

+Efecto de la temperatura y tiempo de secado en las propiedades fisicoquímicas de *Mangifera indica L.*¹

Pedro Arevalo, Constanza Melean y Gladys Quevedo

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
Maracaibo, Venezuela.

Correo Electrónico: parevalorene6@gmail.com constanzamelean@gmail.com y gladxdx@gmail.com

Recibido: 15-12-2020

Aceptado: 12-04-2021

Resumen

La presente investigación buscó determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de muestras de *Mangifera indica L.* (mango). Para ello, se pre-trataron láminas de mango, variedad Tommy Atkins, de 5.5 x 3.5 x 0.7cm de largo, ancho y espesor. Se determinaron sus grados Brix, concentración de ácido ascórbico y humedades alcanzando un máximo de 85.16±0.01%. Se desarrolló un diseño experimental secando nueve muestras a 60°C, 90°C y 120°C, durante 1h, 4h y 7h, midiendo humedad perdida y ácido ascórbico por Espectrofotometría UV Visible. Fueron elaboradas: gráficos de humedad perdida versus tiempo, las cuales a 60°C y 90°C mostraron resistencia para vaporizar el agua por sus interacciones moleculares con los carbohidratos y proteínas; gráficos de absorbancia versus concentración; con las concentraciones y humedades, se construyeron superficies de respuesta en función de temperatura y tiempo encontrando valores óptimos de 5.0747 mg/100g mango, 57.76% humedad perdida.

Palabras clave: Ácido ascórbico, pérdida de humedad, interacciones moleculares, conservación, superficie de respuesta.

Effect of the temperature and time of drying on the physical-chemical properties of *Mangifera indica L.*

Abstract

The present investigation looked for determining the effect of temperature and time of drying on the physical-chemical properties of *Mangifera indica L.* (mango). To do this, mango slices, Tommy Atkins variety, of 5.5 x 3.5 x 0.7cm of length, width and thickness were pretreated. Its Brix grades, Ascorbic Acid concentration and moistures reaching a maximum of 85.16±0.01% were determined. An experimental design was developed drying nine samples at 60°C, 90°C and 120°C, during 1h, 4h and 7h, measuring lost moisture and Ascorbic Acid by Visible UV Spectrophotometry. There were elaborated: plots of lost moisture versus time, which at 60°C and 90°C showed resistance to vaporize the water by its molecular interactions with the carbohydrates and proteins; plots of Absorbance versus concentration; with the concentrations and moistures, surfaces of response were built in function of temperature and time finding optimal values of 5.0747 mg/100g mango, 57.76% lost moisture.

Keywords: Ascorbic acid, moisture loss, molecular interactions, conservation, surface of response.

Introducción

La elaboración de láminas de mango deshidratado se efectúa en función de su conservación, mediante tratamientos térmicos. En consecuencia, estos sufren modificaciones en las propiedades nutricionales y organolépticas, como son la pérdida de nutrientes sensibles al calor, la degradación o vaporización de componentes que aportan color, aroma y sabor, el oscurecimiento, entre otros cambios físicos y químicos. Aunado a lo anterior, es imperante garantizar su calidad nutricional y mantener una buena presentación. Guiné [1] indica que la calidad de los alimentos deshidratados es reducida drásticamente en comparación con el alimento en estado fresco, y por ello se requiere de minimizar cambios químicos como el oscurecimiento enzimático y no enzimático, maximizando la retención de macronutrientes, micronutrientes como las vitaminas y minerales, entre otros componentes del alimento.

El ácido ascórbico es un nutriente hidrosoluble muy sensible a la luz y al calor, lo cual junto con la degradación de otros nutrientes genera pérdidas de color. Aunado a lo anterior, durante el secado también se producen pérdidas de peso de las muestras. Actualmente se cuenta con el aporte de varios autores, entre ellos se tiene a Ordóñez & Yoshioka [2] describen la cinética de degradación del ácido ascórbico en muestras de mango variedad Tommy Atkins dentro del rango de temperaturas de secado de 60°C, 70 °C y 80 °C durante 5 min, 10 min y 15 min, en el cual se observó la pérdida de este nutriente en las condiciones descritas. Así mismo, Chiroque [3] demuestra la pérdida de concentración de Ácido ascórbico en muestras de mango variedad Haden durante un proceso de calentamiento a 75°C, 85 °C y 95 °C para varios tiempos, entre ellos se observó como la concentración del ácido ascórbico, la cual en su estado inicial se encontraba en 14.6 mg AA/100 g mango, al secarse a 95 °C durante 1 h se redujo hasta 5.1 mg AA/100 g mango.

Por esta razón, en la presente investigación se plantea determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de muestras de *Mangifera indica L.* (mango). Para cumplir con ello, se realizó el pretratamiento de muestras de mango variedad Tommy Atkins, se caracterizaron muestras de mango fresco para determinar sus propiedades fisicoquímicas iniciales, luego se seleccionaron como propiedades fisicoquímicas la concentración de ácido ascórbico y el porcentaje de humedad perdida durante el proceso de secado, en estas variables se basaron los estudios principales de la investigación.

La selección de las variables mencionadas anteriormente se efectuó con base a los criterios de factibilidad según lo estipulado por la literatura consultada referente a metodología y factibilidad en la investigación, Hurtado [4]. Así mismo, se desarrolló un diseño experimental para secar varias muestras de mango y conocer el cambio en dichas propiedades. Para culminar, se utilizó la metodología de superficies de respuesta para conocer las condiciones óptimas de secado y el valor de la concentración de ácido ascórbico y humedad pérdida en estas condiciones, dentro del rango de temperaturas y tiempos especificados.

