



**Optimización de parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.)**

**Parameter optimization for fluidized bed dehydration of sachacoriander (*Eryngium foetidum* L.)**

Jaime Basilio-Atencio<sup>1,a,\*</sup>, Juan Flores-Ayala<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Carretera Central km. 1.21; Tingo María; Huánuco, Perú.

<sup>a</sup> Ph.D., ✉ [jaime.basilio@unas.edu.pe](mailto:jaime.basilio@unas.edu.pe),  <https://orcid.org/0000-0002-7006-7724>

<sup>b</sup> Ing., ✉ [floresayalajuanluis@gmail.com](mailto:floresayalajuanluis@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-6434-5484>

\* Autor de Correspondencia: Tel. +51 968942048

<http://dx.doi.org/10.25127/riagrop.20213.700>

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP>  
[revista.riagrop@untrm.edu.pe](mailto:revista.riagrop@untrm.edu.pe)

Recepción: 28 de marzo 2021

Aprobación: 29 de mayo 2021

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons.  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0  
International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0

### Resumen

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicados en la ciudad de Tingo María. Consistió en optimizar la deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.), mediante la metodología de superficie de respuesta, con diseño factorial con tres puntos centrales. Los parámetros evaluados fueron 50, 60 y 70 °C de temperatura y 3.9, 5.5 y 7.1 m/s de velocidad de aire. Se evaluó el pH, acidez, actividad antioxidante y sensorial en las hojas de sachaculantro deshidratado. El análisis estadístico de los resultados fue realizado por ANOVA y prueba de Tukey con el software STATGRAPHICS Centurión XV. La temperatura y velocidad de aire influyeron significativamente en la humedad final ( $p < 0.05$ ) y se obtuvieron como parámetros óptimos de deshidratación 67.1 °C y 7.1 m/s. La humedad final fue de 0.12 g agua/g m.s., en 180 minutos de secado. El modelo matemático de deshidratación describe satisfactoriamente el proceso de deshidratación por lecho fluidizado. La humedad inicial del sachaculantro fue 88.76

$\pm 0.68$  % y, en el deshidratado, se encontró que no existe influencia significativa de los parámetros de deshidratado en la actividad antioxidante ( $p > 0.05$ ). Así mismo, no hubo influencia de los tratamientos en los resultados sensorial de color, aroma y sabor ( $p > 0.05$ ).

**Palabras claves:** Capacidad antioxidante, metodología de superficie respuesta, secado, sensorial.

### Abstract

The research was conducted in the laboratories of Universidad Nacional Agraria de la Selva, located in the city of Tingo María. It consisted in optimizing the dehydration by the fluidized bed of leaves of sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), using the response surface methodology, with factorial design with three central points, the parameters used were 50, 60, 70 °C of temperature and 3.9; 5.5 and 7.1 m / s air velocity. The pH, acidity, antioxidant and sensory activity were evaluated in the dehydrated sachá culantro leaves. The statistical analysis of the results was by ANOVA and Tukey's test with the STATGRAPHICS Centurión XV software. The temperature and air velocity significantly influenced the final humidity ( $p < 0.05$ ), obtaining as optimal parameters of dehydration 67.1 °C and 7.1 m / s, the final humidity was 0.12 g water / g m.s. in 180 minutes of drying. The mathematical model of dehydration successfully describes the fluidized bed dehydration process. The initial humidity of the sachá culantro was  $88.76 \pm 0.68\%$ , and in the dehydrated, it was found that there is no significant influence of the dehydrated parameters on the antioxidant activity ( $p > 0.05$ ) likewise, there was no influence of treatments on the sensory results color, aroma and flavor ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** Antioxidant capacity, surface response methodology, drying, sensory.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.) es una planta que pertenece a la familia apiaceae, conocida también como "siuca culantro" y es utilizada como saborizante o condimento. Además, funciona como estimulante del apetito y está ampliamente distribuida en las zonas selváticas del Perú.

En el Perú, el comercio de las especias es poco tecnificado porque se consumen, casi en su totalidad, sin ningún tratamiento previo. A pesar de que tiene mercado, no ha sido cultivada a gran escala en nuestro país y posee una escasa promoción e investigación (Vela y Hoyos, 2015).

Del año 2005 al 2009, la producción de hierbas y especias se ha incrementado un 2,1 % por año y el volumen en 6,2 % (Torre y Lopez, 2010). El sachá culantro es cultivado comercialmente en

República Dominicana, Cuba, otras islas de las Antillas, parte de América Central, México y Brasil (Morales *et al.*, 2013).

El deshidratado por fluidización es una operación para la conservación de alimentos, porque permite la reducción de las reacciones químicas (Oré, 2015). El deshidratado en lecho fluidizado se utiliza en diversos campos de la producción de alimentos. La velocidad de deshidratado en lecho fluidizado es mucho mayor que la del deshidratado convencional con aire caliente (sin lecho fluidizado) porque el calor y la transferencia de masa en la superficie del material son mucho más altos en el deshidratado en lecho fluidizado (Tatemoto, 2016). El sachá culantro deshidratado tiene una mayor conservación y mejor presentación para la comercialización. La presentación del sachá

culantro deshidratado permitirá darle un valor agregado al producto.

El sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.) tiene una capacidad antioxidante por la presencia de aceites esenciales (Jaramillo *et al.* 2011).

Para esta investigación, se han planteado los siguientes objetivos: Optimizar, por metodología de superficie de respuesta, los parámetros de temperatura y velocidad de aire de deshidratación por lecho fluidizado para obtener la mínima humedad del producto; evaluar los parámetros pH y acidez del sachá culantro deshidratado; evaluar la actividad antioxidante del sachá culantro deshidratado; y realizar la evaluación sensorial (color, aroma y sabor) del sachá culantro deshidratado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de: Harinas y Sucedáneos, Ingeniería de alimentos, Análisis de alimentos, Química, Calidad y Evaluación sensorial y en el Centro de Investigación para el desarrollo Biotecnológico de la amazonia (CIDBAM) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), situados en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, a una altitud de 660 m s. n. m. a 09°17'08" de latitud sur, a 75° 59'52" de latitud oeste, con clima tropical húmedo y con una humedad relativa media de 84 % y temperatura media anual de 24 °C.

### 2.2. Materia prima y reactivos

La materia prima que fue usada, en la presente investigación, consistió en hojas de sachá culantro, obtenidas del caserío Santa Carmen,

del distrito de Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas, de la provincia de Leoncio Prado y ciudad de Tingo María.

Los reactivos empleados fueron: DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl), solución hidroalcohólica 48 %, éter de petróleo ( $\rho=0.642$ ), trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), etanol 96 °GL, fenolftaleína 1 % y solución de hipoclorito 22.27 ppm. Todos fueron de la marca Merck.

