

## **Criodesecación atmosférica de papa (*Solanum tuberosum*)**

### **Atmospheric freeze-drying of potato (*Solanum tuberosum*)**

Juan Sebastián Ramírez Navas<sup>1\*</sup>, Jorge E. Cañizares S.<sup>2</sup>, Diofanor Acevedo C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Ciudad Universitaria Meléndez. Calle 13 No. 100-00, Edif. 338, Esp. 2016. Cali, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Ciudadela Universitaria, Alejandro Valdez y la Gasca. Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad de Cartagena – Programa de Ingeniería de Alimentos. Calle de la Universidad No. 36-60. Cartagena, Colombia.

(Recibido el 19 de enero de 2011. Aceptado el 10 de noviembre de 2011)

#### **Resumen**

Mediante la aplicación del proceso conocido como crio-desección atmosférica (CDA) usando temperaturas bajas y cloruro de calcio o silicagel como agentes higroscópicos, se deshidrataron dos variedades de papa, Gabriela y Chaucha. A las papas se les realizó tres diferentes pretratamientos. Con los datos obtenidos se calcularon: (i) los valores de los coeficientes de transferencia superficial de masa (de 61.77 a 148.55  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), (ii) de calor (de 5.75 a 11.22  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$ ), (iii) el número adimensional (de 1.03 a 3.98), (iv) el tiempo de secado (de 200.00 a 303.26 h), y (v) el índice de rehidratación (de 1.7 a 2.7). Además, se evaluó qué mecanismo de transferencia de masa controla la CDA, se analizó los cambios de color del producto durante tres etapas del proceso, empleando el índice de amarillez, y se evaluaron las propiedades microbiológicas de las papas crio-deseccadas atmosféricamente. Se concluye que el secado de rodajas de papa por CDA permite eliminar el crecimiento microbiológico y las reacciones químicas, pero es necesario realizar pretratamientos para evitar el pardamiento

----- *Palabras clave:* Papa (*Solanum tuberosum*), Crio-Desección Atmosférica, Transferencia de masa y calor, Índice de rehidratación, Índice de amarillez

---

\* Autor de correspondencia: telefax: + 57 + 2 + 321 23 92, correo electrónico: [juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co](mailto:juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co). (J. Ramírez)

## Abstract

By applying the method known as Atmospheric Freeze-Drying (AFD) which uses low temperature and calcium chloride or silica gel as hygroscopic agents, two varieties of potatoe (Gabriela and Chaucha) were dehydrated. Three different pre-treatments were performed on the potatoes for the analyses. From the obtained data, following values were estimated: (i) the coefficients of surface mass transfer (from 61.77 to 148.55  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), (ii) the heat transfer (from 5.75 to 11.22  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$ ), (iii) the un-dimensionless number (from 1.03 to 3.98), (iv) the drying time (from 200.00 to 303.26 h) and (v) the rehydration index (1.7 - 2.7). Furthermore, the mass transfer mechanism that controls the AFD was assessed. This process was assessed, and changes in the colour of the products at three different stages of the process using the Yellowness Index, and the microbiological properties of the atmospheric freeze-dried potatoes, were analysed. It was concluded that, the drying of potato slices by AFD can eliminate microbial growth and chemical reactions, and the pre-treatments step is necessary to prevent browning.

----- **Keywords:** Potato (*Solanum tuberosum*), Atmospheric Freeze-Drying, Mass and Heat Transfer, Rehydration index, Yellowness index

## Introducción

Con el fin de obtener comida hipercalórica, ultraliviana e imputrescible para sus tropas militares los Incas desarrollaron un proceso rudimentario de deshidratación a bajas temperaturas. Fabricaron tres productos (200 años a.C.): *chuño* – papas, *chalonga* y *charqui* – carne de alpaca y llama [1,2]. Éstos eran congelados por las frías temperaturas de la alta montaña (3000 a 4800 msnm) durante toda la noche, y descongelados en el día para extraer el agua por la baja presión atmosférica. El proceso se repetía hasta obtener un producto estable de baja humedad [3,4]. Una técnica similar fue empleada por los vikingos, quienes aprovecharon las bajas temperaturas del invierno para deshidratar pescado arenque [5]. Meryman (1959) denominó a estos procesos “Liofilización sin vacío” [6], aunque en la actualidad varios autores prefieren el término crio-desecación atmosférica (CDA) [7- 9].