Esta investigación se enfocó en las condiciones óptimas de temperatura y tiempo de secado para la obtención de fruta seca (mango) con el mayor contenido nutricional posible y mayor eficiencia de secado, esto representó un aporte en el área de conservación de alimentos, enfocado en la operación de secado de mangos. Esto se logró mediante la determinación de las concentraciones de Ácido ascórbico relacionando la misma con la absorbancia mediante el uso de la Espectrofotometría UV Visible y las curvas de secado que expresan la pérdida de humedad de las láminas durante el secado. Entre los procesos que se llevaron a cabo se encuentra el despulpado de la fruta, secado, caracterización y análisis estadístico por medio de superficies de respuesta.

Materiales y Métodos

Siguiendo la metodología de determinación de humedad en los alimentos deshidratados establecida por la Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN [5] se procedió a determinar la humedad total contenida en las láminas de mango fresco de variedad Tommy Atkins con la Ecuación 1, en la cual se tiene la masa de la cápsula (M_1), la masa de la cápsula con la muestra antes de secar (húmeda) (M_2) y masa de la cápsula con la muestra después de secar (M_3), todas medidas en gramos. Se secaron muestras a 105 °C.

$$\% \text{Humedad} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \cdot 100 \quad (1)$$

En adición a la humedad, se midieron los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) de las láminas de mango fresco para conocer de manera estimada su contenido de azúcares. Esto fue llevado a cabo siguiendo la metodología establecida en el manual del equipo y los criterios establecidos por Encalada [6]. En las mismas láminas también se midió la concentración de Ácido ascórbico por Espectrofotometría UV Visible, elaborando una gráfica de trabajo de Absorbancia en función de concentración de Ácido Ascórbico, preparando extractos del mango y diluyéndolos con el mismo solvente seleccionado el cual se trató de metanol, cónsono con los criterios establecidos por Torres [7]. Las concentraciones de los extractos de mango diluidos (C_D) se obtuvieron con la gráfica, sin embargo, las concentraciones de interés para el estudio corresponden a los extractos concentrados (C_C), estos fueron calculados con la Ecuación 2, donde el volumen de solución diluida (V_D) equivale a 10.25 ml y el volumen de solución concentrada (V_C) equivale a 0.25 ml.

$$C_C = \frac{C_D \cdot V_D}{V_C} \cdot \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} \cdot \frac{10 \text{ ml}_{\text{Solvente}}}{1 \text{ g}_{\text{Muestra}}} \quad (2)$$

Se procedió a elaborar un diseño experimental siguiendo los pasos establecidos por el Asistente de Diseño de Experimentos del programa STATGRAPHICS® Centurion XVI para construir un modelo de superficie de respuesta que permitiese encontrar las condiciones óptimas de temperatura y tiempo de secado, basado en la data a obtener de concentración de Ácido ascórbico y porcentaje de humedad perdida. En dicho asistente se introdujo un rango de temperaturas de 60-120 $^{\circ}\text{C}$ y de tiempos de 1-7 h que representan los rangos utilizados en la presente investigación. Una vez que el programa determinó el número de muestras a elaborar, se procedió a desarrollar el proceso de secado según las combinaciones de temperatura y tiempo establecidas por el programa en su diseño experimental.

Utilizando la ecuación 1 se calcularon los porcentajes de humedad perdida de las muestras secadas, fueron introducidos en el libro de datos del programa estadístico. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta para hallar las condiciones óptimas de secado junto con el valor de las propiedades fisicoquímicas bajo estas condiciones. Para elaborar la superficie de respuesta y buscar la región del óptimo se siguió el procedimiento descrito en el manual del programa, con base a la teoría expuesta en la literatura de Montgomery [8].

Resultados y Discusión

La Tabla 1 expone los resultados encontrados de humedad total presente en dos láminas de mango pretratado, acompañado de sus grados Brix y concentraciones de Ácido Ascórbico.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del mango.

Nº de muestra	% Humedad	Grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$)	Concentración de Ácido Ascórbico (mg AA/100 g mango)
1	85.16 \pm 0.01	13.09 \pm 0.03	12.2303
2	83.92 \pm 0.01	13.05 \pm 0.03	11.4472

Los resultados de humedad total se obtuvieron a 17 h de secado, tiempo en el cual las láminas presentaron masa constante. Estos resultados reflejan el alto contenido de agua que poseen las láminas, a su vez concuerdan con los valores encontrados por Ito *et al.* [9] quienes obtuvieron un valor de 85.98 \pm 1.73 % en láminas de mango de 5 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 0.9 cm de espesor. Por su parte, De Medeiros *et al.* [10] obtuvo un valor de 88.75 \pm 0.25 % al trabajar con láminas de 3.0 x 5.0 x 0.5 cm.

Con respecto a los grados Brix, los resultados concuerdan con los reportados por Alvis-Bermudez *et al.* [11] quienes obtuvieron un valor de 12.3 \pm 0.7 $^{\circ}\text{Bx}$, De Medeiros *et al.* [10] obtuvieron un valor de 14.0 \pm 0.3 $^{\circ}\text{Bx}$. Zuluaga *et al.* [12] de 12.41 \pm 0.46 $^{\circ}\text{Bx}$, mientras que Fernández *et al.* [13] reportaron

un valor de 16.33 ± 0.12 °Bx. Todos corresponden a la variedad Tommy Atkins. Adicionalmente, de acuerdo con Jiménez [14], estos resultados superiores a 13 °Bx califican dentro del rango de maduración máxima de mangos variedad Tommy Atkins, lo cual confirma que los mangos utilizados en esta investigación presentaron la mayor maduración al momento de desarrollar las pruebas.

De manera similar las concentraciones de Ácido ascórbico encontrados son parecidos a los encontrados por Ribeiro-Rocha *et al.* [15] de 11 mg AA/100 g de mango fresco, y también se asemeja a lo reportado por Jiménez [14] quien obtuvo un valor de 15.88 mg AA/100 g de mango fresco, sin embargo, este último autor obtuvo un valor mayor a los anteriores debido a que la lámina de mango se mezcló con un extracto el cual añadió una concentración adicional de Ácido Ascórbico. A partir de los porcentajes de humedad perdida en cada lámina por efecto del secado, calculadas mediante la Ecuación 1, a continuación se muestran las figuras que expresan la pérdida de humedad en función del tiempo para las tres temperaturas evaluadas en la investigación. Cada curva corresponde al modelo de regresión que mejor se ajustó a los respectivos datos.