### 2.3. Metodología experimental

#### 2.3.1. Proceso de deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro

Las operaciones que se usaron para la deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro se presentan en la figura 1 y se describen a continuación:

- **Cosecha:** Las plantas de sachá culantro fueron recolectadas del poblado denominado Caserío Santa Carmen.
- **Traslado:** Las plantas de sachá culantro fueron trasladadas en bolsas plásticas, en el menor tiempo posible.
- **Recepción:** Las plantas de sachá culantro recién recolectadas fueron recepcionadas en el laboratorio de harinas y sucedáneos.
- **Cortado / selección:** Las plantas recepcionadas fueron ubicadas en una mesa de trabajo de acero inoxidable y se inició con el cortado de las raíces con un cuchillo de acero inoxidable, posteriormente se procedió a separar las hojas excesivamente maduras y dañadas por insectos u otros defectos.
- **Lavado:** Se realizó con agua corriente para eliminar la suciedad de las hojas (adhesión de tierra), larvas de insectos y otros residuos que acarrea la cosecha.

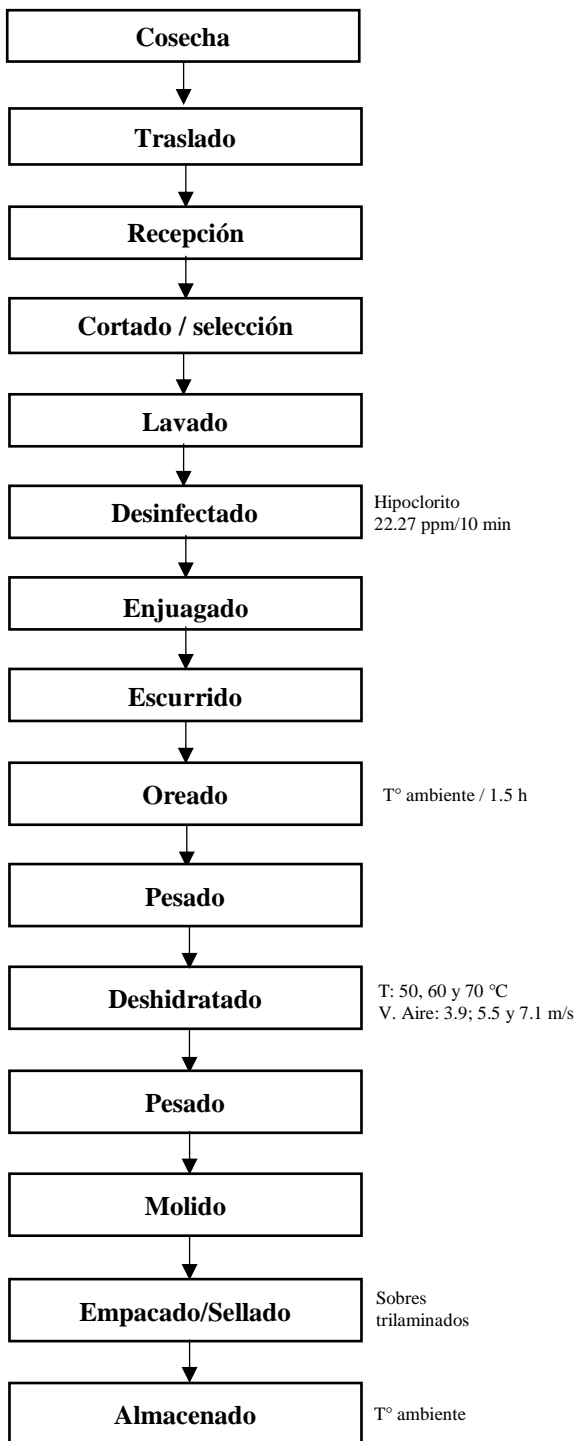


Figura 1. Flujo operacional de deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro.

- **Desinfección:** Por cada litro de agua se usaron 10 gotas de lejía (22.27 ppm de hipoclorito de sodio). En el recipiente que contenía la lejía, se sumergieron por 10

minutos las hojas de sachá culantro con el objetivo de eliminar la carga microbiana. Las partes por millón del desinfectante hipoclorito de sodio al 4 % se calculó según la ecuación (01).

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (01)$$

Donde:  $C_1$  es la concentración en ppm del hipoclorito de sodio,  $V_1$  es el volumen del hipoclorito de sodio inicial,  $C_2$  es la concentración hipoclorito de sodio a determinar y  $V_2$  es el volumen del hipoclorito de sodio de la disolución.

- **Enjuagado:** Esta operación se realizó por inmersión en agua potable con el objetivo de eliminar el exceso de cloro utilizado en la desinfección.
- **Ecurrido:** Las hojas de sachá culantro fueron colocadas en mallas de plástico con el objetivo de lograr la separación del agua adherido en las hojas de sachá culantro.
- **Oreado:** Se tendieron las hojas de sachá culantro encima de paños absorbentes a temperatura ambiente por 1.5 horas. Todo esto, con la finalidad de quitar el agua adherida a las hojas.
- **Pesado:** Se realizó con una balanza electrónica de precisión.
- **Deshidratado:** Los experimentos de deshidratado se realizaron en un deshidratador por lecho fluidizado que consiste en un panel de control (controla la temperatura y velocidad de secado), un ducto para la circulación del aire, un eliminador de aire y una cámara de deshidratado con bandeja con agujeros de 5 mm de diámetro (figura 2). Se realizó con temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 3.9; 5.5 y 7.1 m/s.

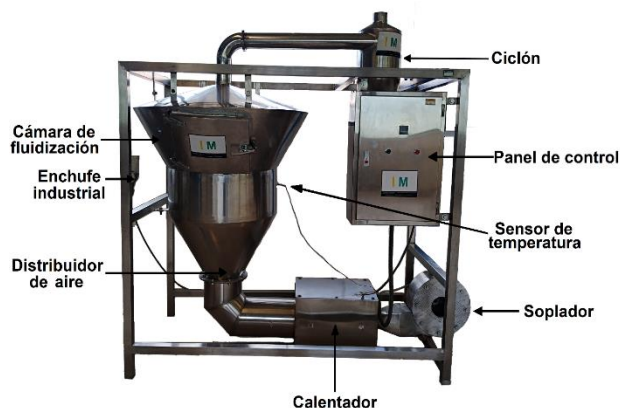


Figura 2. Deshidratadora de lecho fluidizado.

