

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



TESIS PARA TÍTULO PROFESIONAL

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA DESHIDRATACIÓN POR  
LECHO FLUIDIZADO DEL SACHA CULANTRO (*Eryngium foetidum* L.)**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

ELABORADO POR

**FLORES AYALA JUAN LUIS**

Tingo María - Perú

2019

## DEDICATORIA

A Dios por sobre todas las cosas por enseñarme, permitirme terminar la tesis culminando así una etapa más en mi vida y por ser mi fortaleza en todo tiempo.

A mí única y querida madre por darme su apoyo incondicional en todo momento, por su entrenamiento, consejos y motivaciones.

## **AGRADECIMIENTO**

- Al Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio, por su asesoramiento en cada paso de la elaboración y ejecución del trabajo de investigación.
- A los Ings. Darlym Reátegui Díaz y Sissy Meryll Pérez Peláez por el apoyo en la ejecución de mi tesis.
- A los técnicos de laboratorio, señores Pedro Condori y Celedonio Yacha.
- Al Ing. Condori Rondan Víctor Elvis por permitir el uso de la máquina de deshidratación y los equipos a mi completa disposición.
- A todos mis profesores por los conocimientos, consejos y tiempo brindados durante mi carrera universitaria.

## ÍNDICE GENERAL

Página

### RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Deshidratado .....	3
2.1.1. Lecho fluidizado .....	4
2.2. Actividad antioxidante .....	4
2.2.1. Compuestos con capacidad antioxidantes .....	6
2.3. Generalidades del sachá culantro .....	6
2.3.1. Origen y distribución .....	6
2.3.2. Descripción y clasificación taxonómica .....	7
2.3.3. Composición química .....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
3.1. Lugar de ejecución.....	10
3.2. Materia prima .....	10
3.3. Equipos, materiales y reactivos.....	11
3.3.1. Equipos .....	11
3.3.2. Materiales .....	11
3.3.3. Reactivos .....	13

3.4. Métodos de análisis .....	14
3.5. Metodología experimental .....	14
3.5.1. Proceso de deshidratación por lecho fluidizado .....	14
3.5.2. Determinación de los parámetros óptimos para el deshidratado por lecho fluidizado de sachá culantro .....	18
3.5.3. Evaluación de humedad, pH y acidez del sachá culantro fresco y deshidratado.....	20
3.5.3.1. Humedad del sachá culantro fresco .....	18
3.5.3.2. pH y acidez .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.5.4. Evaluación de la actividad antioxidante .....	21
3.5.5. Evaluación sensorial del sachá culantro.....	22
3.6. Esquema experimental .....	23
4.1. Parámetros de deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (temperatura y velocidad de aire).....	24
4.1.1. Humedad inicial de las hojas de sachá culantro.....	24
4.1.2. Humedad final por tratamiento de las hojas de sachá culantro .....	24
4.1.3. Curvas de deshidratación por lecho fluidizado de las hojas de sachá culantro.....	26
4.1.4. Efecto de la temperatura y velocidad de aire en el deshidratado de las hojas de sachá culantro.....	30
4.1.5. Optimización de los parámetros de deshidratado por superficie de respuesta.....	35

4.2. Parámetros de pH y acidez del sachá culantro fresco y deshidratado.....	37
4.3. Resultado de la actividad antioxidante de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado. ....	41
4.4. Resultados sensoriales (color, aroma y sabor) de las hojas de sachá culantro deshidratado .....	43
V. CONCLUSIONES .....	49
VI. RECOMENDACIONES .....	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO.....	61
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA .....	81
.....	82
RESUMEN .....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Composición química del sachá culantro.....	8
2. Contenido de humedad final en base seca.....	25
3. Humedad en base seca del sachá culantro deshidratado a 180 minutos.....	32
4. Análisis de Varianza para HBS.....	33
5. Prueba de Tukey para HBS.....	33
6. Valores óptimos de deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro....	35
7. Valores de pH y acidez del sachá culantro fresco y deshidratado.....	37
8. Actividad antioxidante del sachá culantro fresco y deshidratado.....	39
9. Análisis de Varianza de la actividad antioxidante.....	40
10. Análisis de varianza ANOVA del color .....	41
11. Prueba de Kruskal-Wallis para el color. ....	42
12. Análisis de varianza ANOVA del aroma.....	43
13. Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.....	43
14. Análisis de varianza ANOVA del sabor.....	45
15. Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl.....	6
2. Tiamina.....	9
3. Riboflavina.....	9
4. Flujograma de operaciones para el proceso de deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro.....	16
5. Deshidratadora de lecho fluidizado .....	18
6. Diseño experimental para la investigación.....	23
7. Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a velocidad de aire de 3,9 m/s a diferentes temperaturas.....	26
8. Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a velocidad de aire de 5,5 m/s a diferentes temperaturas .....	26
9. Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a una velocidad de aire de 7,1 m/s a diferentes temperaturas .....	27
10. Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado para diferentes velocidades a 50 °C.....	30
11. Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado para diferentes velocidades a 60 °C.....	30



12. Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferentes velocidades de aire a 70 °C.....31
13. Superficie de respuesta estimada.....34
14. Resultado del pH en hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.....38
15. Resultado de la acidez en hojas de sachá culantro fresco y deshidratado...38

## RESUMEN

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María. Consistió en optimizar la deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), usando la metodología de superficie de respuesta, con diseño factorial con tres puntos centrales, los parámetros usados fueron 50, 60, 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 sachá culantro deshidratado. El análisis estadístico de los resultados fue por ANOVA y prueba de Tukey con el software STATGRAPHICS Centurión XV. La temperatura y velocidad de aire influyeron significativamente en la humedad final ( $p < 0,05$ ) obteniéndose 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 sachá culantro 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 ( $p > 0,05$ ).

## I. INTRODUCCIÓN

El “sacha culantro” (*Eryngium foetidum* L.) es una planta, miembro de la familia *apiaceae*, conocida también como “siuca culantro” utilizado como saborizante, condimento; es un estimulante del apetito y está ampliamente distribuida en las zonas selváticas del Perú.

En nuestro país, el comercio de las especias es poco tecnificado ya que se consumen casi en su totalidad sin ningún tratamiento previo. Tiene mercado, pero no ha sido cultivado a gran escala en nuestro país y cuenta con 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 sacha 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, permitiendo que se reduzcan 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 un 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 capacidad antioxidante por la presencia de aceites esenciales (JARAMILLO *et al.* 2011).

Bajo este contexto para la 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.