La CDA, alternativa económica a la liofilización, es el proceso de conservación mediante desecación por sublimación y desorción

del agua a temperaturas bajas, sin empleo de vacío, utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles, eliminar el crecimiento microbiológico o las reacciones químicas y lograr fácilmente la rehidratación del producto final, manteniendo gran parte de sus propiedades [10, 11].

Meryman (1959) estableció que el gradiente de presiones de vapor en la CDA es el que facilita el paso del agua entre el frente de secado y la zona seca, por lo tanto, la presión parcial de vapor de agua en el medio de secado debe mantenerse lo suficientemente baja como para proporcionar una fuerza impulsora para la eliminación del vapor de agua de la muestra congelada. Donsi *et al.*, (2000) explican que el calor necesario para inducir la sublimación es igual al calor generado por la absorción de vapor de agua en el absorbente. El absorbente (agente higroscópico o desecante) es, al mismo tiempo, la fuente de calor y el medio para eliminar el vapor de agua formado durante la sublimación, permitiendo contar con aire seco dentro de la cámara de CDA [12].

El equipo utilizado en este trabajo puede considerarse como un secador de bandejas

de funcionamiento estacionario, basado en convección natural, con circulación interna de aire generada por la diferencia de densidades, que utiliza CDA ya que trabaja con el producto congelado, a presión atmosférica, y que presenta como limitante el tiempo de secado. En la literatura, se reportan varios trabajos de rediseño del equipo de CDA realizados con el fin de optimizar el proceso [8, 12 - 15].

Como el tratamiento previo a la deshidratación y el método de secado del alimento ejercen daño estructural en el producto final, una medida de la calidad del alimento deshidratado es el índice de rehidratación, que se basan en el principio de cambio de masa [16].

En este trabajo se evaluaron los coeficientes de transferencia superficial de masa y de calor, el número adimensional, el tiempo de secado y el índice de rehidratación, relacionados con el proceso de CDA de dos variedades comerciales de papas ecuatorianas, empleando dos diferentes agentes higroscópicos. Además, se definió qué mecanismo de transferencia controla el proceso de CDA, se analizó los cambios de color del producto durante tres etapas del proceso (inicio, pretratamiento y producto final) y se evaluó las propiedades microbiológicas de las papas criodesecadas atmosféricamente.

## Materiales y métodos

### Localización

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador ( $P_{atm}$ : 0.736 atm,  $T_{amb, prom}$ :  $14 \pm 2^\circ C$ , Altitud: 2818.05 msnm, Humedad relativa media: 75%, Densidad del aire:  $0.001257 \text{ g/cm}^3$ ).

### Equipo

Se empleó un congelador casero como cámara de CDA, al que se le cambió la puerta original por una de vidrio especial, con el fin de facilitar la observación del proceso. Se instaló un termómetro en la parte interna de la cámara y se

colocó como desecante una cantidad conocida de cloruro de calcio (D1) o silicagel (D2), con el fin de mantener una humedad relativa baja y reducir el tiempo de CDA. Las condiciones de la cámara se mantuvieron constantes (no se modificó el proceso de refrigeración-congelación del equipo), en el sistema no se empleó recirculación forzada de aire. La temperatura de carga de la cámara de CDA fue de  $1.1 \pm 0,5^\circ C$ .

### Materia prima

Las variedades de papas que se criodesecaron atmosféricamente fueron Gabriela (G) proveniente de la Provincia del Carchi de la zona de San Gabriel, y Chaucha (Ch) de la Provincia del Azuay de la zona de Nabón. Se obtuvieron en un mercado local el día de llegada y se almacenaron durante 5 días en un lugar sombrío y cálido ( $13$  a  $15^\circ C$ ) con el fin de estimular la formación de una capa de peridermo sobre cualquier tejido dañado. Pasado este tiempo se lavaron con agua fría para eliminar toda la tierra presente en la superficie. Se secaron inmediatamente a fin de evitar la sobre hidratación y se seleccionaron papas de similar tamaño para la realización del proceso.