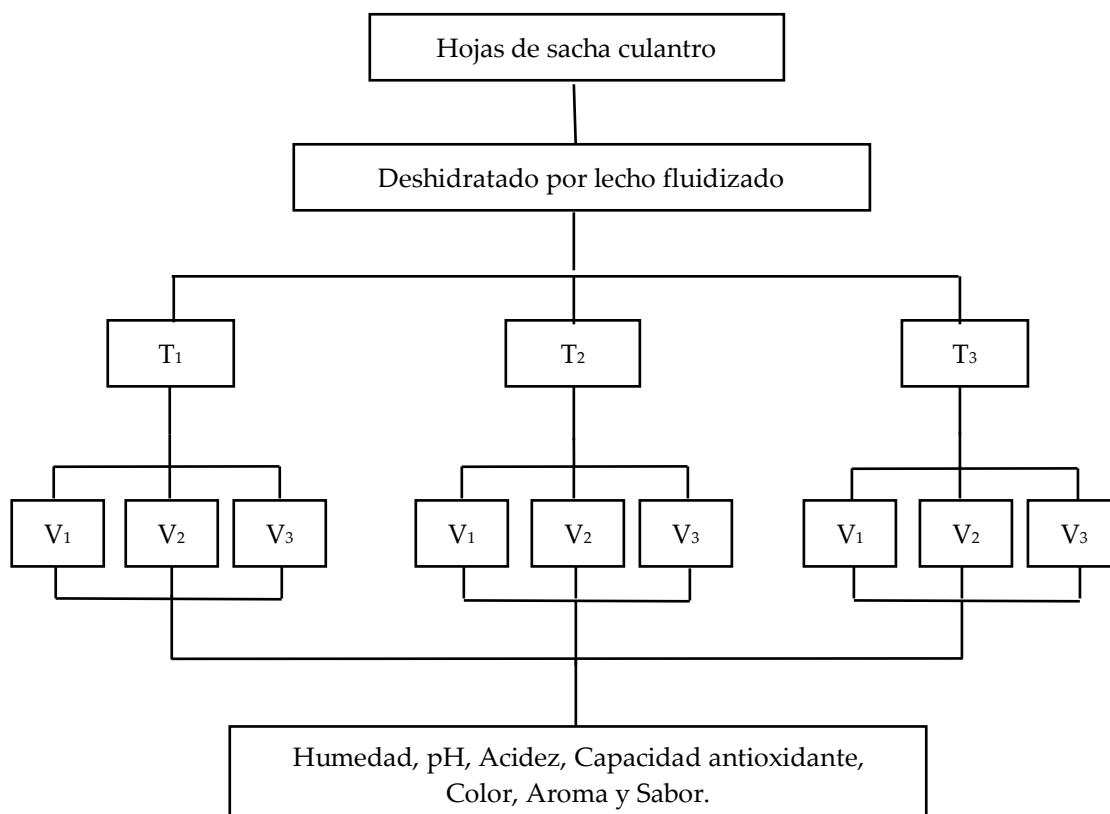
- **Pesado:** Se pesó en una balanza digital.
- **Molido:** Se molió con un molino de uso de discos, hasta que pasó por un tamiz de 850  $\mu\text{m}$  de diámetro.

- **Empacado / sellado:** Se realizó manualmente, 5 g de sachá culantro seco que se empacó en bolsas trilaminadas con el propósito de evitar la pérdida del aroma y color. Se tomó muestras para realizar el análisis correspondiente al producto terminado, que fueron: pH, acidez, capacidad antioxidante y evaluación sensorial (color, aroma y sabor).

- **Almacenado:** Se almacenó a temperatura ambiente.

### 2.3.2. Esquema experimental

El esquema experimental se muestra en la figura 3.



T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>= temperatura 50, 60, 70 °C.

V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub>= Velocidad de aire de deshidratación 3.9; 5.5; 7.1 m/s.

Figura 3. Diseño experimental para la investigación.

## 2.4. Métodos de análisis

Se realizaron los siguientes análisis físico-químicos:

- Humedad: método 931.04 (AOAC, 1997).
- pH: mediante método 973.193 (AOAC, 1997).
- Acidez: método utilizado por Caisahuana (2012).
- Actividad antioxidante: método utilizado por Brand-Williams *et al.* (1995).
- Evaluación sensorial: método utilizado por Hernandez (2005).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Parámetros de deshidratación por lecho fluidizado de las hojas de sachá culantro (temperatura y velocidad de aire).

El valor promedio del contenido de humedad del sachá culantro fue de  $88.76 \pm 0.68$  %. Paul *et al.* (2011) mencionan que las hojas frescas de sachá culantro contienen más de 85 % de humedad. Singh *et al.* (2014) mencionan que las hojas frescas de sachá culantro contienen aproximadamente 87 % de humedad, frente a

los resultados de esta investigación que fueron mayores, que podría deberse a las condiciones climáticas de la zona.

En la tabla 1, se muestra los resultados de las humedades en base seca (g de agua/g de sólido seco) de las hojas de sachá culantro al concluir el secado.

En el transcurso de la operación de deshidratación de las hojas de sachá culantro, la humedad final en todos los tratamientos fue desde 0.05 a 0.25 g agua/g ss en promedio. Esta situación puede deberse a que el secado se realizó en una deshidratadora de lecho fluidizado. En ese sentido, Babu *et al.* (2018) mencionan que las condiciones de funcionamiento, como la temperatura moderada del aire de 40 a 60 °C, la humedad relativa más baja y la velocidad del aire más alta, que juegan un papel vital para garantizar un proceso de secado eficiente. Los resultados fueron similares a los reportados por Kavak (2008) donde las hojas de perejil se secaron a 0.03 g de agua/g de materia seca en el armario de secado solar dentro de un lapso de 16200 s.

**Tabla 1.** Contenido de humedad final de las hojas de sachá culantro en base seca

Tratamientos/ Repeticiones	R1	R2	R3	Promedio
	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss
T <sub>1</sub> (50 °C / 3.9 m/s)	0.11	0.08	0.33	0.18
T <sub>2</sub> (50 °C / 5.5 m/s)	0.22	0.35	0.17	0.25
T <sub>3</sub> (50 °C / 7.1 m/s)	0.16	0.15	0.28	0.20
T <sub>4</sub> (60 °C / 3.9 m/s)	0.11	0.13	0.18	0.14
T <sub>5</sub> (60 °C / 5.5 m/s)	0.08	0.32	0.32	0.24
T <sub>6</sub> (60 °C / 7.1 m/s)	0.05	0.03	0.10	0.06
T <sub>7</sub> (70 °C / 3.9 m/s)	0.43	0.02	0.16	0.20
T <sub>8</sub> (70 °C / 5.5 m/s)	0.30	0.29	0.14	0.24
T <sub>9</sub> (70 °C / 7.1 m/s)	0.01	0.07	0.08	0.05

### 3.2. Curvas de deshidratación por lecho fluidizado de las hojas de sachá culantro

En la figura 4, se observa el comportamiento de la humedad con respecto al tiempo durante el proceso de deshidratación del sachá culantro en función de la temperatura a diferente velocidad de aire.