- Realizar la evaluación sensorial (color, aroma y sabor) del sachá culantro deshidratado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Deshidratado

Según SYAHRUL *et al.* (2018), la deshidratación es una operación unitaria para eliminar el contenido de humedad de los alimentos. El alimento pierde algo o todo su contenido de agua. El proceso de secado se puede hacer haciendo pasar aire caliente sobre el material seco. Los parámetros que afectan la operación unitaria de secado son la velocidad del aire caliente, la temperatura, la presión y la humedad relativa. Uno de los métodos de secado es el secado fluidizado. El método de secado fluidizado tiene varias ventajas, a saber: (i) la velocidad de transferencia de calor y masa es bastante alta debido a la fricción entre el aire caliente y el material de secado, (ii) temperatura y contenido de agua uniformes, (iii) construcción simple y (iv) alta capacidad de secado. Gracias al secado (proceso de eliminación de humedad del interior del producto) se dificulta el crecimiento de microorganismos (KUMAR *et al.*, 2017).

Es un modelo de secado que se da únicamente en equipos deshidratadores, donde se controlan mucho mejor, parámetros relacionados a la calidad como temperatura, velocidad de aire y posibilidad de modificar la humedad del aire con dispositivos que recuperen el aire saturado. Se basa en hacer pasar aire caliente por una cámara de secado donde se ha depositado el material vegetal con la disimilitud que las fuentes de energía utilizadas para

calentar el aire son artificiales (eléctrica, gas, petróleo, etc.). Este tipo de secado asegura una alta calidad de producto seco, pero el gasto energético tiende a ser muy elevado (BRUSH, 2006).

### **2.1.1. Lecho fluidizado**

Según RODRÍGUEZ *et al.* (2002), es la circulación en sentido empujado de una corriente fluida a través de un lecho de partículas sólidas, creándose un tratamiento del fluido con las partículas. Esta fuerza de fricción, que tiende a trasladar las partículas hacia lo alto, aumenta al hacerlo la velocidad de paso del fluido, de forma que, si la velocidad es suficientemente elevada, la fricción llega a equilibrar el peso de las partículas, con lo que éstas quedan suspendidas en el seno de la corriente fluida. Cuando esto ocurre se menciona que el lecho se halla fluidizado.

La fluidización proporciona una agitación neumática para partículas en el lecho de secado. También facilita las transferencias de calor y masa debido a una capa límite constantemente renovada en la superficie de la partícula (JAMBHALE y BARBADEKAR, 2008).

## **2.2. Actividad antioxidante**

Según BARJA *et al.* (2019), los antioxidantes son nutrientes con la capacidad de contrarrestar la acción oxidante de los radicales libres, sin perder su estabilidad electroquímica. Actúan concediendo electrones y evitando que los radicales los capturen de las células. Los antioxidantes utilizados en alimentos, previenen o inhiben el desarrollo de la rancidez o la aparición de otros

compuestos de deterioro debido a la oxidación. De acuerdo al modo de acción los antioxidantes se clasifican como bloqueadores de radicales libres, quelantes de iones metálicos y como eliminadores de oxígeno.

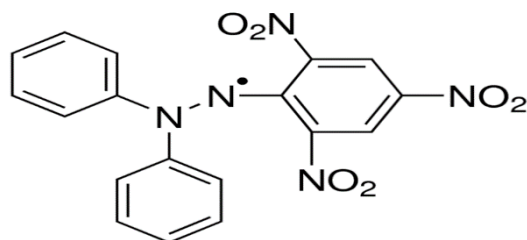
KUMAR (2016) indica que la actividad antioxidante, es la capacidad de las moléculas redox en los alimentos para expeler los radicales libres.

Describe la capacidad de las moléculas redox en los alimentos y los sistemas biológicos para expeler los radicales libres. Este concepto proporciona una imagen más amplia de los antioxidantes presentes en una muestra biológica ya que considera los efectos aditivos y sinérgicos de todos los antioxidantes en lugar del efecto de compuestos únicos, y puede, por lo tanto, ser útil para estudiar los beneficios potenciales de antioxidantes en la salud oxidativa de enfermedades mediadas por estrés (BRIGHENTI *et al.* 2005; PUCHAU *et al.* 2010).

El 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl es un radical libre, que muestra la capacidad del aceptor de hidrógeno hacia los antioxidantes. Por lo tanto, se usa comúnmente en el ensayo DPPH para medir la actividad antioxidante de diferentes muestras naturales (SIGMA, 2018).

El método DPPH: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl se utiliza en todo el mundo en la medición de la actividad de eliminación de radicales libres. La reacción se basa en la degradación del color que ocurre cuando el electrón impar del átomo de nitrógeno en DPPH se aminora al aceptar un átomo de hidrógeno de compuestos antioxidantes (OZCELIK *et al.* 2003).

En la Figura 1 se muestra la estructura química 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl según SIGMA (2018).



**Figura 1.** 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (SIGMA, 2018).

### 2.2.1. Compuestos con capacidad antioxidantes

El 2,4,6-trimetilfenol es el señalador responsable de expresar la capacidad antioxidante con el p-cimeno; que actúan en concordancia con los otros constituyentes químicos tales como: undecane, decanal, 1-decanol, 2,6,10-trimetiltetradecano, undecanal, ácido cáprico, dodecanal, trans-2-undecen-1-ol, 2-dodecenal, ácido 2,4,6-trimetilbenzoico, nonadecano, ácido láurico, tetradecanal, ácido linoleico, ácido mirístico, 1-nonadecene, ácido palmítico y ácido oleico (RODRÍGUEZ, 2014). Las hojas de sachá culantro contienen compuestos bioactivos y capacidad antioxidante (PUENTE, 2019).

## 2.3. Generalidades del sachá culantro

### 2.3.1. Origen y distribución

MINAGRI (2015), es una planta herbácea erecta originaria de la Amazonía occidental. Se desarrolla en un ambiente cálido, con lluvias y elevada agua atmosférica, suelos arcillosos, areno-arcilloso, con diminuto a cuantiosa sustancia biológica, con acidez básica a levemente ácido. Ocupa en terrenos de crecida de agua de cima, invernaderos, tanto campo abierto como en sombreado, es transigente a la inundación. Cultivada absolutamente en América



tropical, en nuestro país peruano, copiosamente repartida en las regiones de Loreto y Ucayali (Atalaya).

### 2.3.2. Descripción y clasificación taxonómica

Según WANG *et al.* (2012), *Eryngium* L. es el género más grande y taxonómicamente complejo de la familia *Apiaceae*. El género tiene aproximadamente 250 especies en todo el mundo, con el centro de diversidad en América del Sur. Algunas especies de *Eryngium* se cultivan como cultivos ornamentales, vegetales o medicinales para usos populares.

MOSTACERO *et al.* (2002) indican que el sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) es una especie herbácea utilizada en la preparación de comidas regionales en la región selvática y muestra como nomenclatura:

Reino : Plantae.  
Sub reino : Traqueobionta.  
División : Magnoliophyta.  
Sub división : Spermatophyta.  
Clase : Magnoliopsida.  
Subclase : Rosidae.  
Orden : Araliales.  
Familia : Apiaceae.  
Género : *Eryngium*.  
Especie : *Eryngium foetidum* L.