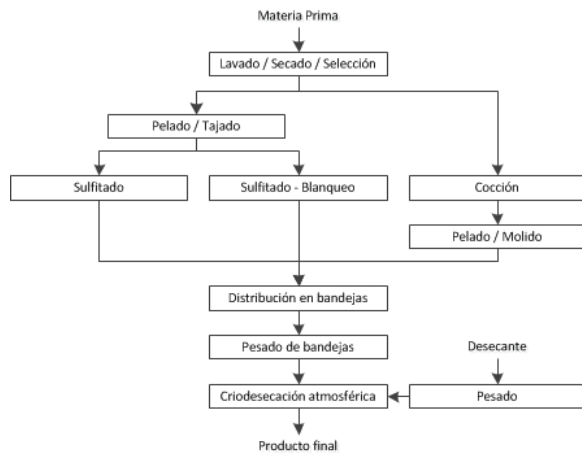
### Pretratamientos

Para evitar el pardeamiento se realizaron tres pretratamientos: Pt1, Pt2 y Pt3. En el primero (Pt1), las papas Ch y G peladas y cortadas en rodajas ( $0.5 \text{ mm}$ ), se sumergieron durante 10 min, en una solución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (0.5%) y  $\text{CaCl}_2$  (0.5%). En el segundo (Pt2) además se las trató con vapor de agua a  $90^\circ C$  y  $542 \text{ mmHg}$  durante 1 minuto por cada lado. Y en el tercero (Pt3), las papas únicamente lavadas, se mantuvieron sumergidas en agua a  $90^\circ C$  hasta alcanzar la cocción de todo el alimento, aproximadamente 50 minutos para G y 20 minutos para las Ch, posteriormente se pelaron y molieron.

### Crio-desecación atmosférica

Se crio-desecaron atmosféricamente, por triplicado, dos variedades de papa (Ch y G) previamente pretratadas por uno de los tres

métodos seleccionados (Pt1, Pt2, Pt3). Se empleó un agente higroscópico (D1 ó D2) en la cámara de CDA para cada experimento. Las muestras de papa se distribuyeron uniformemente en bandejas de icopor, previamente medidas, y se introdujeron en la cámara de CDA. La figura 1 muestra el diagrama de flujo general de los procesos de CDA de papa.



**Figura 1** Diagrama general de los procesos de criodesecación atmosférica

### Datos experimentales

Cada día se midieron y tabularon las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco de la cámara y los pesos de las bandejas con muestra, para lo cual fue necesario retirar las bandejas de la cámara, realizar los pesajes en el menor tiempo posible e introducir las nuevamente. Cuando los pesos de las bandejas fueron constantes ( $\pm 0.1$ g) se finalizó el proceso. Parte de las muestras se molieron y empaquetaron, a éstas se les realizó el análisis microbiológico de recuento total de bacterias (ufc/g), de mohos (upm/g), de levaduras (upl/g) e índice de coliformes totales (NMP/g) y el análisis de contenido de almidón y azúcares, siguiendo las normas INEN: 1529-5 1990-02, 1529-10:98 1998-01 y 1529-9 1990-02.

### Cálculos

Con los datos obtenidos se calculó el valor de los coeficientes superficiales de transferencia de

masa ( $k_m^*$ ) en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , de calor ( $h_i$ ) en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$ , y número adimensional ( $N_H$ ) de acuerdo a las ecuaciones citadas por Alvarado (1996).

$$N = -S \frac{\Delta x}{\Delta t} = k_m^* \cdot A \cdot (H_w - H_a) = \frac{h_i \cdot A}{\lambda_w} \cdot (T_a - T_w) \quad (1)$$

$$N_H = -\frac{k_m^* \cdot \delta}{D_e} = \frac{k_m^* \cdot \delta \cdot P \cdot R \cdot T_A}{B \cdot D \cdot M'} \quad (2)$$

donde: S es la masa de sólido seco a secar, x es la humedad absoluta del sólido ( $\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg}$  de sólido seco),  $\Delta x$  es la variación de la humedad que se determinó como la diferencia en cada tiempo,  $\Delta t$  es la variación del tiempo, A es el área expuesta al secado en  $\text{m}^2$ ,  $H_w$  es la humedad de saturación del aire a temperatura de superficie en  $\text{g agua/g aire seco}$ ,  $H_a$  es la humedad del aire en  $\text{g agua /g s aire seco}$ ,  $\lambda$  es el calor latente de sublimación en  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $(T_a - T_w)$  es la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de superficie en el frente de secado en  $\text{°C}$ ,  $\delta$  es la distancia de difusión en m, que corresponde al volumen del producto sólido dividido para el área expuesta al secado,  $D_e$  es el coeficiente efectivo de transferencia de vapor de agua en la zona porosa en  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , R es la constante de los gases,  $T_A$  es la temperatura absoluta media en K, B es un valor constante (0.81), D es la difusividad de vapor de agua en aire en  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  y  $M'$  es el peso molecular del agua en  $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

### Rehidratación

Se realizaron pruebas de rehidratación para establecer el daño físico que sufrió el producto al ser deshidratado. Se pesó 10g de rodajas de papas CDA, se sumergieron en 500ml de agua a  $90\text{°C}$ . Se registró el aumento en peso después de escurrir el agua, cada cinco minutos durante una hora. Se mantuvo constante el volumen del agua de rehidratación. Con los datos obtenidos se determinó el índice de rehidratación (IR) de acuerdo a la ecuación reportada por López, (2006).

$$IR = \frac{W_R}{W_D} \quad (3)$$

donde:  $W_R$  es el peso de la muestra rehidratada drenada en kg y  $W_D$  es el peso de la muestra deshidratada usada para las pruebas en kg.