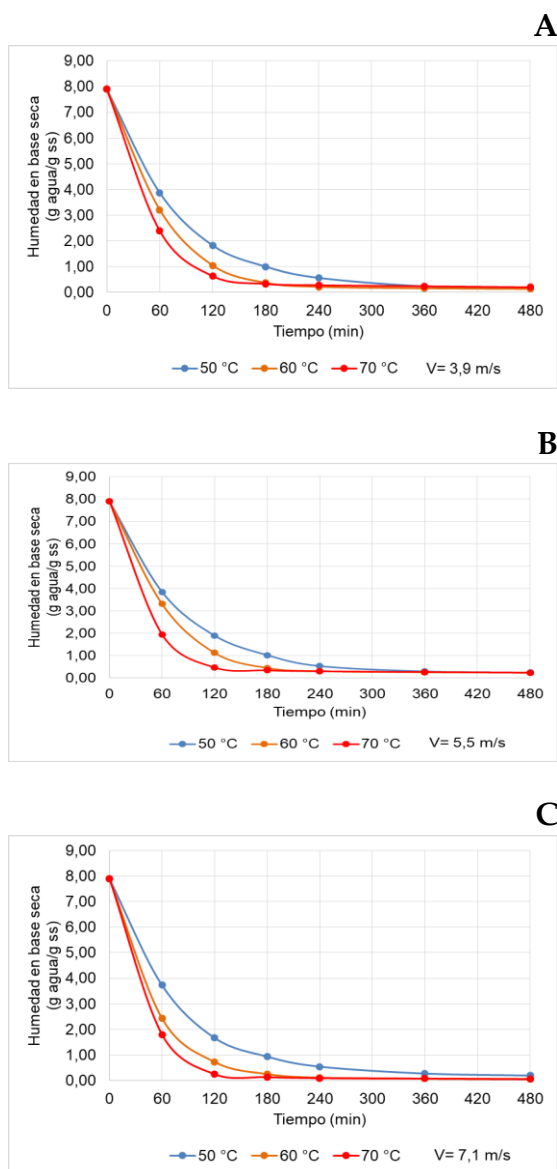


Figura 4. Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a diferentes teemperatureas y velocidad de aire: A) 3.9 m/s; B) 5.5 m/s y C) 7.1 m/s.

Se observa que las curvas de deshidratación son similares, a medida que se aumenta la

temperatura disminuye la humedad. Todo esto implicaría una reducción en el tiempo de deshidratación.

Según García *et al.* (2010), la disminución de humedad en las hojas de perejil (*Petrosilenum crispum*) dependió tanto de la velocidad como de la temperatura del aire. Además, la temperatura del aire aumenta proporcionalmente la remoción de la humedad es mayor, con un resultado de decrecimiento en la temperatura de secado. En el presente estudio, el incremento de la velocidad de aire no tuvo efecto en la velocidad de disminución de humedad. Las temperaturas de deshidratación fueron 50, 60 y 70 °C por 420 minutos.

Inicialmente a 60 minutos, se puede observar la mayor disminución de la humedad de las hojas de sachá culantro. Al relacionar las pendientes de las curvas de deshidratado en los primeros 60 minutos, la temperatura de 50 °C fue menor que a las temperaturas de 60 y 70 °C, que manifiestan que a las teemperatureas de 60 y 70° el deshidratado fue mas energético. Esto coincide con lo reportado por Maldonado y Pacheco (2003), quienes mencionan que, a medida que la temperatura de secado incrementa, es mayor la disminución de la humedad del sólido, mayor es la velocidad de secado en la fase antecrítico y más bajo es el tiempo de secado.

Para todas las temperaturas en estudio, después de los primeros 60 minutos, la pérdida de agua fue menos rápida. Esta situación se debe a que la difusión intrínseca no pudo abastecer el agua en la superficie del alimento; o sea, el agua física superficial fue deficiente para perdurar una película continua que cubra toda el área de secado, en efecto la velocidad de transferencia de agua de la superficie al entorno de arrastre

disminuye. Mora y Martinez (2013) muestran en una gráfica del proceso de secado que, al inicio, el producto experimenta un pequeño aumento de temperatura. Luego, la velocidad de secado es constante (periodo de secado 1). La velocidad de secado está limitada por la tasa de transferencia de calor, desde el aire a la superficie líquida. Además, cuando se consigue el contenido de humedad crítico llega al periodo llamado descenso de velocidad de secado (periodo de secado 2) donde finaliza. En esta instancia, el agua se superficie del sólido está totalmente evaporada. El proceso termina donde la velocidad de secado fue cero y se llegó a la humedad de equilibrio y se pone el alimento en ecuanimidad con su ambiente externo.

En general, en los procesos de deshidratación a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, la humedad fue casi semejante después de los 120 minutos. A estas temperaturas, la disipación de agua fue mayor a inicios de 60 minutos. Según Maldonado y Pacheco (2003), es posible proponer que el proceso de secado en bandeja se inicie a 80 °C por intervalo de una hora y terminar el proceso a 60 °C, por un periodo una hora. Esta variación en los parámetros tecnológicos permitirá que el proceso de secado sea en menor tiempo (reducción del 50 % con respecto al secado a los 60 °C), que podría lograr menores pérdidas de nutrientes, debido al menor tiempo del alimento a altas temperaturas.

### 3.3. Efecto de la temperatura y velocidad de aire en el deshidratado de las hojas de sachaculantro

En la Figura 5 se observa el comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferentes velocidades de aire para las temperaturas de 50, 60 y 70°C. Se puede

observar que la velocidad de aire no tiene cambios significativos a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C para la disminución de la humedad en base seca. El efecto de la velocidad de aire no causó cambios significativos en las pruebas de deshidratación.