El MINAGRI (2015) indica los nombres comunes de esta planta herbácea: siuca culantro, suico, cilantro, coriander, gakata (piroyine); ashe (shipiboconibo); chicoria (portugués); losawiwiri, kwinti y snekiwiri (surinam).

### 2.3.3. Composición química

El MINAGRI (2015), menciona que la composición de 100 g de materia seca de hojas de sachá culantro se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Composición química del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.).

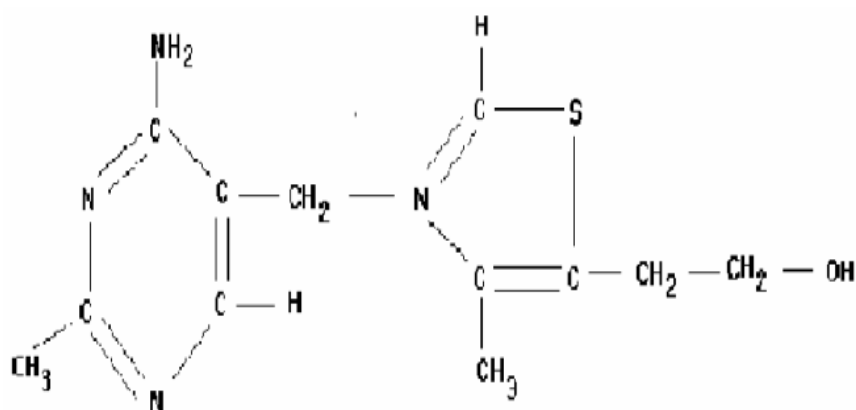
Componente	Contenido	Unidades
Proteínas	0,70	g
Lípidos	0,20	g
Carbohidratos	6,40	g
Calcio	6,00	mg
Caroteno	1,00	mg
Tiamina	0,03	mg
Riboflavina	0,04	mg
Niacina	0,40	mg
Ácido ascórbico	5,70	mg

**Fuente:** MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (2015).

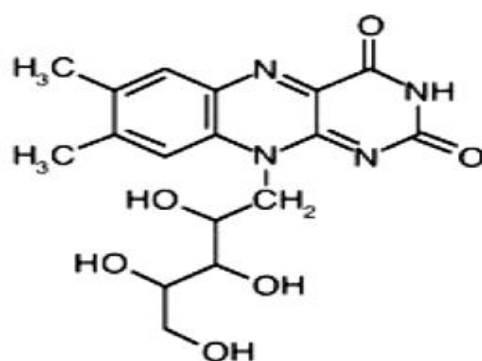
Según RAMCHARAM (1999), el sachá culantro es abundante en Ca, Fe, carotina y vitamina B<sub>2</sub>. Además, el folio reciente se compone de: humedad 86 a 88%; proteína 3,3%; grasa 0,6%; carbohidratos 6,5%; ceniza 1,7%; fósforo

0,06% y hierro 0,02%. El área foliar es abundante fuente de vitamina A (10,460 I.U./100 g), B<sub>2</sub> (60 mg %), B<sub>1</sub> (0,8 mg %) y C (150 a 200 mg %) (BAUTISTA *et al.*, 1988). Sobre una base de peso seco, las hojas consisten en 0,1 a 0,95 % de aceite volátil; 27,7% de fibra cruda; 1,23% de calcio y 25 ppm de boro.

En las Figuras 2 y 3 se muestran las estructuras químicas de la Tiamina y riboflavina.



**Figura 2.** Tiamina (EQUIHUA, 2001).



**Figura 3.** Riboflavina (BUENO *et al.*, 2009).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El reciente 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), situado en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio prado, región de 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.

#### **3.2. Materia prima**

La materia prima usada en la presente investigación fueron hojas de sachá culantro, obtenidas del caserío Santa Carmen, concerniente al distrito de Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas de la provincia de Leoncio Prado y ciudad de Tingo María.

### **3.3. Equipos, materiales y reactivos**

#### **3.3.1. Equipos**

- Balanza electrónica de precisión OHAUS.
- Micropipetas de 10 a 200  $\mu\text{L}$ , 100 a 1000  $\mu\text{L}$ , 1000 a 5000  $\mu\text{L}$  marca TOPSCIEN.
- Centrifugadora marca HETTICH modelo MIKRO 22R y velocidad 10 000 rpm.
- Espectrofotómetro modelo GENESYS-6 THERMO SCIENTIFIC (UV/Vis).
- Homogenizador tipo vórtice marca GESELLSCHAFF.
- Bordex marca MAXI MIX II.
- pH metro digital marca ADMA AD12.
- Estufa con temperatura regulable de 0 a 1200 °C marca LINN.
- Cocina marca SURGE semi industrial.
- Selladora a pedal marca GOLDEN.
- Ventiladora a 3 velocidades.
- Deshidratadora de lecho fluidizado marca INDUSTRIAS MERINO.
- Refrigeradora COLDEX.
- Anemómetro CEM DT – 620.

#### **3.3.2. Materiales**

- Fiola de 100 y 500 mL.
- Matraces de 50 y 300 mL.

- Bureta graduada de 50 mL.
- Vasos de precipitación de 25, 100 y 500 mL.
- Pipeta de 5 mL.
- Varillas de vidrio.
- Embudos de filtración.
- Placas Petri.
- Frascos herméticos ámbar.
- Termómetro.
- Gotero.
- Piseta.
- Tubos falcom 50 mL.
- Tubos Eppendorf 1,5 mL.
- Cubetas de poliestireno para espectrofotómetro de 1,5 mL marca ISOLAB.
- Porta cubetas de 1,5 a 3,0 mL.
- Tips para micropipeta de 20 a 100  $\mu\text{L}$ , 100 a 1000  $\mu\text{L}$  y 1000 a 5000  $\mu\text{L}$ .
- Porta tips marca AXYGEN.
- Microtubos de 2 mL.
- Porta Microtubos de 2 mL.
- Jarros de 2 L.
- Barreños de 5, 10 y 30 L.
- Bandeja de plástico.
- Bacitos de polipropileno.

- Bacitos de Tecnopor.
- Tabla de cortar.
- Sobres trilaminados.
- Mantas.
- Mesa de acero inoxidable.
- Ollas de 3,5 litros.
- Cuchillos.
- Pinzas.
- Espátulas.
- Tijera.
- Espumaderas.
- Crisol de porcelana HALDENWANGER.
- Mortero de porcelana HALDENWANGER.
- Papel filtro WHATMAN ( $\phi=125$  mm).
- Soporte universal de madera.