### **Diferencia de color**

La medida del color se realizó con un espectrocolorímetro (Colourflex® – HunterLab). Se determinaron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de muestras frescas y crio-desechadas atmosféricamente. El iluminante de referencia fue D65 (luz de día estándar). Se realizó la estandarización del equipo colocando una caja Petri dentro del puerto del colorímetro y se utilizó los platos de referencia: verde, blanco y negro. La muestra se dispuso sobre la caja Petri, se cubrió con el plato negro para evitar interferencias y se determinó el color. La medida del color se hizo por triplicado, rotando la muestra  $145^\circ$  para cada lectura. Con los datos promedio se calculó la variación del color ( $\Delta E$ ) y el índice de amarillez (IA) de las muestras CDA respecto a las muestras frescas, empleando las ecuaciones reportadas por Ramírez-Navas (2010).

$$\Delta E_{r,s} = \sqrt{(\Delta L_{r,s}^*)^2 + (\Delta a_{r,s}^*)^2 + (\Delta b_{r,s}^*)^2} \quad (4)$$

$$IA = 142,86 \cdot \left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

### **Análisis estadístico**

Los datos reportados se analizaron usando paquete estadístico SPSS® (v. 18.0.0 – SPSS Inc.). Usando análisis de varianza ANOVA se evaluaron diferencias significativas en valores de  $k_m$ ,  $h_i$ ,  $N_H$  y  $t$  respecto al desecante empleado en la cámara

de CDA y al pretatamiento aplicado a las papas. Como análisis post hoc se empleó el test de Scheffé con un nivel de significancia de 0.05.

## **Resultados y discusión**

### **Tiempo de secado**

Las bases que gobiernan la criodesecación atmosférica son similares a las que gobiernan el secado convencional por aire, pudiendo aplicarse las mismas consideraciones matemáticas para el cálculo del tiempo de secado [3]. Para el caso de CDA, utilizando balances de masa y energía y considerando el descenso de la humedad relativa; se asumió entonces un período (muy corto) de secado a velocidad constante, obteniéndose resultados satisfactorios en la predicción del cambio de humedad con respecto al tiempo, hasta el punto de referencia considerado. Las curvas de secado presentaron una corta etapa de secado a velocidad constante (figura 2); una segunda etapa de velocidad variable, caracterizada por un aumento en la velocidad de secado debido a la acción del agente higroscópico empleado, que provoca una notoria disminución de la humedad relativa del ambiente; y una tercera, de velocidad decreciente con muy lenta velocidad de secado.

Para todos los ensayos el tiempo de secado fue extenso, sobrepasando las 200 horas (ver tabla 1). Al colocar agentes higroscópicos en el interior de la cámara de CDA, se esperaba que el empleo de D2 tuviera mayor influencia sobre el tiempo de CDA que D1, pero los resultados presentados en la tabla 1 indican lo contrario, los tiempos de CDA fueron mayores al utilizar D2. En cuanto al tipo de papa, se observa (ver tabla 1) que papa Ch requirió menores tiempo de CDA que papa G, esto es comprensible, ya que inicialmente se determinó que el contenido de humedad en papa G era mayor al de papa Ch.