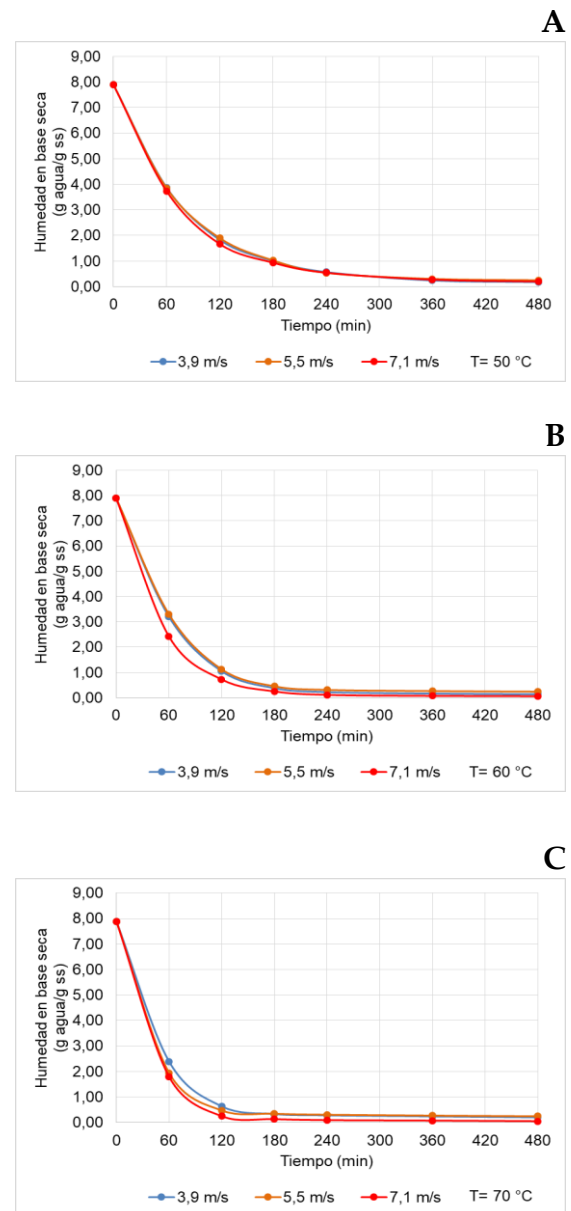


Figura 5. Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferente velocidad de aire y temperaturas: A) 50 °C; B) 60 °C y C) 70 °C.



García-Pérez *et al.* (2006) determinaron el efecto de la velocidad del aire en el secado por lecho fluidizado de cáscara de limón tratado por ultrasonido. A bajas velocidades de aire de 0.6 m/s a 40 °C, el ultrasonido de potencia aumenta la velocidad de secado, sin embargo, a velocidades de aire más altas (> 2 m/s) a 40 °C el efecto del ultrasonido sobre la cinética del secado disminuye y se vuelve insignificante.

Salgado (2016) determinó el parámetro óptimo en un secador por convección forzada en hoja de *stevia* a 277 minutos con el aire caliente a 50 °C con 3 cm de espesor de lecho y velocidad de aire de 1.5 m/s.

Para la evaluación estadística del proceso de secado, se consideró la humedad obtenida a 180 minutos de deshidratación.

En la tabla 2, se presenta los datos de humedad en base seca obtenidas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 3.9, 5.5 y 7.1 m/s.

La tabla 3 muestra el análisis estadístico del efecto de la temperatura y la velocidad de aire

en la humedad en base seca (HBS) del sachá culantro evaluado a 180 minutos de deshidratado, la temperatura tuvo un efecto altamente significativo en el deshidratado, pero la velocidad del aire no tuvo efecto significativo.

**Tabla 2.** Humedad en base seca de las hojas de sachá culantro deshidratado por 180 minutos

Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	HBS (PROM)
50	3.9	1.01 ± 0.30 <sup>b</sup>
50	5.5	1.03 ± 0.19 <sup>b</sup>
50	7.1	0.94 ± 0.29 <sup>b</sup>
60	3.9	0.38 ± 0.12 <sup>a</sup>
60	5.5	0.46 ± 0.11 <sup>a</sup>
60	7.1	0.25 ± 0.10 <sup>a</sup>
70	3.9	0.33 ± 0.32 <sup>a</sup>
70	5.5	0.35 ± 0.13 <sup>a</sup>
70	7.1	0.13 ± 0.06 <sup>a</sup>

De la prueba de Tukey (tabla 4), se puede deducir que los tratamientos a 60 y 70 °C son los mejores y estadísticamente iguales.

**Tabla 3.** Análisis de Varianza para HBS

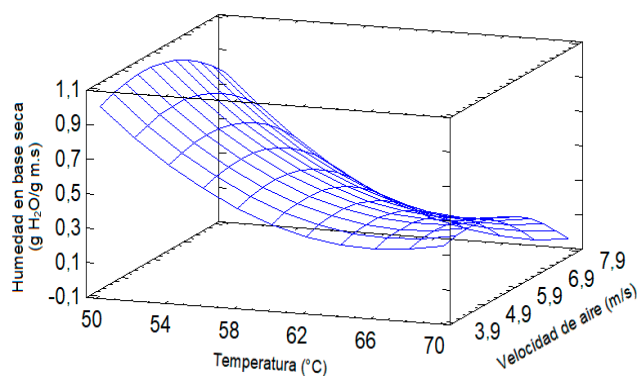
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.784817	1	0.78481700	147.76	0.0001
B: Velocidad	0.0266667	1	0.02666670	5.02	0.0752
AA	0.195268	1	0.19526800	36.76	0.0018
AB	0.004225	1	0.00422500	0.80	0.4133
BB	0.0240175	1	0.02401750	4.52	0.0868
Error total	0.0265575	5	0.00531149		
Total (corr.)	1.03902	10			

**Tabla 4.** Prueba de Tukey para HBS

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
70	3	0.270000	0.0643774	A
60	5	0.351111	0.0567755	A
50	3	0.993333	0.0643774	B

### 3.4. Optimización de parámetros de deshidratado

Para estimar los parámetros óptimos de deshidratación que consideraron la humedad del producto, se realizó el análisis por Metodología de Superficie de Respuesta y se usó el diseño factorial con tres puntos centrales. La superficie de respuesta obtenida se muestra en la figura 6



**Figura 6.** Superficie de respuesta de la humedad en base seca de las hojas de sachá culantro deshidratado por lecho fluidizado a diferentes temperaturas y velocidades de aire.

Con la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) se obtuvo la ecuación de optimización, la ecuación cuadrática que explica el modelo, como se describe a continuación:

$$\text{HBS} = 10.992 - 0.358153 \cdot T + 0.498588 \cdot V + 0.00277632 \cdot T^2 - 0.00203125 \cdot T \cdot V - 0.0380345 \cdot V^2$$

(ecuación 2)

Donde: T es la Temperatura de deshidratado en °C y V es la Velocidad de aire m/s.

La superficie de respuesta estimada para la temperatura y velocidad de aire frente a la humedad en base seca (HBS). La curva indicó que la temperatura fue el factor con mayor influencia en el contenido de humedad.

En la tabla 5, se muestra la combinación de los niveles de los factores de temperatura y velocidad de aire, la cual minimiza la HBS sobre la región indicada.

**Tabla 5.** Valores óptimos de deshidratación por lecho fluidizado de las hojas de sachá culantro

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	50.0	70.00	67.099
Velocidad (m/s)	3.9	7.1	7.100

La temperatura óptima según el análisis estadístico del software STATGRAPHICS es de 67.099 °C, la velocidad óptima de deshidratación es de 7.1 m/s y reemplazando estos dos valores en la ecuación (2) de optimización nos da como resultado la humedad en base seca óptimo de HBS: 0.1150 a 180 minutos de deshidratado.

Los resultados son diferentes a los reportados por Tasirin *et al.* (2007), quienes obtuvieron las condiciones óptimas de operación para los parámetros de secado por lecho fluidizado del chile ojo de pájaro, a velocidad del aire de 1.09 m/s y a temperatura de operación de 70 °C y los recogidos por Kripanand *et al.* (2015), quienes encontraron que el secado con aire caliente a una temperatura de 45 °C podría ser la óptima para las hojas de menta.

