

## EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO POR AIRE CALIENTE DE MANZANA (*Pyrus malus*) VARIEDAD SAN ANTONIO

### EVALUATION PROCESS OF HOT AIR DRYING APPLE (*Pyrus malus*) SAN ANTONIO VARIETY

*Williams Esteward Castillo Martinez*<sup>1</sup>

*Damian Manayay Sanchez*<sup>2</sup>

*Jorge Marino Dominguez Castañeda*<sup>3</sup>

*Andrianov Lenin Palacios Ambrocio*<sup>4</sup>

*Soledad Mercedes Quezada Berru*<sup>5</sup>

*John Kelby Gonzales Capcha*<sup>6</sup>

Fecha de recepción: 09 junio 2014

Fecha de aceptación: 20 octubre 2014

### Resumen

El secado prolonga la vida útil de los alimentos, conservando su valor nutritivo, debido a la eliminación del agua del producto. En esta investigación se deshidrataron láminas de manzana de 2 mm de grosor y 6,6 cm de diámetro con por aire caliente a temperaturas de 65, 75 y 95°C, para determinar las cinéticas de pardeamiento, degradación de Vitamina C, pérdida de humedad y actividad de agua.

De las cinéticas del proceso secado evaluadas, muestran que el mejor proceso de secado es a temperatura 65°C como a 75°C, siendo más evidente la de 75°C, debido a la eficiencia en el proceso de deshidratación, para el rango de temperaturas de deshidratación entre 65, 75 y 90 °C, la cinética de deterioro de vitamina C es linealmente decreciente con respecto al aumento de la temperatura, ajustándose a una cinética de deterioro de orden 0.

**Palabras claves:** *Secado por aire caliente, cinetica de proceso, vitamina C, Actividad de agua, Pardeamiento.*

### Abstrac

Drying extends the shelf life of the food, preserving nutritional value because of removal of product water. In this research apple slices of 2 mm thick and 6.6 cm in diameter with hot air at temperatures of 65, 75 and 95 ° C were dehydrated to determine the kinetics of browning, degradation of Vitamin C, moisture loss and water activity.

Kinetics of drying process evaluated, showing that the best drying process is a temperature 65 ° C and 75 ° C, being more evident 75 ° C, because of efficiency in the dewatering process, for the

<sup>1</sup> Adscrito a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior USS – Departamento de Agroindustria UNS. Maestro en Gerencia en Industrias Agropecuarias y Pesqueras. Docente en la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo - Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. [wcastillom@crece.uss.edu.pe](mailto:wcastillom@crece.uss.edu.pe).

<sup>2</sup> Adscrito a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Doctor. Docente en la Universidad Le Cordon Bleu, Lima. [dmanayay@gmail.com](mailto:dmanayay@gmail.com).

<sup>3</sup> Adscrito al Departamento de Agroindustria. Maestro en Gerencia en Industrias Agropecuarias y Pesqueras. Docente en la Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. [jmduns@hotmail.com](mailto:jmduns@hotmail.com)

<sup>4</sup> Adscrito al Departamento de Agroindustria. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. [Alpha\\_blondi@hotmail.com](mailto:Alpha_blondi@hotmail.com)

<sup>5</sup> Adscrito al Departamento de Agroindustria. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. [Solmerqb@hotmail.com](mailto:Solmerqb@hotmail.com)

<sup>6</sup> Adscrito al Departamento de Agroindustria. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Perú. [kgc\\_24@hotmail.com](mailto:kgc_24@hotmail.com)

temperature range of dehydration between 65, 75 and 90 ° C, the kinetics of degradation of vitamin C is linearly decreasing with respect to temperature increase, adjusted to a zero order kinetic model of deterioration.