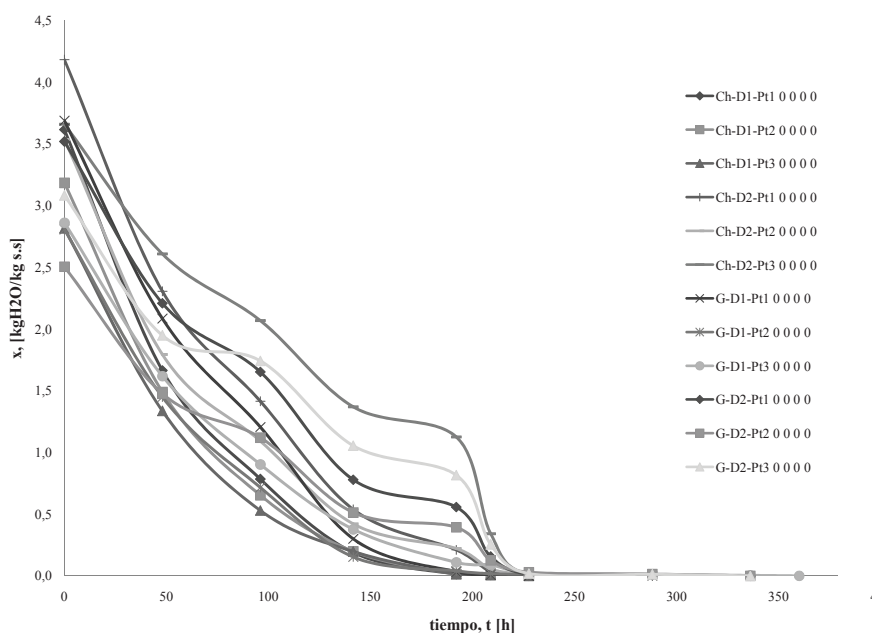


Figura 2 Curvas de secado para papas crio-deseccadas atmosféricamente

Tabla 1 Cuadro comparativo de resultados

Niveles			Coef. de transferencia de masa	Coef. de transferencia de calor	Número adimensional	Tiempo de secado
Papa	Desecante	Pretratamiento	$k_m$ $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	$h_t$ $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$	$N_H$	$t$ $h$
Ch	D1	Pt1	111,70 <sup>cde</sup>	7,20 <sup>abc</sup>	2,63 <sup>de</sup>	200,00 <sup>a</sup>
		Pt2	85,03 <sup>abc</sup>	6,19 <sup>ab</sup>	1,73 <sup>abc</sup>	201,66 <sup>a</sup>
		Pt3	76,44 <sup>ab</sup>	6,32 <sup>ab</sup>	1,59 <sup>ab</sup>	202,06 <sup>a</sup>
	D2	Pt1	148,55 <sup>f</sup>	8,28 <sup>bc</sup>	3,89 <sup>fg</sup>	213,86 <sup>b</sup>
		Pt2	96,32 <sup>bcd</sup>	6,35 <sup>ab</sup>	2,10 <sup>bcd</sup>	303,26 <sup>g</sup>
		Pt3	116,55 <sup>de</sup>	7,40 <sup>abc</sup>	3,43 <sup>fg</sup>	275,18 <sup>de</sup>
G	D1	Pt1	147,68 <sup>f</sup>	9,33 <sup>cd</sup>	3,14 <sup>ef</sup>	245,38 <sup>c</sup>
		Pt2	93,76 <sup>bcd</sup>	7,75 <sup>abc</sup>	1,73 <sup>abc</sup>	274,88 <sup>de</sup>
		Pt3	138,05 <sup>ef</sup>	11,22 <sup>d</sup>	3,98 <sup>g</sup>	293,97 <sup>fg</sup>
	D2	Pt1	116,18 <sup>de</sup>	7,69 <sup>abc</sup>	2,47 <sup>cde</sup>	266,69 <sup>d</sup>
		Pt2	61,77 <sup>a</sup>	5,75 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	293,15 <sup>f</sup>
		Pt3	88,27 <sup>abcd</sup>	6,69 <sup>ab</sup>	2,32 <sup>bcd</sup>	279,58 <sup>e</sup>

a, b, c, d, e, f, g Valores en columna con igual superíndice no presenta diferencias significativas (P > 0.05).

Los valores obtenidos (ver tabla 1) son menores a los reportados para CDA de papa: 720 horas a  $-2^{\circ}\text{C}$  [3], pero mucho mayores a los de: arvejas (*Pisumsativum*) 8h a  $-10^{\circ}\text{C}$  [19], bacalao 10h a  $-5^{\circ}\text{C}$  [8], o murtilla (*Ugnimolinae* Turcz) 13h a 5 y  $15^{\circ}\text{C}$  [20]. Se piensa que las modificaciones realizadas al sistema de CDA en estos últimos trabajos permitieron reducir considerablemente el tiempo de secado.