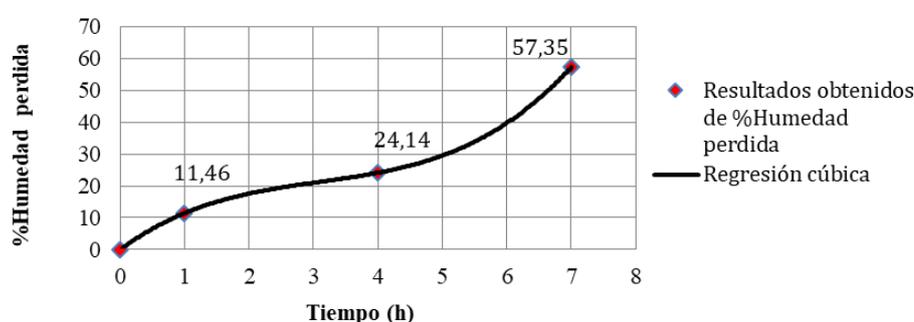


Figura 1. Curva de secado para 60 °C a distintas horas.

En la figura 1 se observó un tratamiento térmico suave, caracterizado por una remoción lenta en el intervalo de 1-4 h y rápida en el intervalo de 4-7 h del agua libre presente en las láminas de mango. Cabe destacar que la remoción no fue total puesto que el secado hasta 7 h logró eliminar 57.35 % del agua y no llegó al 85.16 % de humedad total reportada en la Tabla 4.2, razón por la cual se puede decir que el proceso no fue eficiente bajo las condiciones trabajadas en esta investigación de 60 °C en el intervalo de 0-7 h. El modelo de regresión que mejor se ajustó a este comportamiento fue el cúbico de la ecuación 3.

$$Y = 0.4213X^3 - 3.9147X^2 + 14.953X + 7E-13 \quad R^2 = 1 \quad (3)$$

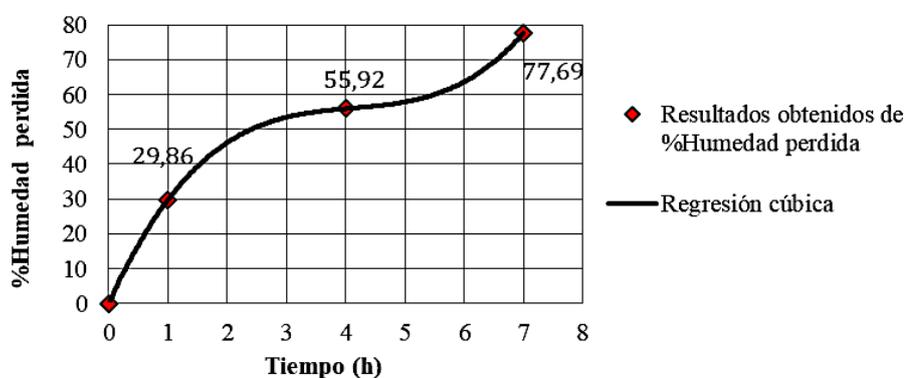


Figura 2. Curva de secado para 90 °C a distintas horas.

En la figura 2 se observó que un tratamiento térmico más fuerte, la remoción de agua es más rápida manteniendo incrementos de entre 20-25 % para los intervalos de tiempo de 1-4 h y 4-7 h. Esta uniformidad indicó que la remoción se trata de agua libre debido a la facilidad de remoción. La pérdida

de humedad a 7 h fue mayor, obteniéndose un valor de 77.69 % próximo a la remoción total y por lo tanto la eficiencia aumentó considerablemente en comparación con el secado a 60°C hasta 7 h. El modelo de regresión que mejor se ajustó a este comportamiento fue el cúbico de la ecuación 4.

$$Y = 0.7221X^3 - 8.904X^2 + 38.042X + 1E-12 \quad R^2 = 1 \quad (4)$$

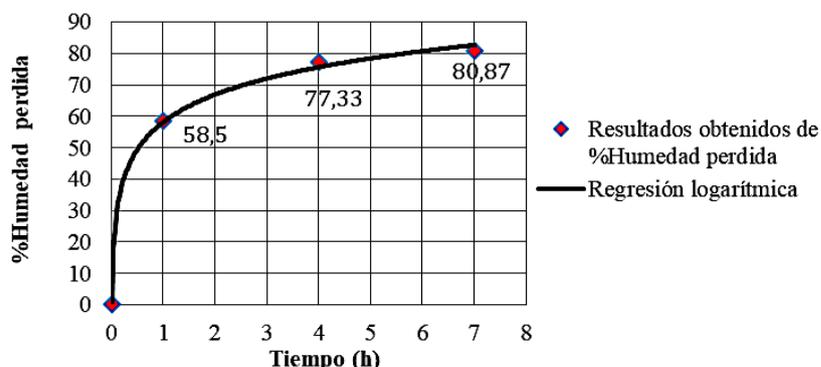


Figura 3. Curva de secado para 120 °C a distintas horas.