Este modelo matemático describe, satisfactoriamente, el proceso de deshidratado por lecho fluidizado del sachá culantro. Se Demuestra así que el contenido de humedad en base seca (HBS) depende de la temperatura y de la velocidad del aire. Las respuestas superficiales para estas condiciones mencionadas se muestran en la figura 6.

### 3.5. pH de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado

En la tabla 6, el pH del sachá culantro fresco T<sub>0</sub> fue: pH= 6.58 ± 0.02. Este resultado fue superior al tratamiento óptimo T<sub>9</sub> de sachá culantro deshidratado que obtuvo: pH (70 °C/7.1 m/s) = 5.59 ± 0.13. De acuerdo a la prueba de Tukey, el

tratamiento T<sub>7</sub> que obtuvo: pH (70 °C/3.9 m/s) = 6.01 ± 0.51 fue estadísticamente igual al testigo y los tratamientos T<sub>1</sub> al T<sub>9</sub> fueron estadísticamente iguales. Dichos resultados son semejantes a los reportados por Vel y Hoyos (2015) que manifiestan que el deshidratado de hojas de sachá culantro a 55 °C y almacenado por 24 días presentó un valor de pH: 6.55.

**Tabla 6.** pH, acidez y capacidad antioxidante (DPPH) de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado

Muestra de Sachá culantro	pH	Acidez (% ácido cítrico)	DPPH (μM TE/g muestra)
T <sub>0</sub> (Fresco)	6.58 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.03 <sup>b</sup>	15.58 ± 0.99 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub> (50 °C/3.9 m/s)	5.95 ± 0.15 <sup>b</sup>	0.83 ± 0.25 <sup>a</sup>	18.99 ± 2.06 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> (50 °C/5.5 m/s)	5.89 ± 0.15 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>a</sup>	18.28 ± 0.11 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub> (50 °C/7.1 m/s)	5.79 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.36 <sup>a</sup>	18.53 ± 2.26 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub> (60 °C/3.9 m/s)	5.76 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.20 ± 0.71 <sup>a</sup>	19.63 ± 3.36 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub> (60 °C/5.5 m/s)	5.68 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.45 <sup>a</sup>	20.46 ± 1.65 <sup>a</sup>
T <sub>6</sub> (60 °C/7.1 m/s)	5.63 ± 0.20 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.29 <sup>a</sup>	19.15 ± 1.83 <sup>a</sup>
T <sub>7</sub> (70 °C/3.9 m/s)	6.01 ± 0.51 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.62 <sup>a</sup>	17.91 ± 2.50 <sup>a</sup>
T <sub>8</sub> (70 °C/5.5 m/s)	5.68 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.36 ± 0.56 <sup>a</sup>	18.49 ± 1.94 <sup>a</sup>
T <sub>9</sub> (70 °C/7.11 m/s)	5.59 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.28 ± 0.32 <sup>a</sup>	16.28 ± 1.63 <sup>a</sup>

En la tabla 6, se observa que existen cambios significativos del pH, en el tratamiento fresco (T<sub>0</sub>) después del proceso de deshidratación por diferentes tratamientos (T<sub>1</sub>. T<sub>2</sub>. T<sub>3</sub>. T<sub>4</sub>. T<sub>5</sub>. T<sub>6</sub>. T<sub>7</sub>. T<sub>8</sub> y T<sub>9</sub>). Se determinó que el valor del pH del sachá culantro fresco fue 6.58, que cae en el rango ácido. Se observó que hubo una disminución del pH con el incremento de la temperatura del aire de deshidratación

### 3.6. Acidez de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado

En la tabla 6, se muestra la acidez del sachá culantro fresco T<sub>0</sub> que fue: % acidez= 0.25 ± 0.03 (ácido cítrico). Este resultado es inferior al tratamiento óptimo T<sub>9</sub> de sachá culantro deshidratado que obtuvo: % acidez (70 °C/7.1

m/s) = 1.28 ± 0.32. De los resultados se puede indicar que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey. Dichos resultados fueron superiores a lo reportado por Vela y Hoyos (2015), quienes manifiesta que el deshidratado de hojas de sachá culantro a 55 °C y almacenado por 24 días presentó un valor de acidez 0.82 (ml NaOH). Según Rayaguru *et al.* (2011), estos cambios de acidez pueden explicarse sobre la base de algunas conversiones de los compuestos que tienen lugar a temperaturas más altas.

En la tabla 6, se observa que existen cambios significativos de la acidez en el tratamiento fresco (T<sub>0</sub>) después del proceso de

deshidratación por diferentes tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> y T<sub>9</sub>).

### 3.7. Resultado de la evaluación de la actividad antioxidante de las hojas de sachaculantro fresco y deshidratado.

En la tabla 6, se presenta los resultados de la actividad antioxidante de las hojas de sachaculantro fresco y deshidratado. Se observa que la actividad antioxidante de las hojas de sachaculantro deshidratado de los tratamientos del T<sub>1</sub> al T<sub>9</sub> son superiores a las hojas de sachaculantro fresco (T<sub>0</sub>). De los resultados, se puede indicar que todos los tratamientos son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey.

El tratamiento T<sub>5</sub> muestra la mayor actividad antioxidante con 20.46  $\mu$ MTE/g muestra. En cambio, el tratamiento T<sub>9</sub> muestra la menor capacidad antioxidante con 16.28  $\mu$ MTE/g muestra. Estos resultados son superiores a los reportados por Mercado-Mercado *et al.* (2013) en muestras secas de romero (*Rosmarinus officinalis*) con 0.0513 mM ET/100 g PS y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) 0.29 mM ET/100 g PS.

Los estudios *in vivo* que utilizan modelos animales han confirmado las propiedades

antiinflamatorias, anticonvulsivas y antihelmínticas del extracto foliar de *E. foetidum* (Paul *et al.*, 2011).

Lemus-Mondaca *et al.* (2015) determinaron, en las hojas frescas de Stevia, un valor de  $3.29 \pm 1.33$   $\mu$ moles TE/100 g de materia seca. La actividad de eliminación de radicales DPPH no fue significativamente diferente ( $p > 0.05$ ) en hojas de Stevia secadas a 80 °C y alcanzaron un valor medio de  $2.79 \pm 0.02$   $\mu$ moles TE/100 g de materia seca.

La tabla 7 muestra que ninguno de los parámetros de deshidratación tiene un efecto significativo sobre la actividad antioxidante y se obtuvo para la temperatura el valor-P = 0.1662 y para la velocidad de aire el valor-P = 0.3672.