Alvarado (1996) y Di Matteo *et al.* (2003) concuerdan que el principal inconveniente de la crio-deseccación atmósfera es el aumento en el tiempo de secado, debido a la disminución de la tasa de secado por congelación. Esto a su vez, se debe a la disminución de la difusividad del vapor de agua con aumento de presión en la cámara. Kudra y Mujumdar (2002) indican que debido a que la velocidad de secado es controlada por la difusión molecular del vapor de agua a través de la estructura seca del producto, los tiempos de secado son mayores a la liofilización. Sin embargo, la velocidad de secado puede incrementarse modificando el sistema de CDA. Donsi *et al.*, (2000) y Reyes *et al.*, (2009), maximizaron la circulación del aire frío en la cámara de CDA, posteriormente, lo recirculan a través de un lecho de material desecante antes de reingresarlo a la cámara de CDA logrando reducir su humedad relativa, mejorando la transferencia de masa y calor, y reduciendo el tiempo de secado.

### Transferencia de masa y calor

En la tabla 1 se observa que los mayores valores de  $k_m^*$  se consiguieron con Pt1, y el empleo de D2 en el caso de papa Ch o D1 para papa G. Los valores de  $k_m^*$  obtenidos en papas G y Ch, oscilan entre  $61.77$  y  $148.55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , siendo menores a los reportados para carne de res CDA  $342 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , o para papa CDA  $410.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  [17]. Por otra parte, los valores de  $h_t$  obtenidos se encuentran entre  $5.75$  y  $11.22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ , menores a los reportados por Di Matteo *et al.*, (2003)  $400 - 500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Las diferencias entre  $k_m^*$  y  $h_t$  calculados y los reportados por otros autores, pueden explicarse por la acción de los

compuestos desecantes y la circulación natural del aire empleada en este proceso.

Heldman y Hohner, (1974) señalan que el número adimensional ( $N_H$ ), análogo al número de Biot, permite definir qué mecanismo de transferencia de masa controla el proceso de CDA: interna ( $>100$ ) o superficial ( $<100$ ). En este caso los valores de  $N_H$  (de 1.03 a 3.98) son menores a 100 permitiendo concluir que la CDA de rodajas de papas es controlada principalmente por mecanismos de transferencia de masa desde la superficie del producto hacia el aire.

### Pruebas de rehidratación

En figura 3 se muestran los valores medios de los índices de rehidratación de rodajas de papa CDA. Los valores de IR mayores a 1.7 y menores a 2.7 permiten concluir que las papas CDA no sufren mayor daño estructural. Esto quiere decir que las muestras son capaces de recuperar un 80% del agua total eliminada, que concuerda con lo reportado por Donsi *et al.*, (2000). Los valores de IR obtenidos son similares a los reportados para cubos de bacalao CDA, de 1 a 2.5 [8], o de 1.85 a 2.1 para muestras de ajo [16]. También es posible observar que las muestras pretratadas Pt1 poseen valores mayores de IR que las Pt2, adicionalmente, en las muestras que se empleó D2 como desecante, los valores de IR son mayores que las de D1.

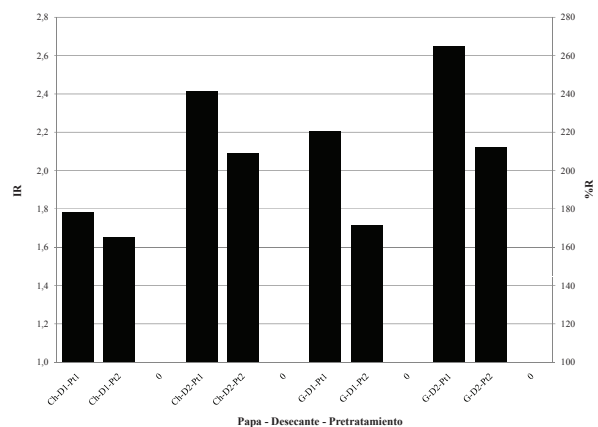
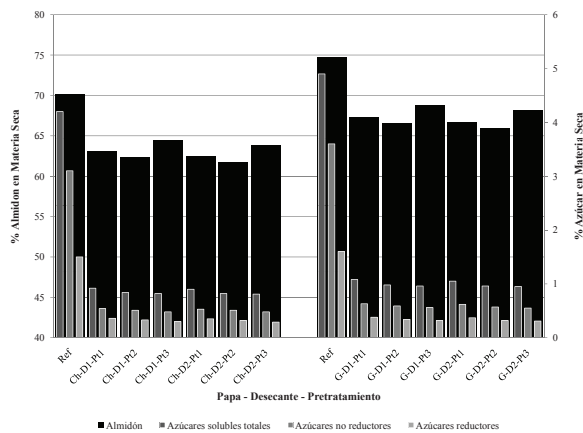


Figura 3 Resultados de las pruebas de rehidratación de rodajas de papa crio-deseccadas atmosféricamente

**Propiedades microbiológicas y fisicoquímicas**

En los análisis microbiológicos se obtuvieron, para todos los casos, valores de ufc/g, upm/g, upl/g menores a 10 y NMP/g menores a 3, que indican que los productos son aptos para el consumo humano y que cumplen con lo estipulado por las normas INEN.