En la figura 3 se observó que el modelo logarítmico, mostrado en la ecuación 5, fue el más apropiado para estudiar el comportamiento de la pérdida de humedad en función del tiempo de secado a 120 °C, dentro del rango establecido de 0-7 h. Esto se debe a que dicho modelo es capaz de adaptarse a los valores elevados de pérdida de humedad, los cuales comprueban que este tratamiento térmico es muy severo, posiblemente ocasionando la vaporización excesiva del agua y otros componentes hidrosolubles como el Ácido Ascórbico. Por su parte, el modelo cúbico, a pesar de tener un R^2 igual a la unidad, presentó mínimos y máximos incongruentes con el comportamiento observado en los puntos.

$$Y = 12.579\ln(X) + 58.181 \quad R^2 = 0.9985 \quad (5)$$

El menor de los porcentajes obtenidos fue de 58.50 % con solo 1 h de secado. Este hecho indicó que la remoción de agua es muy rápida, con 7 h de secado bajo esta temperatura se logró remover hasta 80.87 % del agua presente en las láminas. Un aspecto que cabe resaltar es acerca de la pérdida de humedad dentro del intervalo de 1-4 h, la cual incrementó en 18.83 % mientras que en el intervalo de 4-7 h la pérdida de humedad incrementó en 3.54 %. Esto reflejó una menor movilidad del agua posiblemente debido a que ésta estuvo atrapada en la matriz viscosa de la lámina de mango y/o dado que se presentan fuerzas de interacción del tipo Puentes de Hidrógeno con los grupos hidrófilos de los aminoácidos de las proteínas y con los carbohidratos, formando complejos hidratados, Badui [16]

Es decir, en el intervalo de 4-7 h se estuvo removiendo una fracción del agua ligada. Esta interacción ocurre mayormente con las proteínas, ya que, según Kasaai [17] el agua estabiliza la estructura de la proteína mediante la interacción de Puentes de Hidrógeno con el lado hidrofílico de los aminoácidos. Sin embargo, el mismo autor afirma que la matriz viscosa tiene mayor efecto en presencia de bajas concentraciones de polisacáridos combinados con agua, produciendo un gel que la retiene. Lo cual puede ser el caso del mango, ya que en promedio su contenido de agua es mucho mayor al de los carbohidratos.

Con relación al ácido ascórbico, la Ley de Beer-Lambert permite la determinación de concentraciones de disoluciones problema a partir de una recta de calibración. A continuación, se presentan las gráficas de calibración construidas para esta investigación con los valores obtenidos durante el ensayo espectrofotométrico para las soluciones patrón, las absorbancias se midieron en el pico de absorción de 444 nm. En la figura 4 se muestra la calibración absorbancia vs concentración de Ácido ascórbico (ppm)

construida para concentraciones de 0.2, 0.3, 0.5, 0.8, 0.9 y 1 ppm. La elección de este rango de concentraciones es debido a la variedad de mango seleccionado, el cual posee bajas concentraciones de ácido ascórbico. Se observó que la relación entre los valores es una línea recta, por lo tanto, se corrobora que la aplicación de la ley de Beer-Lambert es válida para esta investigación.

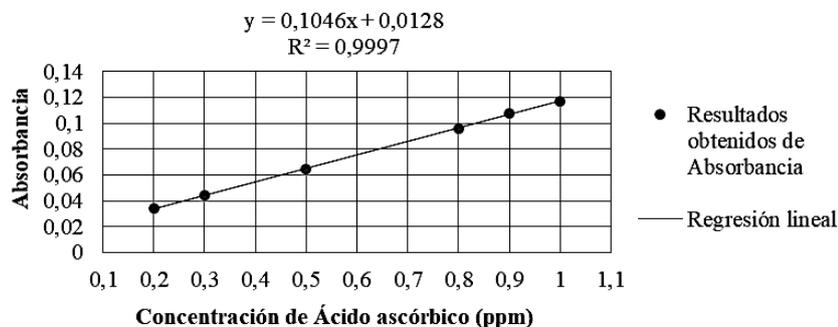


Figura 4. Gráfica de calibración con menor escala de Absorbancia vs Concentración de Ácido ascórbico de soluciones diluidas.

En la figura 5 se observó el mismo comportamiento de la figura anterior, en este caso, se realizó la gráfica de calibración de absorbancia vs concentración de ácido ascórbico con concentraciones mayores del mismo en las soluciones patrones. Se prepararon soluciones de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ppm. Esta gráfica se construyó con la finalidad de realizar un aporte a las futuras investigaciones que requiera de utilizar esta herramienta para estimar concentraciones en otros alimentos.

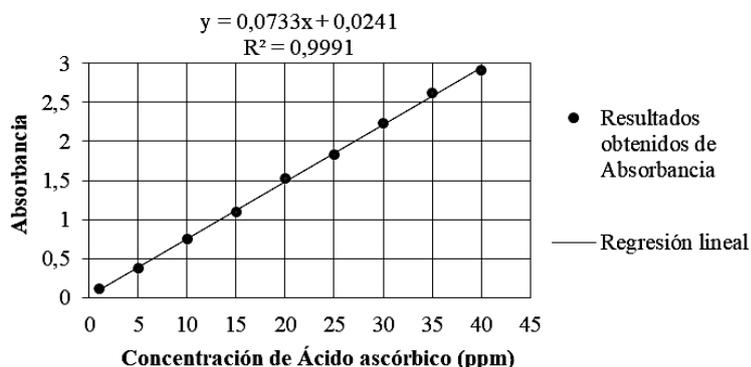


Figura 5. Gráfica de calibración con mayor escala de Absorbancia vs Concentración de Ácido ascórbico de soluciones diluidas.

Seguidamente, la Tabla 2 permitió concentrar la data obtenida en la determinación de absorbancia de las muestras de mango secadas a las temperaturas y tiempos seleccionados, con el fin de relacionarlas posteriormente con la cantidad de Ácido ascórbico presente en las muestras. Se observó que los resultados de absorbancia siguen una tendencia, a medida que aumenta la temperatura y tiempo de secado la absorbancia disminuye, siguiendo una relación inversamente proporcional entre ellas.

Tabla 2. Data para determinar la absorbancia de muestras de mango secadas.