**Keywords:** Hot air drying, process kinetics, vitamin C, water activity, browning.

---

## 1. Introducción

La deshidratación es una de las formas más antiguas de procesar alimentos. Consiste en eliminar una buena parte de la humedad de los alimentos, para que no se arruinen. Se considera de mucha importancia en la conservación de alimentos pues esto nos permite alargar la vida útil de las frutas y poder tener acceso a mercados más distantes, otra de las importancias de conservar frutas deshidratadas es debido a que podremos contar con frutas en épocas que normalmente no se producen, logrando así mejores precios. Los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

Existen diferentes métodos de secado y un mayor número de modificaciones de los mismos. El método escogido depende del tipo de alimento que se va a deshidratar, el nivel de calidad que se puede alcanzar y el costo que se puede justificar. Existen entre los métodos de secado por convección del aire, secadores de tambor o rodillo y secadores al vacío. Algunos de estos sirven para alimentos líquidos y otros para sólidos. Cada uno de estos métodos tiene un número mayor de variantes que se ajustan a las necesidades de volúmenes y características de productos finales.

Actualmente el aire caliente sigue siendo el método de deshidratación más usado en la industria alimentaria y química (Krokida et al., 2003), pero antes de abordar el estudio del secado por aire caliente de un producto y poder predecir la humedad de equilibrio que éste alcanzará en función de las condiciones del aire de secado, es necesario conocer su isoterma de desorción (Vega, 2003), que puede ser descrita por varios modelos matemáticos que utilizan dos o tres parámetros, sin embargo lo interesante es aplicar aquellas ecuaciones en las cuales se utilicen parámetros que tengan explicación física (Krokida et al., 2003).

El secado de vegetales con altas temperaturas afecta a las propiedades organolépticas del producto y su valor nutricional (Jarayaman y Das Gupta, 1995). Durante esta operación se afecta la textura, color, densidad, porosidad y características de adsorción de materiales (Krokida y Maroulis, 2001), además se puede presentar los fenómenos de endurecimiento y encogimiento (Marí, 2002), por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, pues aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo de proceso, p.e. Krokida et al., (2003) han estudiado el efecto de algunas variables tecnológicas, tales como, temperatura de aire, humedad relativa del aire de secado, velocidad del aire y el tamaño de partículas, que influyen en el secado de varios vegetales modelando la cinética del proceso con ecuaciones empíricas.

La presente investigación tiene como objetivos evaluar el proceso de secado por aire caliente de manzana (*Pyrus malus*) variedad San Antonio y evaluar la influencia de la temperatura del aire en los parámetros cinéticos de secado.

## 2. Materiales y métodos

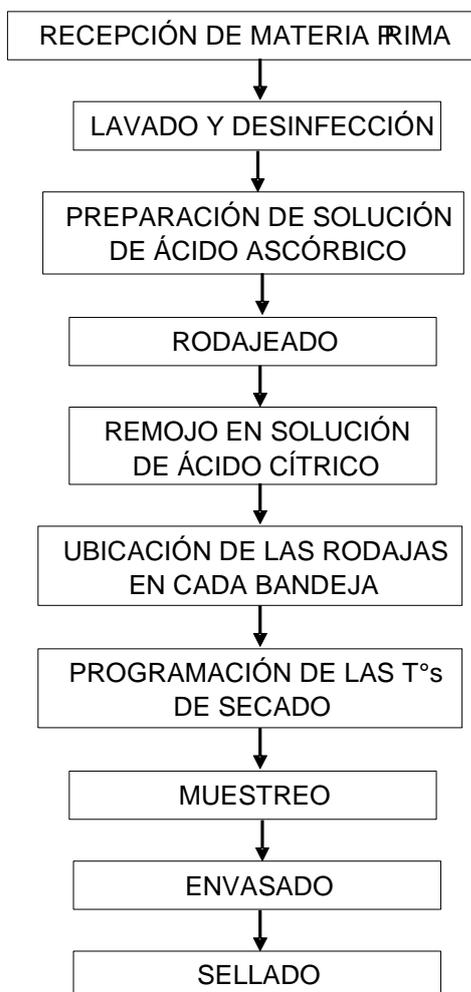
### 2.1. Métodos de Análisis Físico y Químico de la Materia Prima y Producto Final:

Se realizó los siguientes análisis: determinación de humedad usando termobalanza (precisa XM-50), actividad de agua en el equipo Rotronic – Hygrolab 2, color (en el espacio cielab),

usando un colorímetro Konica Minolta CR-400 y Vitamina C por espectrofotometría usando el método de reducción del 2,6 diclorolindofenol.