En la figura 4 se observa que es notoria una disminución general de azúcares y almidones, esto se puede atribuir a las pérdidas ocasionadas en la preparación de la materia prima, especialmente durante los pretratamientos.

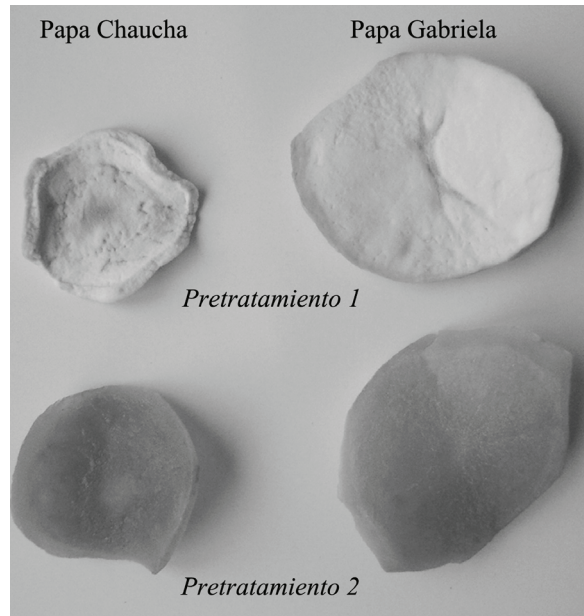


**Figura 4** Variación del contenido de almidón y azúcares en papa CDA

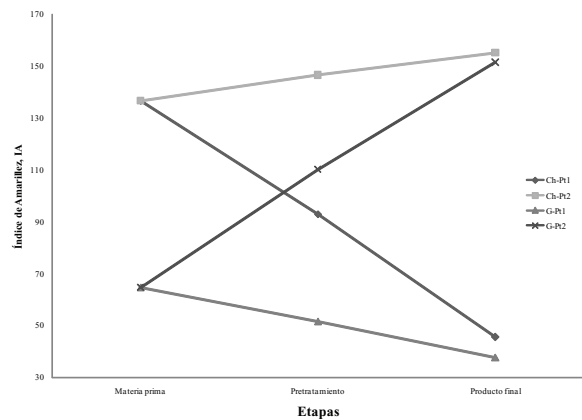
**Propiedades físicas y variación del color**

También en la figura 5, es posible observar que las papas deshidratadas por CDA mantuvieron la forma, aunque sufrieron una reducción del tamaño y algún resquebrajamiento superficial. En la figura 6 se presenta la variación del índice de amarillez durante el proceso. Los valores calculados de IA durante el proceso permiten evaluar la modificación del color respecto al amarillo. A mayor valor de IA, más amarilla es la muestra. Para el caso del pretratamiento Pt1 se observa las pendientes son negativas, indicándonos que las muestras se alejan del amarillo ideal, por el contrario, para el pretratamiento Pt2 la pendiente es positiva, que permite concluir que el color

amarillo se intensifica. Los valores calculados para  $\Delta E$  se encuentran entre 45.8 y 9.4, siendo perceptible al ojo humano la diferencia de color respecto a la muestra original [18].



**Figura 5** Muestras crio-desecadas atmosféricamente de rodajas de papa



**Figura 6** Variación del índice de amarillez durante el proceso

**Conclusiones**

El secado de rodajas de papa por CDA, empleando un desecante, permite eliminar el crecimiento microbiano y las reacciones químicas, pero es



necesario realizar pretratamientos para evitar el pardamiento enzimático y no enzimático. Al someter las papas (Ch o G) al pretratamiento 1 y al emplear D1 como desecante en la cámara de CDA se logra obtener los menores tiempos de secado. Dependiendo el pretratamiento que se aplique al alimento se obtendrán diferentes características en el producto final.

## Agradecimientos

A la Doctora Ruth Zaldumbide y a Laboratorios Industriales Farmacéuticos Ecuatorianos, LIFE, por su apoyo con la donación de compuestos higroscópicos para realizar este trabajo de investigación. Al Doctor Benedict Arku, por su colaboración con la revisión del texto en inglés.