Temperatura Tiempo	Absorbancia		
	60 °C	90 °C	120 °C
0	0.044	0.044	0.044
1 h	0.038	0.030	0.022
4 h	0.033	0.023	0.017
7 h	0.026	0.019	0.013

Los datos obtenidos en las Tablas 2 y 3 se corroboran con lo expresado por la ley de Beer-Lambert, donde se establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de especies que absorben la luz, en este caso del ácido ascórbico, esto se explica debido a que a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas.

Así mismo, se cuenta con la Tabla 3, en la cual se plasman las concentraciones de ácido ascórbico (AA) calculadas mediante la ecuación 3 basada en los datos obtenidos en la gráfica de calibración. Estas concentraciones se utilizaron como variable en el modelo de superficies de respuestas junto con los porcentajes de humedad pérdida. Se observó una clara tendencia, donde, el contenido de ácido ascórbico disminuye conforme aumenta el tiempo de secado y el tiempo de exposición a esta, siguiendo un comportamiento inversamente proporcional.

Este comportamiento lo explica Alvarado [18] y Serra & Cafaro [19], el ácido ascórbico es muy sensible a la temperatura y gran parte de esta se pierde en el procesamiento de alimentos a base de calor, la degradación del mismo se debe a la oxidación que ocurre por la transferencia de dos electrones.

Tabla 3. Concentraciones de Ácido ascórbico en los productos finales.

Temperatura Tiempo	Concentración Ácido ascórbico (mg AA/100 g Mango)		
	60 °C	90 °C	120 °C
0	12.2303	12.2303	12.2303
1 h	9.8769	6.7404	3.6080
4 h	7.9171	3.9975	1.6482
7 h	5.1742	2.4313	0.0779

Se observó en la Tabla 3 las variaciones que presentan las concentraciones de ácido ascórbico presentes en las muestras de mango al aumentar la temperatura, a 120 °C y 1 h se presenta una concentración menor incluso a la obtenida para 60 °C y 7 h, atribuyendo este comportamiento a la naturaleza del ácido ascórbico, ya que es una vitamina hidrosoluble, por ende es soluble en agua, perdiéndose la concentración de la misma en el proceso de deshidratación, aunado esto a su degradación debido al calor.

Al introducir en el programa estadístico los datos experimentales encontrados de concentración de ácido ascórbico y porcentaje de pérdida de humedad, se obtuvieron dos superficies de respuesta por separado, una para cada variable de respuesta en función de los factores controlados (temperatura y tiempo). Éstas proporcionan los modelos matemáticos que sirven de base para la construcción de la superficie unificada. Para lograr lo anterior, se buscó el modelo matemático más apropiado para cada superficie mediante: eliminación de efectos no significativos representados por un valor P mayor que un nivel de significancia de 5 % para generar un modelo más simplificado; búsqueda del mayor R²; menor suma de cuadrados del error total. Al inicio de este proceso, sin eliminar ningún efecto, se tuvieron los estadísticos de la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de varianza para las variables de respuesta estudiadas en el diseño de tres niveles para los dos factores experimentales.

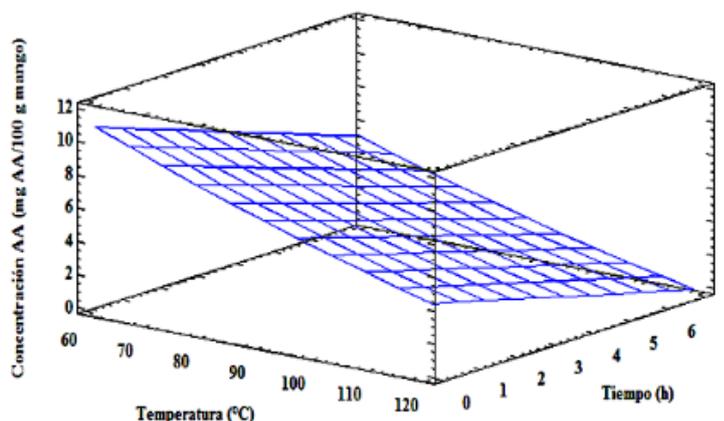
Valor P para los efectos A, B, AA, AB y BB, considerando un $\alpha = 0.05$		
Fuente	Concentración AA	%Humedad perdida
A: Temperatura	0.0002	0.0070
B: Tiempo	0.0006	0.0084
AA	0.2609	0.6304
AB	0.1784	0.2210
BB	0.6200	0.9784
Suma de cuadrados del error total	0.3366	174.791
%R ²	99.5738	96.5916

Para la variable de concentración de Ácido ascórbico se seleccionó el modelo perteneciente a la Tabla 5, compuesto por los efectos A, B, AB y AA, por poseer al mismo tiempo un R² elevado, un valor reducido de suma de cuadrados del error total y por presentar una estructura más sencilla que permitirá su manipulación en futuras investigaciones.

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable de respuesta concentración de Ácido Ascórbico, excluyendo el efecto BB del modelo matemático.

R ² = 99.53 %		Suma de cuadrados del error total = 0.3706		
Términos	A: Temperatura	B: Tiempo	AB	AA
Valor P	0.0000	0.0001	0.1264	0.2030

En la Tabla 5 se muestran los resultados de haber excluido el término BB que presentaba el mayor valor P. Como resultado, el R² se redujo hasta 99.53 % y la suma de cuadrados del error total aumentó hasta 0.3706. Estos cambios no son tan considerables, el modelo sigue siendo aceptable y también es más sencillo. Cabe destacar que los demás términos presentaron un valor P menor, pero continúan siendo no significativos.