### **3.3.3. Reactivos**

- Solución DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)
- Solución hidroalcoholico 48%.
- Éter de petróleo ( $\rho=0,642$ ).
- Acetonitril (41,05 M).
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid).
- Agua destilada.

- Alcohol etanol 96 °GL.
- Fenolftaleína 1%.
- Solución de hipoclorito 22,27 ppm.

### 3.4. Métodos de análisis

- Humedad, método 931.04 (AOAC, 1997).
- Humedad en base seca, método utilizado por TASIRIN *et al.* (2007).
- 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).

### 3.5. Metodología experimental

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

Las operaciones que se siguieron para la deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro se presenta en la Figura 4 y se explica a continuación:

- **Cosecha:** Las plantas de sachá culantro fueron recolectadas del poblado denominado Caserío Santa Carmen.
- **Traslado:** Los ejemplares 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, seguidamente se procedió a separar las hojas excesivamente maduras y dañadas por insectos u otros defectos.

– **Lavado:** Se realizó con agua corriente para excluir la suciedad de las hojas (adhesión de tierra), larvas de insectos y otros residuos que traen la cosecha.

– **Desinfección:** Por cada litro de agua se usaron 10 gotas de lejía (22,27 ppm de hipoclorito de sodio), en el recipiente que contiene la lejía se sumergirán 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 siguiente ecuación:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Donde:

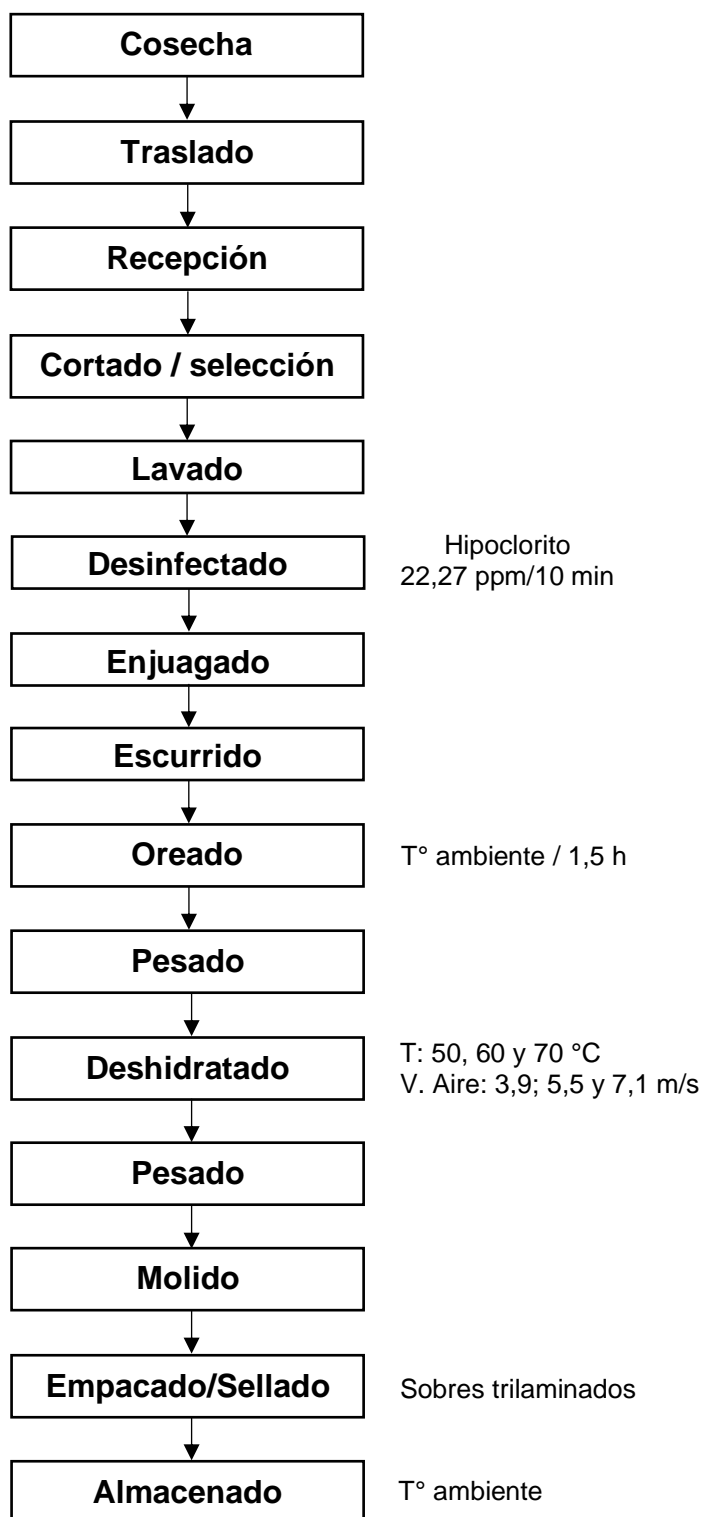
$C_1$ : concentración en ppm del hipoclorito de sodio.

$V_1$ : volumen del hipoclorito de sodio inicial.

$C_2$ : concentración hipoclorito de sodio a determinar.

$V_2$ : 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.



**Figura 4.** Flujo operacional de deshidratación por lecho fluidizado de hojas de sachaculantro.

– **Escurrido:** Las hojas de sachá culantro fueron colocadas encima de espumaderas 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. Esto, con el propósito de quitar el agua adherida a las hojas.

– **Pesado:** Con la ayuda de 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 el sensor de temperatura, resistencia y motor de ventilación), un ducto para la circulación del aire, un eliminador de aire y una cámara de deshidratado con bandeja porosa con agujeros de 5 mm de diámetro. Se realizó con temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 3,9; 5,5 y 7,1 m/s

– **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  $\mu$ m de diámetro.

– **Empacado / sellado:** Manualmente en envolturas trilaminados, aproximadamente 5 g de muestra con el propósito de evitar la pérdida del aroma y color peculiar de las hojas de sachá culantro. Se tomó muestras para realizar el análisis correspondiente de investigación al producto terminado, las cuales fueron: pH, acidez, capacidad antioxidante y evaluación sensorial (color, aroma y sabor).

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

En la Figura 5 se presenta la máquina donde se realizaron las evaluaciones de deshidratación por lecho fluidizado.



**Figura 5.** Deshidratadora de lecho fluidizado.

### **3.5.2. Determinación de los parámetros óptimos para el deshidratado por lecho fluidizado de hojas de sachá culantro**

#### **3.5.2.1. Determinación del porcentaje de humedad de hojas de sachá culantro fresco**

En una placa Petri se pesó 5 g de muestra de sachá culantro fresco cortado en pedazos, con la ayuda de una pinza se llevó la muestra en la placa Petri a una estufa de 105 °C por 3 horas. Posteriormente con la ayuda de una pinza se pesó la muestra seca. Se anotó el peso final de la

muestra. El porcentaje de humedad del sachá culantro fresco fue calculado según la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde:

$W_i$ : peso inicial del sachá culantro fresco.