## 2.2. Proceso de secado de la manzana (*Pyrus malus*) variedad San Antonio:

Se realizó según esquematiza en el figura 01.



### Figura 1

Diagrama de procesos para la evaluación de secado de manzana (*Pyrus malus*) variedad San Antonio por aire caliente.

Fuente: Elaboración propia

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Caracterización fisicoquímico proximal de la manzana (*Pyrus malus*) variedad San Antonio:

En la Tabla 1 se presenta los valores medios experimentales de la humedad, de la fracción másica de sólidos solubles, de los °Brix de la fracción líquida, de la actividad del agua (aw) y del pH que caracterizan los diferentes lotes de la manzana fresca utilizada durante este

estudio. Estos valores se encuentran dentro del intervalo característico para la variedad de manzana empleada (Martínez-Monzó, 1998; Bilbao, 2002; Martín, 2002).

**Tabla 1.**  
*Caracterización fisicoquímico proximal de la manzana utilizada durante el estudio*

Parámetro	Contenido
Humedad ( $g_{\text{agua}}/g_{\text{muestra}}$ )	0.878±0.005
Fracción másica de sólidos solubles ( $g_{\text{ss}}/g_{\text{muestra}}$ )	0.122±0.04
°Brix ( $g_{\text{solutos}}/100g_{\text{muestra}}$ )	12.3±1.4
Actividad de agua	0.922±0.01
pH	3.2±0.2
Vitamina C ( $mg_{\text{solutos}}/100g_{\text{muestra}}$ )	5.634±0.06

*Fuente:* Laboratorio de composición de los alimentos – Universidad Nacional del Santa

### 3.2. Efecto de las condiciones de secado en la velocidad del proceso:

Tal como ya se ha descrito en la metodología, en cada experiencia de secado se determinó, de forma continua, el contenido de humedad de las muestras a lo largo del proceso mediante un balance de materia. A partir de esta humedad y de la inicial (Tabla 2).

La reproducibilidad de las curvas fue bastante buena, lo que se deduce de la pequeña variabilidad de los parámetros obtenidos a partir de ellas para cada tratamiento, tal y como se comenta en el punto siguiente (Figura 2).

**Tabla 2**  
*Efecto de la temperatura del aire en el proceso de secado*

TIEMPO (hr)	TEMPERATURA DE AIRE DE SECADO					
	65°C		75°C		90°C	
	HUMEDAD (B.S.)	Aw	HUMEDAD (B.S.)	Aw	HUMEDAD (B.S.)	Aw
	$g_{\text{agua}}/g_{\text{sólido seco}}$		$g_{\text{agua}}/g_{\text{sólido seco}}$		$g_{\text{agua}}/g_{\text{sólido seco}}$	
0	4.3333	0.747	4.7703	0.7600553	4.9488	0.7648361
1	1.4331	0.722	1.2406	0.678729	1.0589	0.6304323
2	0.324	0.411	0.2757	0.3629632	0.2449	0.3303788
3	0.0818	0.408	0.07	0.3529524	0.0449	0.2320635
4	0.0685	0.366	0.0591	0.3186084	0.0221	0.1233323
5	0.0521	0.359	0.0514	0.3546485	0.02	0.1421495
6	0.0467	0.347	0.0322	0.2427444	0.0156	0.1198161
7	0.0403	0.339	0.031	0.2636667		