## Referencias

1. C. Condori. "Tecnología del chuño". *Boletín del IDEA*. Puno (Perú). Vol. 2. 42. 1992. pp. 70-97.
2. M. Vargas-Terán. "Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú". *Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina*. Lima (Perú). 2005. pp. 5, 40
3. J. Alvarado. *Ensayos de almacenamiento y estudio de un mecanismo de secado a temperaturas bajas en patatas (Solanum tuberosum)*. 1979. Tesis: Magister Scientifiae. CESNA-INCAP. Universidad de San Carlos de Guatemala (Guatemala). pp.21-27
4. G. Burgos, S. de Haan, E. Salas, M. Bonierbale. "Protein, iron, zinc and calcium concentrations of potatoes following traditional processing as 'chuño'". *J Food Compos Anal*. Vol. 22. 2009. pp. 617-619.
5. J. S. Ramírez-Navas. "Liofilización de alimentos". *Rev. RECITEIA*. Vol. 6. 2006. pp. 7, 28.
6. H. Meryman. "Sublimation freeze-drying without vacuum". *Science*. Vol. 130. 1959. pp. 628-629.
7. G. Donsi, G. Ferrari, P. Di Matteo. *Atmospheric and vacuum freeze drying kinetics of shrimps*. Simposio Internacional de Secado, La Haya (Holanda). Vol. 2000. pp. 279-287.
8. T. M. Eikevik, I. Strømmen, O. Alves-Filho, A. K. T. Hemmingsen. *Effect of operating conditions on atmospheric freeze dried cod fish*. III Conferencia Interamericana de Secado, Montreal (Canadá). Paper XIII-3. 2005. pp. 1-9
9. O. Alves-Filho. "Sweep numerical method and mass transport analysis in atmospheric freeze drying of protein particles". *Heat Mass Transfer*. Vol. 46. 2010. pp. 923-928
10. M. Krokida, V. Karathanos, Z. Maroulis. "Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products". *J. Food Eng*. Vol. 35. 1998. pp. 369-380
11. I. C. Claussen, T. S. Ustad, I. Strommen, P. M. Walde. "Atmospheric Freeze Drying: A Review". *Dry Technol*. Vol. 25. 2007. pp. 957-967.
12. P. Di Matteo, G. Donsi, G. Ferrari. "The role of heat and mass transfer phenomena in atmospheric freeze-drying of foods in a fluidized bed". *J Food Eng*. Vol. 59. 2003. pp. 267-275.
13. N. V. Men'shutina, A. E. Korneeva, H. Leuenberger. "Modeling of Atmospheric Freeze Drying in a Spouted Bed". *Theor Found Chem Eng*. Vol. 39. 2005. pp. 594-598.
14. I. Strømmen, O. Alves-Filho, T. Eikevik. *Atmospheric freeze drying with heat pumps – A new alternative for high quality dried food products*. III Conferencia Nórdica de Secado, Karlstad (Sweden). 2005. pp. 1-12
15. M. Bantle, T. M. Eikevik, T. Rustad. *Atmospheric Freeze-Drying of Calanus finmarchicus and its effects on proteolytic and lipolytic activities*. IV Conferencia Nórdica de Secado, Reykjavik (Iceland). 2009. pp. 1-9
16. O. López. *La temperatura de transición vítrea en el secado convectivo con condiciones variables de ajo (Allium sativum L.)*. Tesis: Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca (México). 2006. pp.33, 75.
17. J. Alvarado. *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. Ed. Radio Comunicaciones OEA. Quito (Ecuador). 1996. pp 469-482.
18. J. S. Ramírez-Navas. "Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos". *Tecnol. Láct. Latinoam*. Vol. 61. 2010. pp. 52-58.
19. O. Alves-Filho, P. García-Pascual, T. M. Eikevik, I. Strømmen. *Dehydration of green peas under atmospheric freeze-drying conditions*. XIV Simposio Internacional de Secado. São Paulo (Brasil). 2004. pp. 1521-1528.
20. A. Reyes, R. Bustos, M. B. Vasquez, E. Scheuermann. "Optimization of "murtilla" berry drying in an atmospheric freeze dryer". *Chem Eng Trans*. Vol. 18. 2009. pp. 183.
21. T. Kudra, A. S. Mujumdar. "Atmospheric Freeze-Drying". *Advanced Drying Technologies*. Ed. Marcel Dekker. New York (USA). 2002. pp. 303-310.
22. D. R. Heldman, G. A. Hohner. "An analysis of atmospheric freeze drying". *J. Food Sci*. Vol. 39. 1974. pp. 147-155.