$W_f$ : Peso final del sachá culantro seco.

### **3.5.2.2. Determinación de la humedad en base seca ( $H_{BS}$ ) durante la deshidratación de hojas de sachá culantro fresco**

Se tomaron 500 g de muestra fresca para cada tratamiento con tres repeticiones. Las hojas de sachá culantro se colocaron dentro del deshidratador de lecho fluidizado a 50, 60 y 70 °C y velocidades de aire de 3,9; 5,5 y 7,1 m/s. Se anotó el tiempo y el peso que fue reduciendo el producto en el transcurso del proceso, con intervalos de 1 hora y 2 horas para cada tratamiento. Se utilizó un cronometro y una balanza electrónica de precisión, hasta obtener un peso constante para cada tratamiento.

La humedad en base seca (HBS) en las muestras en un lapso de deshidratado fue deducido como la cantidad de agua en la unidad del sólido del sachá culantro. Se determinó a través de la siguiente ecuación (TASIRIN *et al.* 2007).

$$HBS = (P.M - M.S) / M.S$$

HBS = humedad en base seca (g H<sub>2</sub>O/g ss).

P.M = peso de la muestra.

M.S = peso de la muestra seca.

Para estimar los parámetros óptimos de deshidratación considerando la humedad del mejor tratamiento, se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta usando la prueba factorial con tres puntos centrales, del mejor tratamiento determinado previamente.

### **3.5.3. Determinación del pH de hojas sachá culantro fresco y deshidratado**

Se procedió a tomar una muestra de 5 g de sachá culantro fresco y deshidratado, se comenzó a triturarlo en un crisol con la ayuda de un mortero y agua destilada 50 mL, se homogenizó la solución en un vaso pírex de 100 mL con la ayuda de una varilla de vidrio, se midió el pH con un equipo pH-metro ADMA AD12 y se registró los datos.

### **3.5.4. Determinación de la acidez de hojas sachá culantro fresco y deshidratado**

Se procedió con la filtración de la misma solución en un soporte universal de madera, embudos de vidrio, matraces de 250 mL y papel filtro WHATMAN ( $\varnothing= 125$  mm), al filtrado de aproximadamente 50 mL fue añadido 3 gotas de fenolftaleína al 1% y 50 mL de agua destilada. Se procedió al proceso de titulación con solución de NaOH al 0,1 N y se registró el gasto de NaOH.

Se calculó el % de acidez con la siguiente formula:

$$\%Acidez = \frac{G \times N \times \text{meq. del ácido}}{M} \times 100$$

Donde:

G: Gasto NaOH

N: Normalidad de NaOH 0,1 N

M: Peso de la muestra

meq. del ácido: ácido cítrico (0,064).

### **3.5.5. Evaluación de la actividad antioxidante de hojas de sachaculantro fresco y deshidratado**

La capacidad antioxidante de extractos de hojas de sachaculantro por DPPH (1,1-difenil-2 picrilhidrazilo) se evaluó según lo descrito por BRAND-WILLIAMS, *et al.* (1995), aplicando ligeras modificaciones. Antes de la determinación espectrofotométrica, se pesaron 1 g de las muestras por triplicado y se mezclaron en 20 ml de una solución de EtOH-H<sub>2</sub>O (70:30 v / v). La extracción se realizó mediante agitación a temperatura ambiente durante 24 h. Luego, los extractos se centrifugaron a 10000 rpm y 4°C durante 10 minutos. Para determinar el efecto antioxidante de los extractos de hojas de sachaculantro sobre el radical DPPH, se preparó una solución, agregando 975 uL de solución metanólica de DPPH 100 uM y 25 uL de extractos de hojas de sachaculantro. También se preparó un control de DPPH con 975 uL de solución metanólica 100 uM de DPPH y un volumen correspondiente (25 uL) de disolvente de extracción. La absorbancia se registró a 515 nm en intervalos de tiempo de 30 s hasta que la reacción alcanzó un equilibrio (10 min), manteniendo las soluciones a temperatura ambiente y en oscuridad durante todo el tiempo de

análisis. Se llevó a cabo un procedimiento similar para la solución estándar de Trolox dentro de un rango de concentración de 0.25-1.5  $\mu\text{M}$ . La capacidad de eliminación de radicales libres de DPPH se calculó posteriormente como el porcentaje restante de DPPH, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{DPPH remanente} = (A_f / A_0) \times 100$$

Donde  $A_0$  es el valor de absorbancia de la solución de control de DPPH a los 0 min y  $A_f$  es la absorbancia de la solución de DPPH después de la adición de la muestra en estado estable (10 min). Las concentraciones de extracto de hojas de sachaculantro o estándar de trolox se representaron frente a los porcentajes de remanente de DPPH en estado estable, para obtener la concentración máxima efectiva media ( $\text{IC}_{50}$ ), definida como la cantidad de antioxidante necesaria para reducir el 50% de la concentración inicial del DPPH. Finalmente, la actividad de captación de DPPH se expresó en términos de  $\mu\text{M}$  de Trolox equivalente.

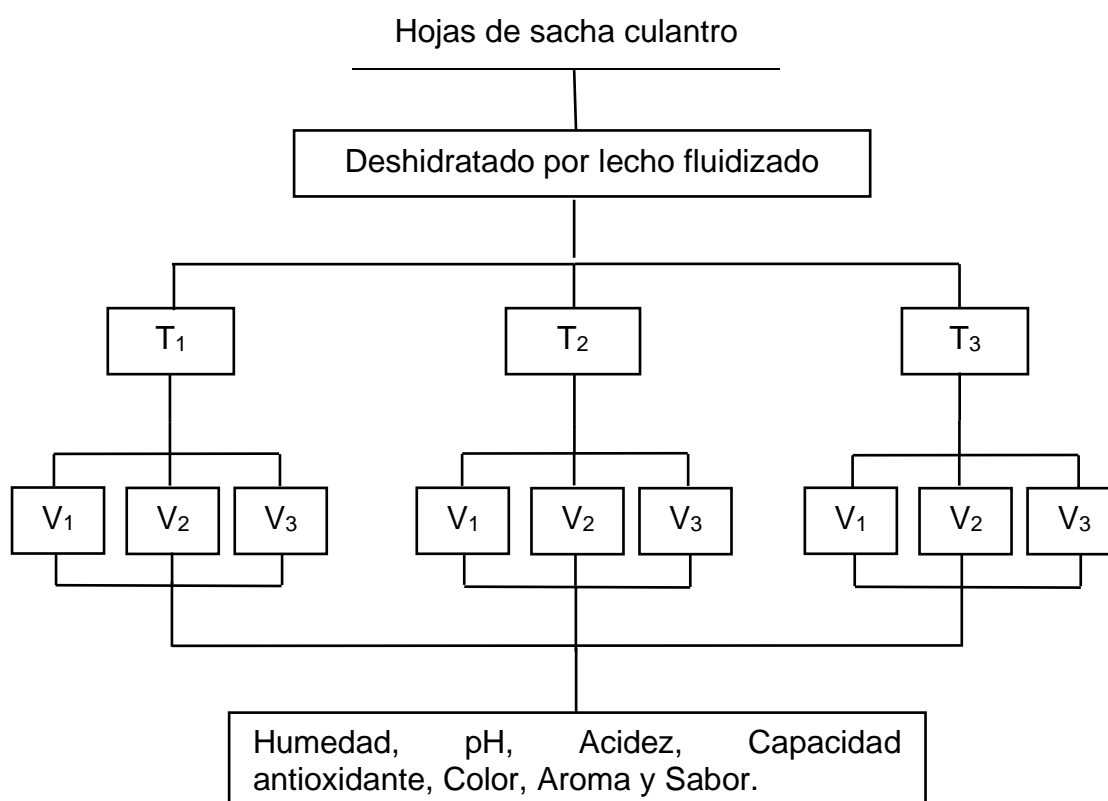
### **3.5.6. Evaluación sensorial de hojas de sachaculantro fresco y deshidratado**