**Figura 6. Superficie de respuesta estimada para la variable de respuesta concentración de Ácido Ascórbico.**

A partir de la data de concentraciones de Ácido ascórbico suministrada al programa reportada en la Tabla 3, las condiciones de temperatura (60 °C, 90°C, 120 °C), tiempo (1 h, 4 h, 7 h) y después del análisis de los estadísticos suma de cuadrados del error total, R² y la eliminación de efectos no significativo se procedió a generar la ecuación 6 del modelo ajustado que describe la figura 6 en función de temperatura (T) y tiempo (t), ésta es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 &\text{Concentración AA} \\
 &= 20.1123 - 0.176459 \cdot T - 0.989922 \cdot t + 0.00036368 \cdot T^2 \dots \\
 &+ 0.00325722 \cdot T \cdot t
 \end{aligned} \tag{6}$$

Para la variable de porcentaje de humedad pérdida se seleccionó el modelo perteneciente a la Tabla 6, compuesto por los efectos A, B, AB y AA, por poseer el R² más elevado de en entre los reportados para esta variable de respuesta y por tener una estructura sencilla. Si bien este modelo no es el ideal, representó una aproximación útil para estudiar el comportamiento del porcentaje de humedad perdida en la presente investigación.

Tabla 6.
Análisis de varianza para la variable de respuesta porcentaje de humedad perdida, excluyendo el efecto BB del modelo matemático.

	R ² = 96.59 %		Suma de cuadrados del error total = 174.842	
Términos	A: Temperatura	B: Tiempo	AB	AA
Valor P	0.0016	0.0020	0.1499	0.5710

Tal como se indica en la Tabla 6, al excluir el efecto BB el cual presentó el mayor valor P, se mantuvo igual el R² mientras que la suma de cuadrados del error total aumentó un poco. Los efectos AB y AA redujeron su valor P pero continúan calificando como no significativos. Los estadísticos revelaron que éste comportamiento, en base a la data recopilada bajo la condiciones establecidas en la investigación, no pudo ser mejorado.

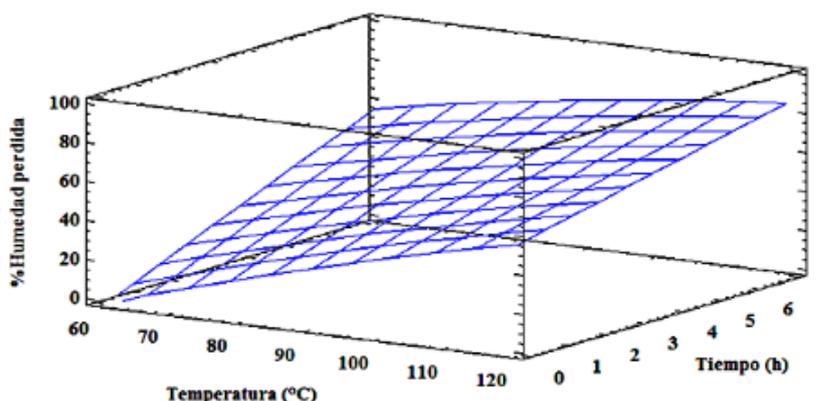


Figura 7. Superficie de respuesta estimada para la variable de respuesta porcentaje de humedad pérdida.

A partir de la data de porcentajes de humedad pérdida suministrada al programa, las condiciones de temperatura (60 °C, 90°C, 120 °C), tiempo (1 h, 4 h, 7 h) y después del análisis de los estadísticos suma de cuadrados del error total y el R² se procedió a generar la Ecuación 7 del modelo ajustado que describe la figura 7 en función de temperatura (T) y tiempo (t), ésta es la siguiente:

$$\begin{aligned} \%H \text{ pérdida} = & -82.6378 + 1.52517 \cdot T + 12.3294 \cdot t - 0.00320185 \cdot T^2 \dots \\ & -0.0653333 \cdot T \cdot t \end{aligned} \quad (7)$$

A partir de este punto, resulta muy importante destacar que la ecuación 6 y la ecuación 7 son válidas únicamente bajo las condiciones de secado seleccionadas en la presente investigación y para la variedad de mangos Tommy Atkins en su estado de maduración máxima. Esto se debe a la naturaleza de las sustancias químicas, las cuales pueden presentar un comportamiento muy diferente bajo otras condiciones de secado. Por otra parte, los diversos factores que mantienen retenida el agua dentro del alimento pueden presentar un comportamiento muy diferente bajo otras condiciones de secado. Por esta razón, se recomienda al lector elaborar otros modelos matemáticos en caso de querer estudiar estas variables con diferentes temperaturas, tiempos, y estado de maduración a los presentados en esta investigación.

Se procedió a graficar la superficie de respuesta de la Figura 8, la cual relaciona las variables fisicoquímicas de concentración de ácido ascórbico y porcentaje de humedad perdida, con los factores experimentales controlados de temperatura y tiempo. Sin embargo, esto representa la estimación inicial del óptimo, es decir, el óptimo mostrado a continuación puede estar cerca o lejos de la región del óptimo verdadero, razón por lo cual más adelante se realizó una búsqueda de esta región.

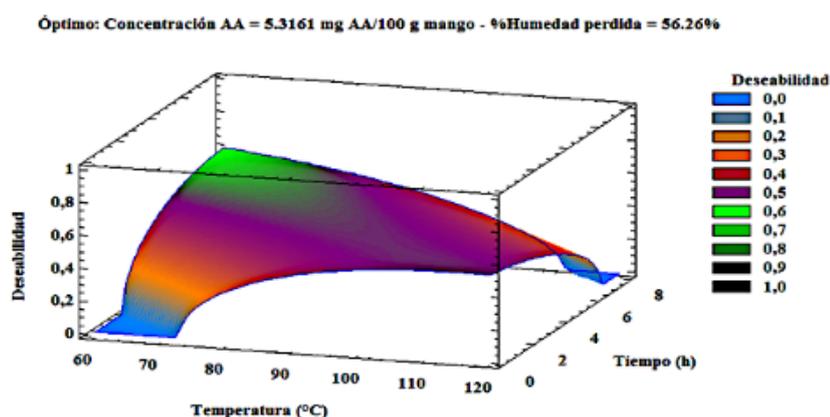


Figura 8. Superficie de respuesta estimada para variables de respuesta concentración de Ácido ascórbico y porcentaje de humedad en función de temperatura y tiempo.