### 3.8. Resultados sensoriales (color, aroma y sabor) de las hojas de sachaculantro deshidratado

En las tablas 8 y 9, se muestra los resultados del ANOVA y Kruskal-Wallis del color del sachaculantro deshidratado, estos análisis se hicieron en STATGRAPHICS Centurión XV.

**Tabla 7.** Efecto de los parámetros de deshidratación sobre la actividad antioxidante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	16.65100	2	8.32549	1.95	0.1662
B: Velocidad	8.95979	2	4.47990	1.05	0.3672
RESIDUOS	93.96630	22	4.27119		
TOTAL (CORREGIDO)	119.57700	26			

**Tabla 8.** *Análisis de varianza ANOVA del color*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.95556	8	0.369444	0.45	0.8880
Intra grupos	66.7000	81	0.823457		
Total (Corr.)	69.6556	89			

La evaluación sensorial del color, luego del proceso de deshidratación, indica que no hay diferencia significativa entre tratamientos con un valor-P= 0.8880 para el análisis de varianza ANOVA. Además, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ya que el análisis estadístico Kruskal-Wallis muestra un valor-P= 0.899272.

**Tabla 9.** *Prueba de Kruskal-Wallis para el color*

Trat C	Tamaño Muestra	Rango Promedio
M <sub>1</sub>	10	50.85
M <sub>2</sub>	10	45.90
M <sub>3</sub>	10	40.95
M <sub>4</sub>	10	51.30
M <sub>5</sub>	10	47.00
M <sub>6</sub>	10	43.75
M <sub>7</sub>	10	51.30
M <sub>8</sub>	10	41.40
M <sub>9</sub>	10	37.05

Estadístico = 3.49894 Valor-P = 0.899272

Según Rayaguru *et al.* (2011) el grado de cambio de color depende de la temperatura y el método de secado. Según Rudra *et al.* (2008), la alta temperatura podría conducir a la sustitución del magnesio en la clorofila por hidrógeno, que convierten, de este modo, las clorofilas en feofitinas.

Pichmony *et al.* (2015) reportaron valores de deterioro de color en hojas de berros frescos (*Nasturtium officinale*) deshidratados por aire convectivo a altas temperaturas de 70 °C y la exposición prolongada al proceso de deshidratado a bajas temperaturas de 40 °C, por lo que fueron diferentes con los resultados de la investigación.

En la tabla 10, se presenta los resultados del ANOVA del aroma del sachá culantro deshidratado.

**Tabla 10.** *Análisis de varianza ANOVA del aroma*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.4222	8	1.42778	1.34	0.2366
Intra grupos	86.4000	81	1.06667		
Total (Corr.)	97.8222	89			

La evaluación sensorial del aroma luego del proceso de deshidratación indicó que no hay

diferencia significativa entre tratamientos con un valor-P= 0.2366 para el ANOVA.

En la tabla 11 se presenta los resultados de la evaluación del aroma por Kruskal-Wallis.

**Tabla 11.** Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma

Trat A	Tamaño muestra	Rango promedio
M <sub>1</sub>	10	41.65
M <sub>2</sub>	10	37.65
M <sub>3</sub>	10	33.05
M <sub>4</sub>	10	53.50
M <sub>5</sub>	10	52.95
M <sub>6</sub>	10	37.45
M <sub>7</sub>	10	49.70
M <sub>8</sub>	10	43.30
M <sub>9</sub>	10	60.25

Estadístico = 10.3754 Valor-P = 0.23966

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos ya que el análisis estadístico Kruskal-Wallis muestra un valor-P= 0.23966.

Entre los tratamientos de evaluación T<sub>1</sub>. T<sub>2</sub>. T<sub>3</sub>. T<sub>4</sub>. T<sub>5</sub>. T<sub>6</sub>. T<sub>7</sub>. T<sub>8</sub> y T<sub>9</sub>, la puntuación que obtuvo el mayor calificativo fue el tratamiento T<sub>4</sub>, la escala de evaluación más destacada fue de 3 que tiene como calificativo "ligeramente perceptible a sachá culantro" lo que indica que, en los tratamientos de deshidratación, el producto perdió ligeramente sus atributos sensoriales. Esto pudo deberse a que después del proceso de

deshidratación se trató de controlar los factores externos como la oxidación con el uso de envases trilaminados como envases de protección. Hu y Jacobsen (2016) mencionan que todos los alimentos de baja humedad, o secos, tienen diferentes composiciones, estructuras, distribuciones de lípidos, ácidos grasos esenciales para aumentar el sabor y propiedades fisicoquímicas, que conducen a diferentes estabilidades oxidativas y vida útil.

Osorio *et al.* (2016) determinaron la presencia de diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la calidad sensorial del *E. foetidum* con relación a la temperatura de secado, pero no en concordancia a la velocidad del aire. Establecieron que la temperatura óptima para el secado es 45 °C a 4 m.s<sup>-1</sup>. En estas condiciones, se preservan mejor las características organolépticas del cilantro cimarrón, solamente  $\alpha$ -terpineol, geranil acetato, dodecanal y 2 E-dodecenal incrementaron su concentración, porque son componentes con baja facilidad de evaporación y termo resistencia.

En la Tabla 12 se muestra el resultado del ANOVA para la evaluación del sabor luego del proceso de deshidratación, que indican que no tuvo diferencia significativa con un valor-P= 0.1686.

**Tabla 12.** Análisis de varianza ANOVA del sabor

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.2	1	3.20000	2.06	0.1686
Intra grupos	28.0	18	1.55556		
Total (Corr.)	31.2	19			

En la Tabla 13 se muestra el efecto de la prueba Kruskal-Wallis para el sabor, que igualmente indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos ya que el análisis estadístico Kruskal-Wallis muestra un valor-P= 0.149313.

**Tabla 13.** Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor

Trat S	Tamaño Muestra	Rango Promedio
F	10	12.35
M <sub>4</sub>	10	8.65

Estadístico = 2.07922 Valor-P = 0.149313

Kumar *et al.* (2015) mencionan que el deshidratado mecánico es mucho mejor, con respecto al tiempo de deshidratado y los atributos sensoriales del producto final, lo que coincide con los resultados de esta investigación.

#### 4. CONCLUSIONES

Los parámetros óptimos de deshidratación del sachá culantro por lecho fluidizado con la humedad minimizada fueron: Temperatura 67.1 °C y velocidad de aire 7.1 m/s y se obtuvo una humedad final de 0.12 g agua/g m.s. en 180 minutos de secado.

El pH del sachá culantro fresco fue 6.58 y la acidez, 0.25 % ácido cítrico. El pH del sachá culantro deshidratado óptimo fue 5.59 y la acidez, 1.28 % ácido cítrico.

La actividad antioxidante del sachá culantro se incrementó por efecto del deshidratado de 15.58 µM TE/g muestra, en estado fresco, a 16.28 µM TE/g muestra, en las condiciones óptimas de deshidratado. Además, no existe diferencia estadística entre las diferentes condiciones de deshidratado.