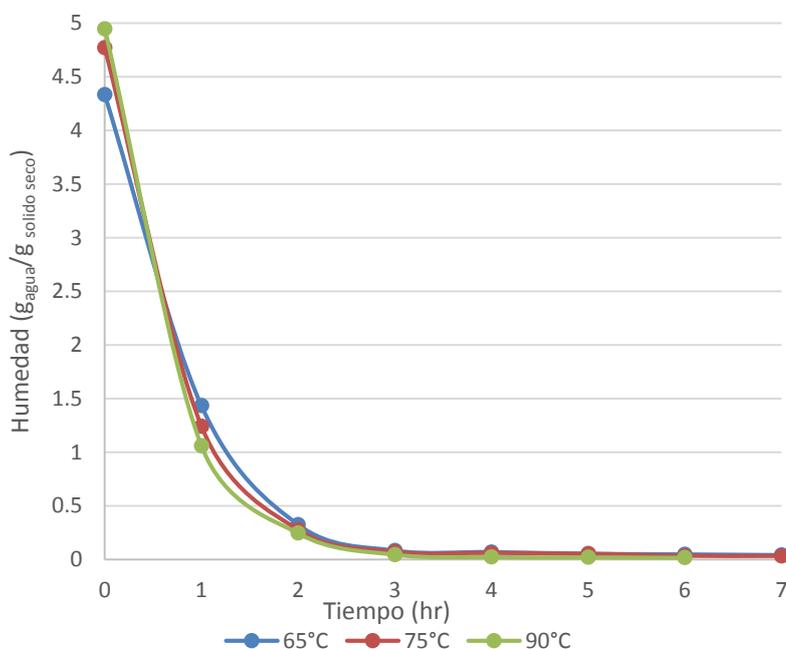
En la Figura 2 se pueden observar que en el secado, al incrementar la temperatura, se presenta una mayor pérdida de humedad en menos tiempo, de lo cual podemos concluir que la mayor temperatura del aire implica mayor velocidad de secado.

Al aumentar la temperatura del aire se incrementó la pendiente de la curva de deshidratación de la manzana, implicando como consecuencia una disminución en el tiempo de secado (Figura 2). Esto ocurre por una combinación de dos factores. Primero, un aumento en la temperatura de secado provoca un incremento en la temperatura del producto y en el coeficiente de difusión del agua, consiguiendo que la velocidad de secado sea apreciablemente menor. A esto se suma que a mayor temperatura la humedad relativa del aire es menor, lo que aumenta su capacidad para absorber agua, favoreciendo la remoción de humedad (Bimbenet et al. 1985, Intermedia te Technology Development Group 1998).

El periodo de velocidad de secado constante observado durante un cierto tiempo en los tratamientos podría estar asociado a una velocidad de evaporación superficial de agua del mismo orden de magnitud que la velocidad con la que el agua se difunde desde el interior del producto hacia la superficie. La generación interna de calor relacionada con la aplicación de microondas supone un calentamiento interno más rápido. (Constant y Moyne, 1996; Maskan e Ibanoglu, 1998).

Un factor muy importante en la evaluación del proceso de deshidratación, que se deriva de los aspectos relacionados con la velocidad del mismo, es el tiempo necesario para lograr los niveles de humedad requeridos. En este sentido es bien conocido que una mayor temperatura del aire pero también la aplicación de otros métodos pre-tratamiento como microondas permite una significativa reducción en el tiempo de secado (Fito et al., 2001; Maskan, 2000; Piotrowski et al., 2004).

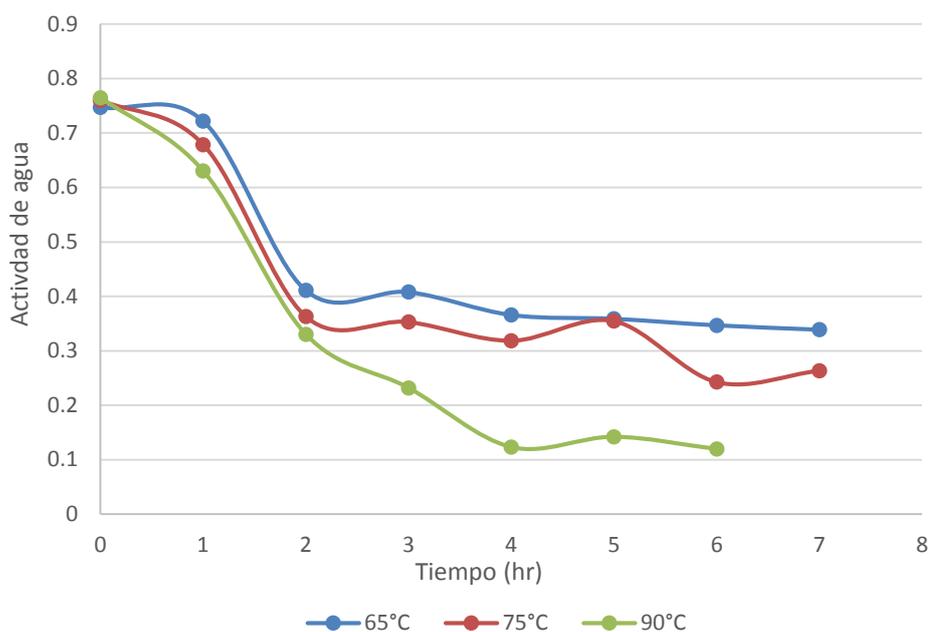
Como se puede ver en la Figura 3, a diferentes temperaturas de aire de secado la actividad de agua disminuye siendo más pronunciada la curva para temperatura de 90°C, siendo el descenso de esta más rápido en las 3 primeras horas para las 3 temperaturas evaluadas, y partir de ese tiempo la variación de actividad de agua es menos pronunciada.