Se pesó 1,5 g de sachaculantro deshidratado molido en un vaso de polipropileno para evaluar el atributo color, luego para evaluar el aroma se adicionó agua hervida a esta misma muestra. Para el atributo sabor se preparó un caldo a base de pecho de pollo. Se usó el rango hedónico de 5 puntos para los atributos color y aroma de acuerdo con una cartilla de evaluación, para el



atributo sabor se utilizó el rango hedónico de 9 puntos de acuerdo con el test de evaluación (HERNANDEZ, 2005) el análisis de resultados se realizó por ANOVA y Kruskal-Wallis.

### 3.6. Esquema experimental



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 6.** Diseño experimental para la investigación.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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

#### **4.1.1. Humedad inicial de las hojas de sachá culantro**

El Anexo 3 muestra el valor promedio del contenido de humedad del sachá culantro:  $88,76 \pm 0,68$  %. 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, nuestros resultados resultaron mayores, pudiendo deberse a las condiciones climáticas de la zona.

#### **4.1.2. Humedad final por tratamiento de las hojas de sachá culantro**

En el Anexo 4, se muestra los datos de tiempo y peso a temperaturas de 50; 60 y 70 °C y velocidades de aire de 3,9; 5,5 y 7,1 m/s.

En el Cuadro 2, se muestra los resultados de las humedades en base seca (g de agua/g de sólido seco) de las hojas de sachá culantro al terminar los tratamientos.

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, esto puede deberse a que el secado se realizó en una deshidratadora de lecho fluidizado, BABU *et al.* (2018) mencionan que las

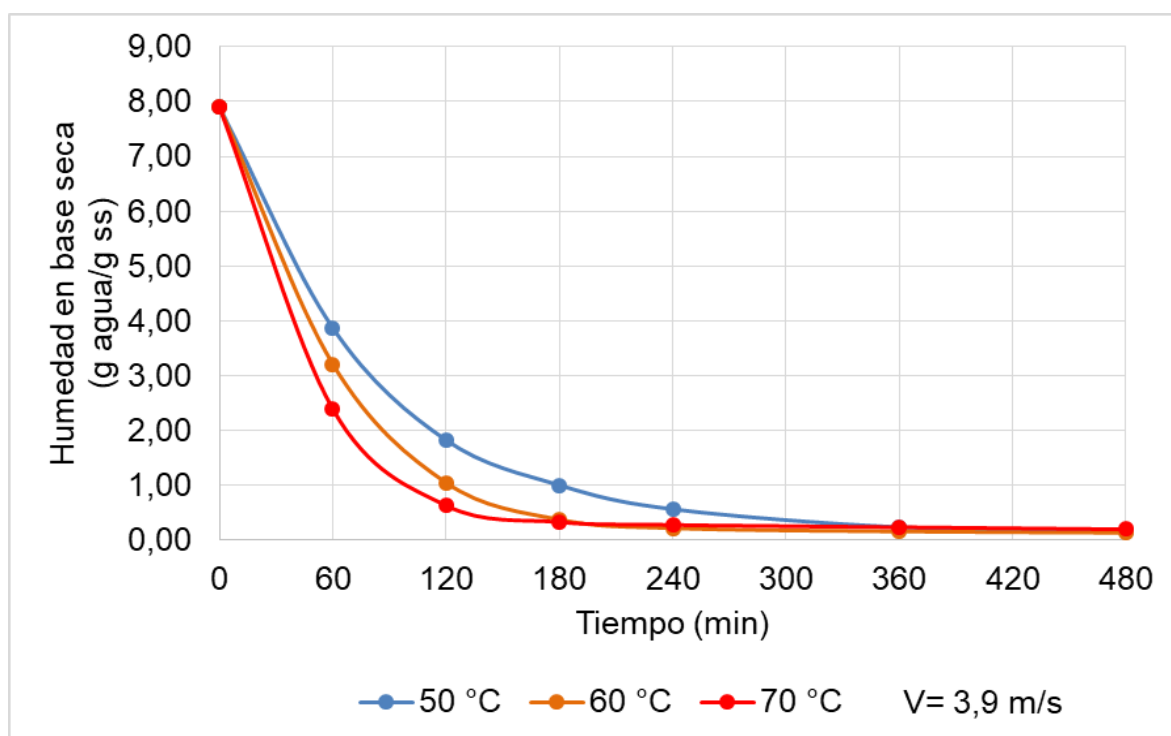
condiciones de funcionamiento, como la temperatura moderada del aire de 40 a 60 °C, la humedad relativa más baja y la velocidad del aire más alta, juegan un papel vital para garantizar un proceso de secado eficiente. Los resultados fueron similares a los reportados por KAVAK (2008) las hojas de perejil 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.