Los atributos sensoriales: color, aroma y sabor del sachá culantro deshidratado por lecho fluidizado no presentan diferencia significativa entre las diferentes condiciones de deshidratado según la prueba de Kruskal-Wallis.

#### Referencias

- AOAC. 1997. *Oficial Methods of Analysis of AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists). International; Agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and drugs.* V1 y V2 Arlntington: A.O.A.C. Inc 2658 p.
- Babu, A., Kumaresan, G., Raj, V., Velraj, R. 2018. Review of leaf drying: mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and sustainable energy reviews.* 90(0):536–556.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food science and technology.* 28(1):25-30.
- Caisahuana, S. 2012. Evaluación de vitamina c, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc vaugh) de Mazamari – Satipo. Tesis Ing. Industrias alimentarias. Satipo, Perú. Universidad nacional del centro del Perú. 82 p.
- García, M., Rugel, J., Rodríguez, S.E., Vargas, S.É.M. 2010. Aprovechamiento de cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petrosilenum crispum*) aplicando procesos combinados de deshidratación. [En línea]: UTADEO, ([https://www.utadeo.edu.co/files/collecti ons/documents/field\\_attached\\_file/cilantro\\_y\\_perejil .pdf](https://www.utadeo.edu.co/files/collecti ons/documents/field_attached_file/cilantro_y_perejil .pdf), Prog. Ing. Almtos, 9 Jul. 2018).
- García-Pérez, J., Cárcel, J., Fuente-Blanco, S., Riera-Franco, S. 2006. Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: Parametric study. *Sciencedirect.* 44(0):539-543.
- Hernandez, A. 2005. *Evaluación sensorial.* 1 ed. Bogotá, Colombia, UNAD. 128 p.
- Hu M., Jacobsen, CH. 2016. *Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats.* USA, Elsevier Inc. 564 p.
- Jaramillo, B.E., Duarte, E., Martelo, I. 2011. Composición química volátil del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. colombiano y determinación de su actividad antioxidante. *Revista cubana de plantas medicinales.* 16(2): 140-150.

- Kavak, A.E. 2008. Drying of parsley leaves in a solar dryer and under open sun: modeling, energy and exergy aspects. *Journal of Food Process Engineering*. 34(1):27-48.
- Kripanand, S., Guruguntla, S., Korra, S. 2015. Effect of various drying methods on quality and flavor characteristics of mint leaves (*Mentha spicata* L.). *Journal of food and pharmaceutical sciences*. 3(2):38-45.
- Kumar, Y., Tiwari, S., Belorkar, S. 2015. Drying: An excellent method for food preservation. *International journal of engineering studies and technical approach*. 1(0):1-17.
- Lemus-Mondaca, R., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., Honores, C., Moraga, N. 2015. *Stevia rebaudiana* leaves: Effect of drying process temperature on bioactive components, antioxidant capacity and natural sweeteners. *Plant foods for human nutrition*. 71(1):49-56.
- Maldonado, R., Pacheco-Delahaye, E. 2003. Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae* L. var. *Italica Plenck*) y coliflor (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis* L.). *Rev. Fac. Agron.* 20(3):306-319.
- Mercado-Mercado, G., Rosa, C., Wall-Medrano, A., López, D., Álvarez-Parrilla, E. 2013. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición hospitalaria*. 28(1):36-46.
- Morales Payán, J.P., Brunner, B., Flores, L., Martínez, S. 2013. Culantro orgánico. [En línea]: Proyecto de Agricultura Orgánica, hoja informativa, 31 oct. 2017). <http://prorganico.info/culantro.pdf>
- Mora, F.K., Martinez, J.J.J. 2013. Elaboración de un guión y un video de un estudio de la operación unitaria de secado en polvos. Tesis Quím. Farm. Biológico. México, México. Universidad Nacional Autónoma de México. 82 p.
- Oré, A. 2015. Determinación de los parámetros adecuados de la deshidratación de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) mediante lecho fluidizado para la obtención de harina. Tesis Ing. Agroindustrial. Ocabamba, Perú. Universidad nacional de Huancavelica. 74 p.
- Osorio, M.O., Arango, B.O., Fernández, P.C.A. 2016. Efecto del secado sobre la calidad sensorial y la composición del aceite esencial del cilantro cimarrón (*Eryngium foetidum* L.). *Agronomía Colombiana*. 34(1): 1450-1453.
- Paul, J.H.A., Seaforth, C.E., Tikasingh, T. 2011. *Eryngium foetidum* L.: A review. *Fitoterapia*. 82(3):302-308.
- Pichmony, E., Araújo, C., Oliveira, M., Ramos, N., Brandão, R., Silva, L. 2015. Effects of convective air drying temperature on nutritional quality and colour of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food science research and innovation: Delivering sustainable solutions to the global economy and society*. 2(0):834-839.
- Rayaguru, K., Routray, W., Mohanty, S.N. 2011. Mathematical modeling and quality parameters of air-dried betel leaf (*Piper betle* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*. 35(4): 394-401.
- Rudra, S.G., Singh, H., Basu, S., Shivhare, U.S. 2008. Enthalpy entropy compensation during thermal degradation of chlorophyll in mint and coriander puree. *Journal of Food Engineering*. 86(3):379-387.
- Salgado, V.F. 2016. Secado de hojas de *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni) por convección, evaluación microbiológica y sensorial. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 100 p.
- Singh, B.K., Ramakrishna, Y., Ngachan, S.V. 2014. Spiny coriander (*Eryngium foetidum* L.): a commonly used, neglected spicing-culinary herb of Mizoram, India. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 61(6):1085-1090.
- Tasirin, S.M., Kamarudin, S.K., Ghani, J.A., Lee, K.F. 2007. Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*. 80(2): 695-700.
- Tatemoto, Y., Mibu, T., Yokoi, Y., Hagimoto, A. 2016. Effect of freezing pretreatment on the drying characteristics and volume change of carrots immersed in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. *Journal of food engineering*. 173(0):150-157.
- Torre, C. R., Lopez, G.J. 2010. Las plantas aromáticas y medicinales. Futuro y potencial en extremadura. [En línea]: unex, ([https://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2010/2010\\_08%20Las%20plantas%20aromaticas%20y%20medicinales.%20Futuro%20y%20potencialidad%20en%20Extremadura.pdf](https://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2010/2010_08%20Las%20plantas%20aromaticas%20y%20medicinales.%20Futuro%20y%20potencialidad%20en%20Extremadura.pdf), documento, 14 nov. 2017).
- Vela, K., Hoyos, I. 2015. Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de sacha culantro (*Eryngium foetidum* L.), proveniente de Michina, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Tesis Ing. Agroindustrial. Chachapoyas, Perú. 118 p.