**Figura 2**

*Curva de secado para diferentes temperaturas del aire en el proceso de secado*

**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 3**

*Cinética de cambio de Actividad de agua para diferentes temperaturas del aire en el proceso de secado*

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.3. Efecto de las condiciones de secado en la cinética de deterioro de vitamina C y color:

En el Tabla 3 se presenta el efecto de las condiciones de secado en la cinética de deterioro de vitamina C y del color para cada una de las temperaturas evaluadas.

En la Figura 4 se puede ver como es la cinética de cambio de la Luminosidad para diferentes temperaturas de aire secado, del cual se puede observar que para una temperatura de 65°C la luminosidad aumenta y se mantuvo constante para todo el periodo de secado, caso contrario sucedió para las temperaturas de 75°C y 90°C donde la manzana tendió a oscurecerse más cuando mayor es la temperatura, siendo este descenso mucho mayor entre las 3 primeras horas de secado.

Se realizó el cálculo de la variación total de color con la finalidad de evaluar la cinética de deterioro de color por efecto de las condiciones de secado, en la Figura 05 se ve el comportamiento de los resultados obtenidos. Se puede ver que a temperatura de 65°C no hay mucha variación del cambio de color, caso contrario sucede conforme aumentamos la temperatura. Se puede observar que en las dos primeras horas de secado los cambios de color son más pronunciadas.

Un estudio de secado de manzana, relacionado con el pardeamiento enzimático de discos de manzana Granny Smith de 22 mm de diámetro y 10 mm de espesor, demuestra que los mayores cambios en la variación de color se dieron durante las primeras horas del proceso de secado (Fernández, P.2007).