La estimación inicial reveló que las condiciones óptimas se encuentran alrededor de 60 °C y 7 h de secado, generando una concentración de ácido ascórbico de 5.3161 mg AA/100 g mango y una pérdida de humedad de 56.26%, con una deseabilidad de 0.5874. Estas condiciones sirvieron como base para la búsqueda de la región del óptimo verdadero, o para verificar si ya se encuentra dentro de dicha región, en el último paso del asistente de diseños denominado extrapolación.

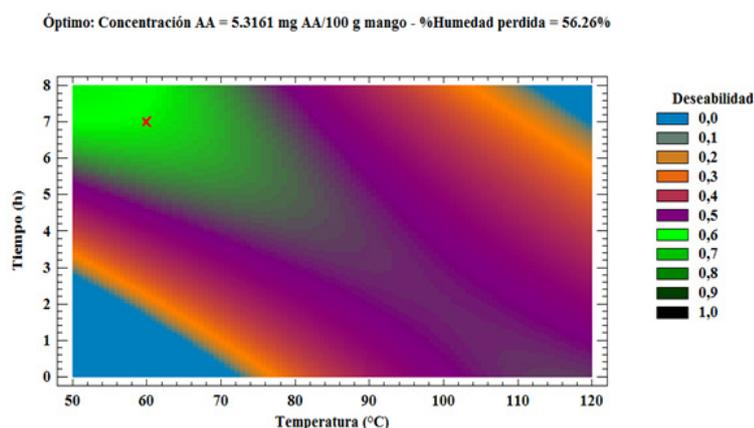


Figura 9. Contorno de superficie de respuesta estimada para variables de respuesta concentración de Ácido ascórbico y porcentaje de humedad en función de temperatura y tiempo.

Al observar la figura 9 se encontró que las condiciones de secado más favorables están en el rango de 50-65 °C durante 7-8 h, según la data suministrada al programa. Esto significa que los tiempos de secado más favorables son mayores a 7 h manteniendo estas temperaturas menores. Se realizó la búsqueda del óptimo verdadero en el centro del diseño, dentro de los rangos de 60-90 °C y 4-7 h. Se efectuaron dos búsquedas, la primera mostrando pasos de 0.1 % lo cual produjo 47 valores de respuesta extrapolados con 47 factores establecidos para la interpolación, la segunda búsqueda con pasos de 0.05 % lo cual aumentó ambas cantidades hasta 87. Ambas búsquedas produjeron los mismos resultados expuestos de manera resumida en la Tabla 7.

Tabla 7. Condiciones óptimas obtenidas por extrapolación.

%Pasos	N° Cálculos	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Concentración Ácido Ascórbico (mg AA / 100 g mango)	%Humedad perdida	Deseabilidad
0.1	47	62.2103	7	5.07471	57.7598	0.589921
0.05	87	62.2103	7	5.07471	57.7598	0.589921

Al observó la Tabla 7 se determinó que las mejores condiciones para el proceso de secado de láminas de mango, de acuerdo al rango de temperaturas y tiempos utilizadas en esta investigación de 60-120°C durante 1-7 h en un horno de convección con aire caliente, corresponden a 62.21 °C durante 7 h para producir una concentración de Ácido ascórbico de 5.0747 mg AA/100 g mango junto con una pérdida de humedad de 57.76 %. Esta pérdida de humedad puede confirmarse con los resultados reportados por otros autores, realizando la diferencia del 57.76 % humedad perdida con la humedad total encontrada de 85.16 ± 0.01 %. El porcentaje de humedad presente en las láminas bajo las condiciones óptimas encontradas es de 27.40 ± 0.01 %. Resultados similares fueron obtenidos por Hernández & Fernández [20] de 26.18 ± 1.00 % de humedad en láminas de mango variedad Tommy Atkins secadas en una estufa convencional a 60 °C en un período de 8-10h. Sin embargo, en cuanto a la conservación se refiere, es necesario modificar esta técnica de secado o implementar otro método de secado para eliminar una mayor cantidad de agua, puesto que resulta muy importante inhibir la proliferación de microorganismos así como también los oscurecimientos.

La deseabilidad de los resultados es de 0.5899, la cual no puede elevarse más dentro del rango de temperaturas y tiempos utilizados en esta investigación. Esto se debió a que según la data suministrada, a mayor pérdida de humedad menor es la concentración del Ácido Ascórbico, por lo que al intentar buscar un tratamiento térmico fuerte para conservar el alimento se pierden sus nutrientes. En consecuencia no fue posible mantener altas concentraciones de esta vitamina durante el tratamiento térmico al introducir las láminas de mango sin protección dentro del horno.

Conclusiones

La pérdida de humedad en láminas de mango variedad Tommy Atkins, secadas a 60 °C, 90 °C y 120 °C en un período de 0-7 h, se ajustan satisfactoriamente a los modelos de regresión no lineal encontrados, siendo estos el cúbico para las dos primeras temperaturas y logarítmico para la última. A partir del comportamiento logarítmico observado en el proceso de secado a 120 °C, se confirmó lo severo que resulta este tratamiento térmico para el mango, ya que produce grandes pérdidas de Ácido Ascórbico, el cual además de ser muy sensible al calor produciéndose su degradación, también es hidrosoluble, por lo cual interactúa con las moléculas del agua y termina vaporizándose con ella. Razón por la cual, desde el punto de vista nutricional, no es factible utilizar tratamientos térmicamente severos con el mango. Por su parte, el secado a 60 °C y 90 °C fue más lento posiblemente debido a la matriz viscosa del mango basada en gel de carbohidratos con agua, el cual mantuvo retenida al agua en su interior.