**Cuadro 2.** Contenido de humedad final de las hojas de sachá culantro en base seca.

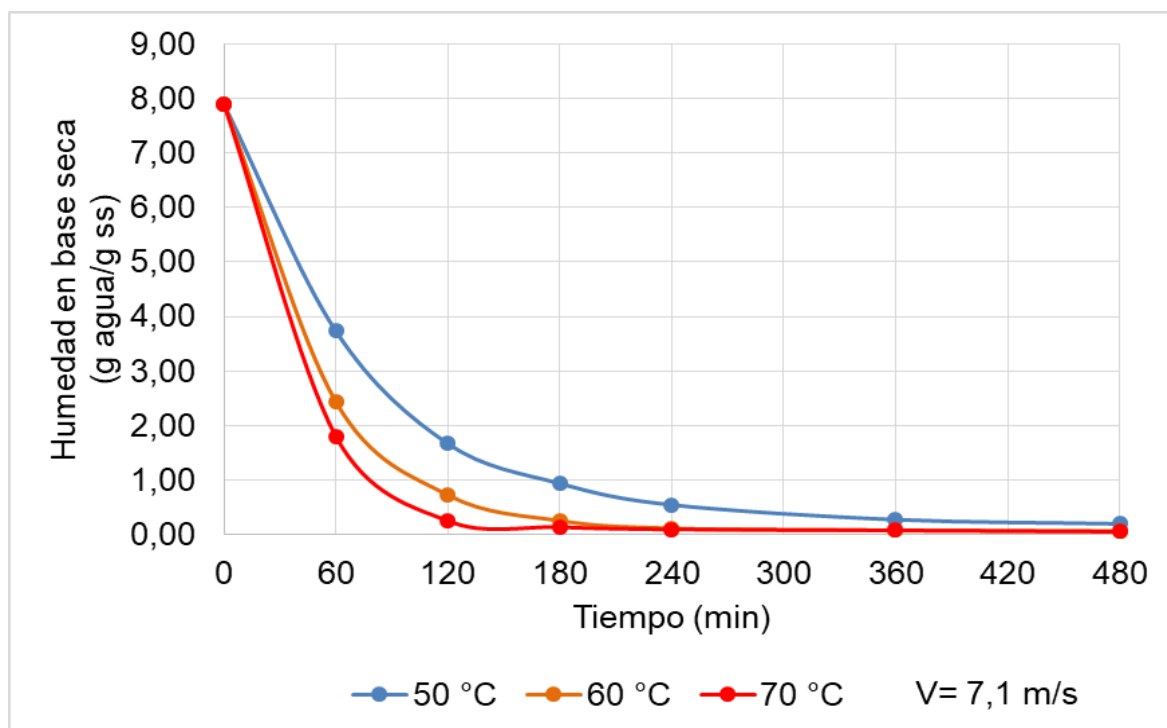
Tratamientos/ Repeticiones	R1	R2	R3	Promedio
	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss	g agua/g ss
T <sub>1</sub> (50 °C/3,9 m/s)	0,11	0,08	0,33	0,18
T <sub>2</sub> (50 °C/5,5 m/s)	0,22	0,35	0,17	0,25
T <sub>3</sub> (50 °C/7,1 m/s)	0,16	0,15	0,28	0,20
T <sub>4</sub> (60 °C/3,9 m/s)	0,11	0,13	0,18	0,14
T <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

#### 4.1.3. Curvas de deshidratación por lecho fluidizado de las hojas de sachaculantro

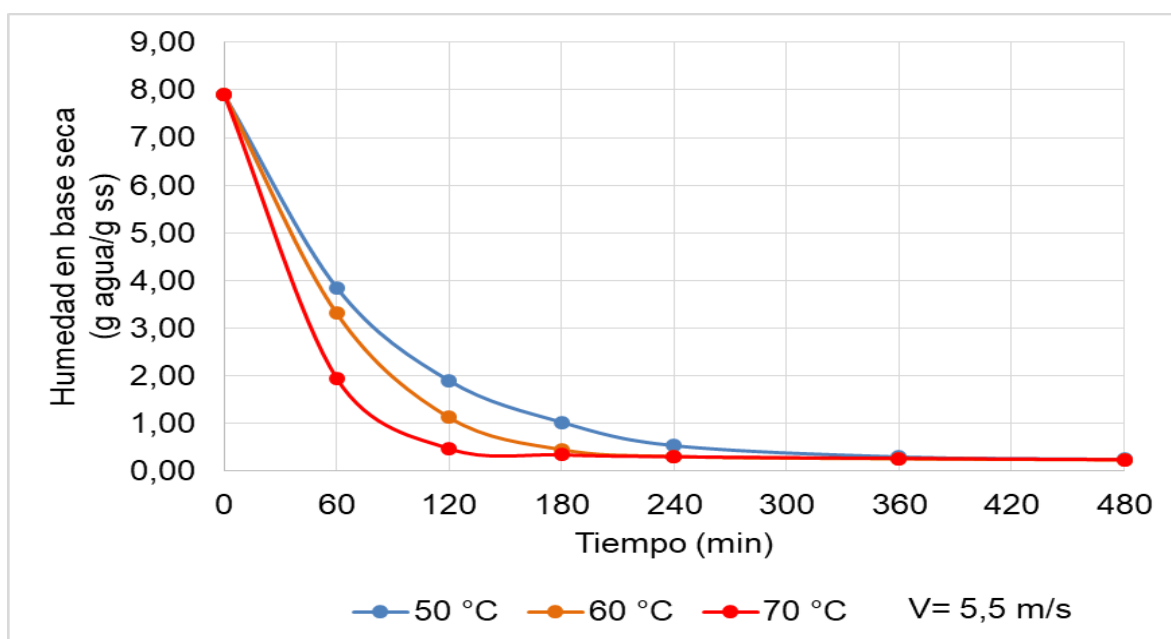
En las Figuras 7, 8 y 9 se observa el comportamiento de la humedad con respecto al tiempo durante el proceso de deshidratación del sachaculantro en función de la temperatura a diferente velocidad de aire.



**Figura 7.** Curvas de deshidratado de hojas de sachaculantro a velocidad de aire de 3,9 m/s a diferentes temperaturas.



**Figura 8.** Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a velocidad de aire de 5,5 m/s a diferentes temperaturas.



**Figura 9.** Curvas de deshidratado de hojas de sachá culantro a una velocidad de aire de 7,1 m/s a diferentes temperaturas.

Se observa que las curvas de deshidratación son similares, a medida que se aumenta la temperatura disminuye la humedad, lo cual implicaría una reducción en el tiempo de deshidratación.