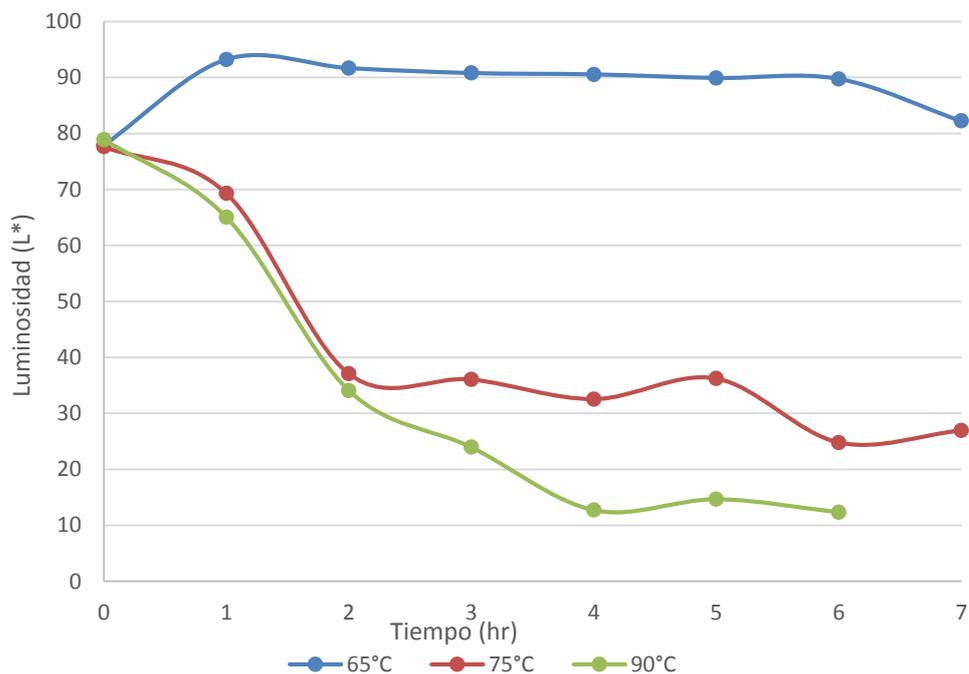


**Tabla 3**

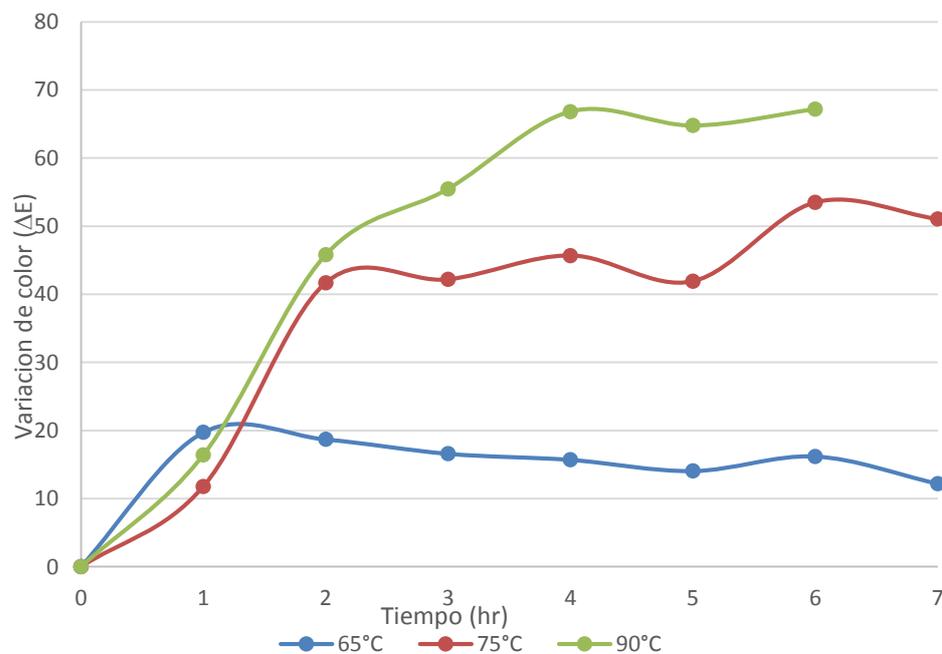
*Efecto de las condiciones de secado en las variables fisicoquímicas de la manzana.*

TIEMPO (hr)	TEMPERATURA DE AIRE DE SECADO														
	65°C					75°C					90°C				
	L*	a*	b*	ΔE*	Vit. C mg/100g	L*	a*	b*	ΔE*	Vit. C mg/100g	L*	a*	b*	ΔE*	Vit. C mg/100g
0	77.92	-9.99	27.98		5.0973	77.62	-9.09	27.32		5.0928	78.92	-8.99	26.92		5.0113
1	93.21	-1.38	18.97	19.726	4.8846	69.315	-8.1174	19.01	11.789	4.3643	65.051	-7.4102	18.27	16.421	3.9027
2	91.67	-2.1	18.07	18.696	4.0882	37.067	-4.3409	18.94	41.681	3.5905	34.09	-3.8833	19	45.809	2.8348
3	90.79	-0.96	22.68	16.591	3.1199	36.045	-4.2212	22.09	42.185	2.9887	23.946	-2.7277	22.68	55.492	2.233
4	90.55	-2.4	22.56	15.7	2.7986	32.538	-3.8104	22.11	45.689	2.5724	12.726	-1.4497	21.56	66.837	1.8167
5	89.91	-4.53	23.08	14.056	2.4457	36.218	-4.2415	22.98	41.91	1.9932	14.668	-1.6708	23.08	64.782	1.2376
6	89.75	-0.88	21.7	16.198	1.9887	24.79	-2.9031	21.7	53.487	0.6765	12.363	-1.4083	21.7	67.19	0.1041
7	82.23	1.42	28.08	12.197	0.7217	26.927	-3.1534	27.98	51.044	0.6357					