De acuerdo con el óptimo encontrado mediante la superficie de respuesta unificada, temperaturas de 50-65°C durante 7 h o más para el secado en hornos de convección con aire caliente podrían representar condiciones favorables para la producción de láminas de mango variedad Tommy Atkins. Sin embargo, por la elevada proporción del agua en las láminas de mango es necesario de implementar técnicas capaces de remover un alto contenido de ésta pero manteniendo los nutrientes hidrosolubles.

Referencias

- [1] Guiné, R. The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. *International Journal of Food Engineering*, 4, (2) (2018) 93-100. Recuperado de: 10.18178/ijfe.4.2.93-100
- [2] Ordóñez-Santos, L. & Yoshioka-Tamayo, L. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C EN PULPA DE MANGO (*Mangifera indica* L.). *Vitae*, 19, (1) S81-S83. Medellín, Colombia. (2012) Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914019>
- [3] Chiroque, D. “DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C EN PULPA DE MANGO (*Mangifera indica* L.) VARIEDAD HADEN Y PREDICCIÓN MICROBIOLÓGICA DE VIDA ÚTIL MEDIANTE MODELO DE GOMPERTZ”. (Tesis). Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú. (2017)
- [4] Hurtado, J. Metodología de la Investigación Holística. (3a. Ed.). Fundación Sypal: Caracas, Venezuela, (2000). Recuperado de: <https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigacioc81n-guicc81a-para-la-comprensioc81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf>.
- [5] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 433-83: CAFÉ ELABORADO. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE MASA (1RA REVISIÓN). Comité CT10 Alimentos y Subcomité SC9 Bebidas Estimulantes. Asociación Nacional de Industriales del Café. Caracas, Venezuela. (1983)
- [6] Encalada, H. Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (*Mangifera indica* L.) Variedad Kent. (Tesis de investigación). Universidad Católica Sedes Sapientiae. Chulucanas, Perú. (2017)
- [7] Torres, L. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DEL *CAPSICUM ANNUUM* L. (PIMENTÓN ROJO) SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LA ESPECIA OBTENIDA (PAPRIKA). (Trabajo Especial de Grado). Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela. (2019)
- [8] Montgomery, D. Diseño y Análisis de Experimentos. (2a. Ed.). Limusa, S.A. de C.V.: México, D.F. (2004)
- [9] Ito, A., Tonon, R., Park, K. & Hubinger, M. Influence of Process Conditions on the Mass Transfer Kinetics of Pulsed Vacuum Osmotically Dehydrated Mango Slices. *Drying Technology*, 25, (10) 1769-1777. (2007) Recuperado de: 10.1080/07373930701593263
- [10] De Medeiros, R., Barros, Z., Carvalho, C., Coêlho, A., Maciel, M. & Azoubel, P. Dual-stage sugar substitution in Tommy Atkins mango. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, (1) (2019) 60-64. Recuperado de: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p60-64
- [11] Alvis-Bermudez, A., García-Mogollón, C. & Dussán-Sarria, S. Cambios en la Textura y Color en Mango (Tommy Atkins) Pre-Secado por Deshidratación Osmótica y Microondas. *Información Tecnológica*, 27, (2) (2016) 31-38. Recuperado de: 10.4067/S0718-07642016000200005
- [12] Zuluaga, J, Cortes-Rodríguez, M. & Rodríguez-Sandoval, E. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MANGO DESHIDRATADO APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE Y DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 25, (4) (2010) 127-135. Caracas, Venezuela. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/262477451_Evaluacion_de_las_caracteristicasfisicas_de_mango_deshidratado_aplicando_secado_por_aire_caliente_y_deshidratacion_osmotica

[13] Fernández-Palmar, V., Hernández, J. & Sulbarán, S. Caracterización físico-química y actividad antioxidante de frutos de mango (*Mangifera indica*) cv. Tommy Atkins. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 33, (2016) 216-231. Recuperado de: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27199>

[14] Jiménez, A. DESHIDRATADO DE REBANADAS DE MANGO TOMMY ATKINS UTILIZANDO EXTRACTOS DE SUS SEMILLAS Y METABISULFITO DE SODIO COMO PRETRATAMIENTOS. (Tesis). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México.(2015)

[15] Ribeiro-Rocha, S., Queiroz, J., Queiroz-Ribeiro, M., Campos, F. & Sant A. Antioxidant in Mango (*Mangifera indica* L.) Pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, (2007) 13-17. Recuperado de: 10.1007/s11130-006-0035-3

[16] Badui, D. Química de los alimentos. (6a. Ed.). Pearson Educación: Naucalpan de Juárez, México. (2006). Recuperado de: <https://www.pearsoneducacion.net/mexico/Inicio/quimica-de-los-alimentos-6ed-badui-book>.

[17] Kasai, M. Use of Water Properties in Food Technology: A Global View. *International Journal of Food Properties*, 17, (5) (2014) 1034-1054. Recuperado de: 10.1080/10942912.2011.650339

[18] Alvarado, J. (1996). *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. (2a. Ed.). Organización de los Estados Americanos: Quito, Ecuador. (1996) Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/302119863_Principios_de_Ingenieria_Aplicados_en_Alimentos_2da_ed.

[19] Serra, H. & Cafaro, T. Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41, Buenos Aires, Argentina. (4) (2007) 525-532. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53541410>

[20] Hernández, J. & Fernández, B. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, ANÁLISIS SENSORIAL Y MICROBIOLÓGICO DE LÁMINAS FLEXIBLES DE MANGO (*Mangifera indica* L.). *Scientia Agroalimentaria*, 1, (2013) 26-32. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298194142_ACTIVIDAD_ANTIOXIDANTE_ANALISIS_SENSORIAL_Y_MICROBIOLOGICO_DE_LAMINAS_FLEXIBLES_DE_MANGO_Mangifera_indica_L

Nota especial:

¹Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado Efecto de la temperatura y tiempo de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de muestras de *Mangifera indica* L. (mango), presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.