúcar para alterar lo menos posible el sabor característico del mango. Este se presentó en el tratamiento donde se aplica la presión de vacío durante 30 minutos (DOV) a la presión de 80 mbar.

Experimentos	$K_w$	$K_S$	$K_w$	$K_S$
	140	140	80	80
	mbar	mbar	mbar	mbar
DOPV 5'	0.0311	0.0938	0.0354	<b>0.0976</b>
DOPV 10'	0.0278	0.0894	0.026	<b>0.0966</b>
DOV	<b>0.022</b>	<b>0.0761</b>	<b>0.0288</b>	<b>0.04</b>

**Tabla 2.** Coeficientes de difusión de agua ( $K_w$ ) y de sólidos ( $K_S$ ).

#### 4. Conclusiones.

La aplicación de presiones de vacío durante la deshidratación osmótica tuvo un importante efecto sobre las pérdidas de agua, puesto que las velocidades de difusión del agua fueron más altas, tomando menos tiempo reducir el contenido de humedad de la fruta, logrando así un producto de mejor calidad organoléptica. Es suficiente aplicar un pulso de vacío en un corto periodo de tiempo, para observar los beneficios de los tratamientos de vacío al deshidratar osmóticamente frutas.

#### 5. Bibliografía.

- [1] Barbosa G; Vega H, *Deshidratación de Alimentos*, Zaragoza - España, Editorial Acribia S.A 2000, pp. 235-253
- [2] Fito, P.; "Modelling mass transfer during vacuum osmotic dehydration of foods." ISOPOW-V. Valencia - España, 1992.
- [3] Fito P.; Chiralt A.; Shi Q, "Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic of fruits" *Food Research International*, 28, 1995, pp. 445-454.
- [4] Fito P., "Modelling of vacuum osmotic dehydration of Food." *Journal of Food Engineering*, 22,1994, pp. 313 – 327.
- [5] Fito P; Pastor R. "Non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration", *Journal of Food Engineering*, 21, 1993, pp. 513 – 519.
- [6] Fito P.; Shi Q., "Vacuum Osmotic dehydration of fruits", *Drying Tecchnology*, 1993, pp. 1429 - 1432.
- [7] Fito P; Chiralt A; Barat J, Martinez-Mozo, J. "Vacuum Impregnation in fruit processing." In J. E. Lozano, G. V. Barbosa Cánovas (ed), *Trends in food Engineering*, Maryland, 2000, pp. 149 – 164.
- [8] Kim, M. and Toledo R. "Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidised bed drying on properties of dehydrated rabbieye blueberries." *J. Food Sci.* **52**, 1987, pp. 980.
- [9] Sharma S.; Mulvaney S.; Rizvi S., *Ingeniería de Alimentos, Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*, Editorial Limusa Wiley, Capitulo 14, 2003, pp. 225-235
- [10] Tepper P., "Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta cv" (Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago – Chile, 1996)
- [11] Torres R., "Estudio de la estabilidad de un alimento funcional formulado con placas de manzana impregnadas a vacío con calcio y zinc" (Tesis, Escuela de ingeniería-departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas, Puebla – México, 2003)
- [12] Torreggiani D., Formi, E. Y Rizzolo, A., "Osmotic dehydration of fruit, part II, influence of osmotic time on the stability of processed cherries." *J. Food Process. Preserv.*, 1988, **12**, pp. 27.
- [13] Torreggiani D., "Technological aspects of osmotic dehydration in Foods", In: Barbosa-Cánovas G., Welti-Chanes J, Editors. *Food preservation by moisture control. Fundamentals and applications* Lancaster 1996, pp. 281 - 294
- [14] Torreggiani D.; Gianni B., "Osmotics pre-treatments in fruit processing: chemical", , 2000, Pags. 247 - 253