*Fuente: Laboratorio de composición de los alimentos – Universidad Nacional del Santa - Fotocolorímetro*



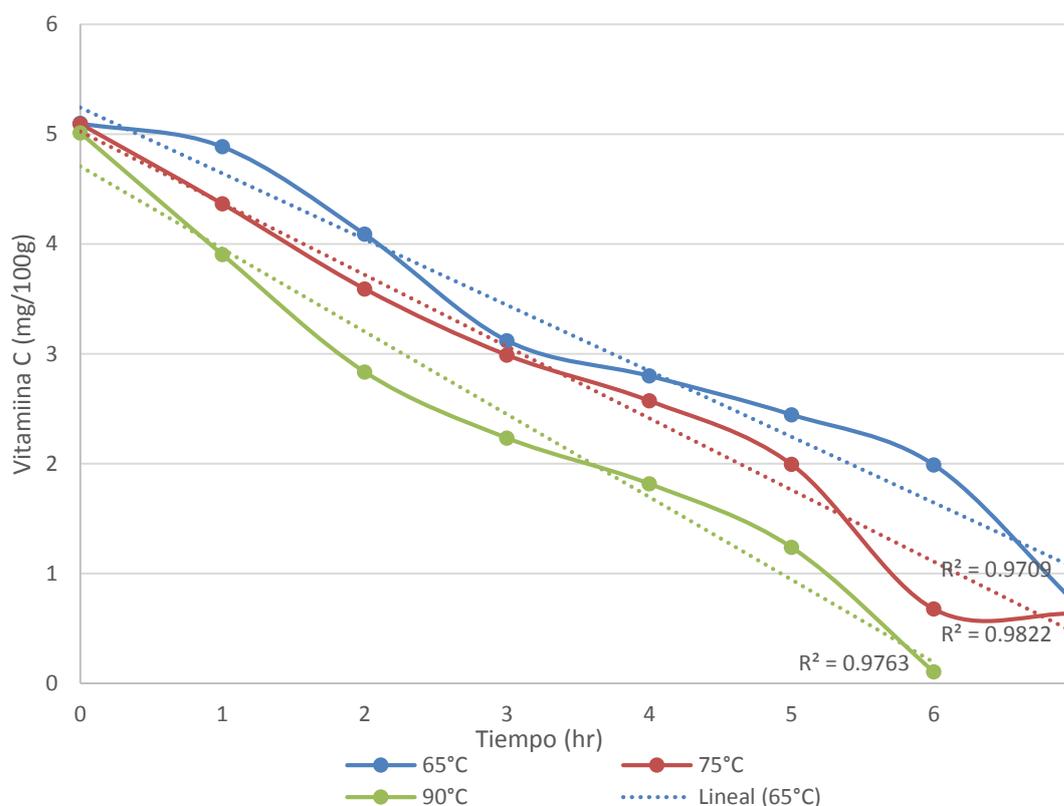
**Figura 4**  
 Cinética de cambio de Luminosidad para diferentes temperaturas del aire en el proceso de secado  
 Fuente: Laboratorio de composición de los alimentos – Universidad Nacional del Santa - Fotocolorímetro



**Figura 05:**  
 Cinética de cambio de color total ( $\Delta E$ ) para diferentes temperaturas del aire en el proceso de secado  
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se puede observar la cinética de deterioro de la Vitamina C para las diferentes condiciones de secado, se puede observar que a mayor temperatura la pérdida de vitamina C es mayor, y tiene un comportamiento de tipo lineal, la cual hace sugerir que la cinética de deterioro de vitamina c se adecua a una cinética de Orden 0 ya que sus valores de  $R^2$  son muy próximos a 1.

De acuerdo a Potter y Hotchkiss (1995), la vitamina C es una sustancia altamente termosensible, fácilmente destruida por oxidación especialmente a altas temperaturas, presentando alguna facilidad de pérdida durante procesos de transformación, almacenamiento y cocido. Además, el contenido de vitamina C en un alimento es afectada por su pH, concentración de iones de metal, presencia de oxígeno, materiales de empaque, disponibilidad de oxígeno, actividad acuosa y radiaciones electromagnéticas (Richardson y Finley, 1985).



**Figura 6**

Cinética de deterioro de Vitamina C para diferentes temperaturas del aire en el proceso de secado.

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4. Conclusiones

- La cinética de secado en combinación con las variables fisicoquímicas analizadas, menor degradación de vitamina C y menor actividad de agua, muestran que el mejor el secado es tanto a 65°C como a 75°C, siendo más evidente la de 75°C, debido a la eficiencia en el proceso de secado.
- Para el rango de temperaturas de deshidratación entre 65, 75 y 90 °C, la pérdida de vitamina C es linealmente decreciente con respecto al aumento de la temperatura, adecuando a una cinética de deterioro de orden 0.

## 5. Referencias

- Bilbao, C. (2002). Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana Granny Smith. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Bimbenet, JJ; Daudin, JD; Wolff, E. (1985). Air drying kinetics of biological particles. In: proceeding Fourth International Drying Symposium, Kyoto. (pp. 178-185). Washington, DC.
- Constant, T.; Moyne, C. (1996). Drying with internal heat generation: theoretical aspects and application to microwave heating. *AIChE Journal*. 42, 359-368.
- Fernández, A. Pricila Andrea, (2007). Estudio de la impregnación a vacío de miel y su efecto en atributos de calidad de hojuelas de manzana (var. Granny Smith) deshidratadas. Trabajo de grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- Fito, P.; Andrés, A.; Barát, J.; Abors, A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Intermediate Technology Development Group. (1998). Libro de consulta sobre tecnologías aplicadas al ciclo alimentario: técnicas de secado. ITDG. (pp. 72). Perú.
- Jarayaman, K.S. y Das Gupta D.K. (1995). Drying of fruits and vegetables, In: Handbook of Industrial Drying. (pp. 643-690). New York. Mujumdar, A.S. Edit. Marcel Dekker Inc.
- Krokida, M. K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B. y Marinos-Kouris D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391-403.
- Krokida, M. K., V.T. Karathanos, Z.B. Maroulis y D. Marinos-Kouris (2003). Drying kinetics of some vegetables, *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391-403
- Krokida, M. y Maroulis Z.B. (2001). Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(5), 529-538
- Marí, M.J. (2002). Cinética de transferencia de materia durante el proceso de rehidratación de cubos de pimiento seco (*Capsicum Annuum* L.). Trabajo Fin de Carrera, Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia, España
- Martín, M.E. (2002). Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (var. Granny Smith). Influencia del pretratamiento por impregnación a vacío. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martinez-Monzó, J. (1998). Cambios físico-químicos en la manzana “Granny Smith” asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez-Monzó, J., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A. and Fito, P. (1998). Mechanical and structural changes in apple (var. Granny Smith) due the vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science*, 63(3), 499.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
- Maskan, M.; Ibanoglu, S. (1998). Drying behaviour of infrared dried tarhana dough. En: Proceeding of Food Engineering Congress, (pp. 171-177).

Piotrowski, D.; Lenart, A.; Wardzynski, A. (2004). Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*, 65, 519-525.

Potter, N.M. and Hotchkiss, J.H. *Food Science*. (pp. 608). 5ed. New York: Chapman and Hall, 1995.

Richardson, T. and Finley, J.W. (1985). *Chemical changes in food processing*. (pp. 195-514). New York: AVI.

Vega, A. (2003). Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum* L.) var. Lamuyo, Tesis Doctoral, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España