Según GARCÍA *et al.* (2010), la disminución de humedad en las hojas de perejil (*Petrosilenum crispum*) dependieron tanto de la velocidad como de la temperatura del aire y que cuando proporcionalmente la temperatura del aire aumenta, 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 mucho 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 una disminución relevante de la humedad de las hojas de sachá culantro. Relacionando las declinaciones de humedad para la temperatura de 50 °C fue ligeramente menos drástica, en los primeros 60 minutos y analizando el perfil de deshidratado a temperaturas de 60 y 70 °C se nota que fueron más enérgico. Coincidiendo con lo reportado por MALDONADO y PACHECO (2003) quienes mencionan que a medida que la temperatura de secado incrementa, mayor es 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, esto se debe a que la difusión intrínseca no pudo abastecer todo el agua que bulliría en la superficie; o sea, el agua líquida superficial fue deficiente para perdurar una película continua que

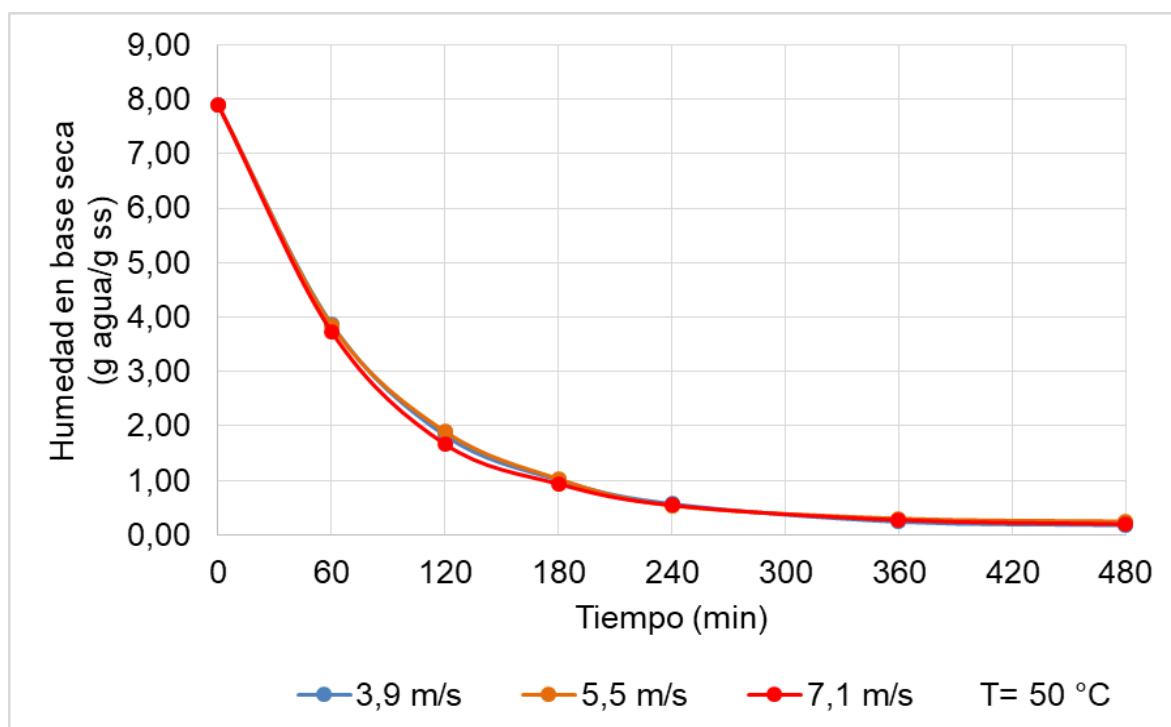
cubra toda el área de secado, en efecto la velocidad de transferencia de agua de la superficie al entorno de arrastre minoriza. MORA y MARTINEZ (2013) indican en una gráfica del proceso de secado que al inicio, el producto experimenta un pequeño aumento de temperatura, luego la velocidad de secado es 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, cuando se consigue el contenido de humedad crítico llega al periodo llamado descenso de velocidad de secado (periodo de secado 2) donde finaliza; aquí el agua se superficie del sólido está totalmente evaporada, el proceso termina donde la velocidad de secado es cero y comienza la humedad de equilibrio poniéndose el sólido 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 va a permitir que el proceso de secado sea en menor tiempo (reducción del 50% con respecto al secado a los 60 °C), lo que podría posibilitar unas menores pérdidas de nutrientes, debido al menor tiempo del alimento a altas temperaturas.

#### 4.1.4. Efecto de la temperatura y velocidad de aire en el deshidratado de las hojas de sachá culantro

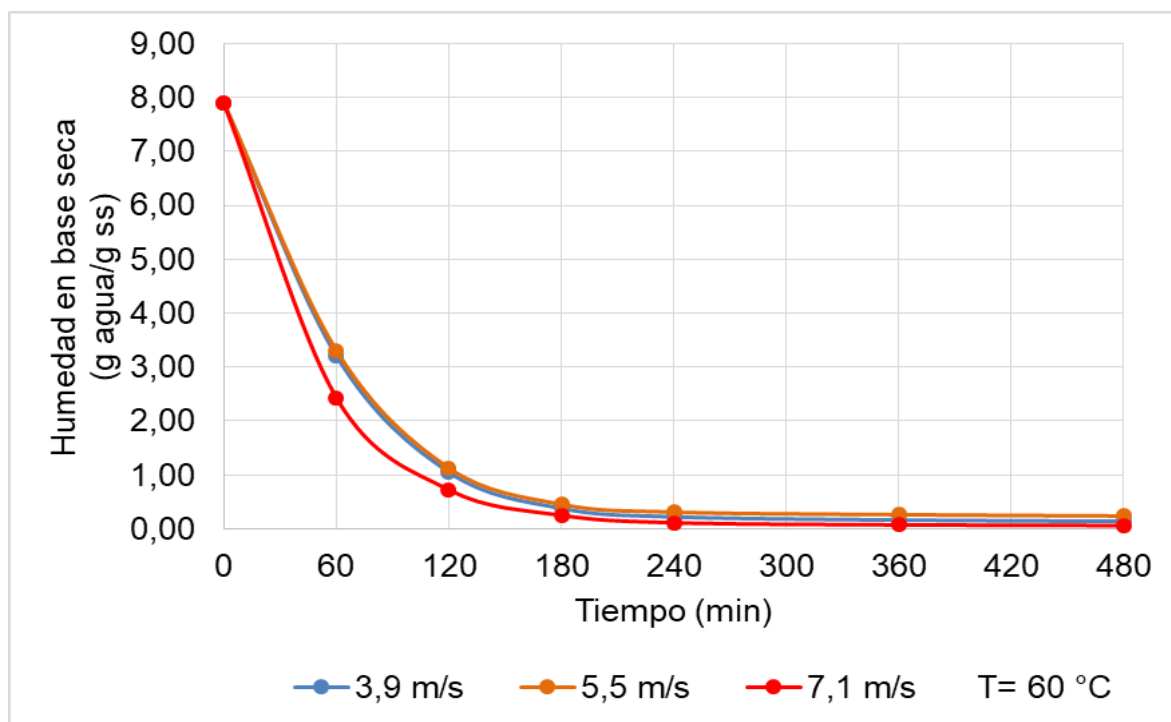
En las Figuras 10, 11 y 12, se observa el comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferentes velocidades de aire para las temperaturas de 50, 60 y 70°C. Se puede observar que la velocidad de aire no tiene cambios significativos a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C para la disminución de la humedad en base seca.

El efecto de la velocidad de aire no causó cambios significativos en las pruebas de deshidratación como se puede observar en las Figuras 10, 11 y 12.

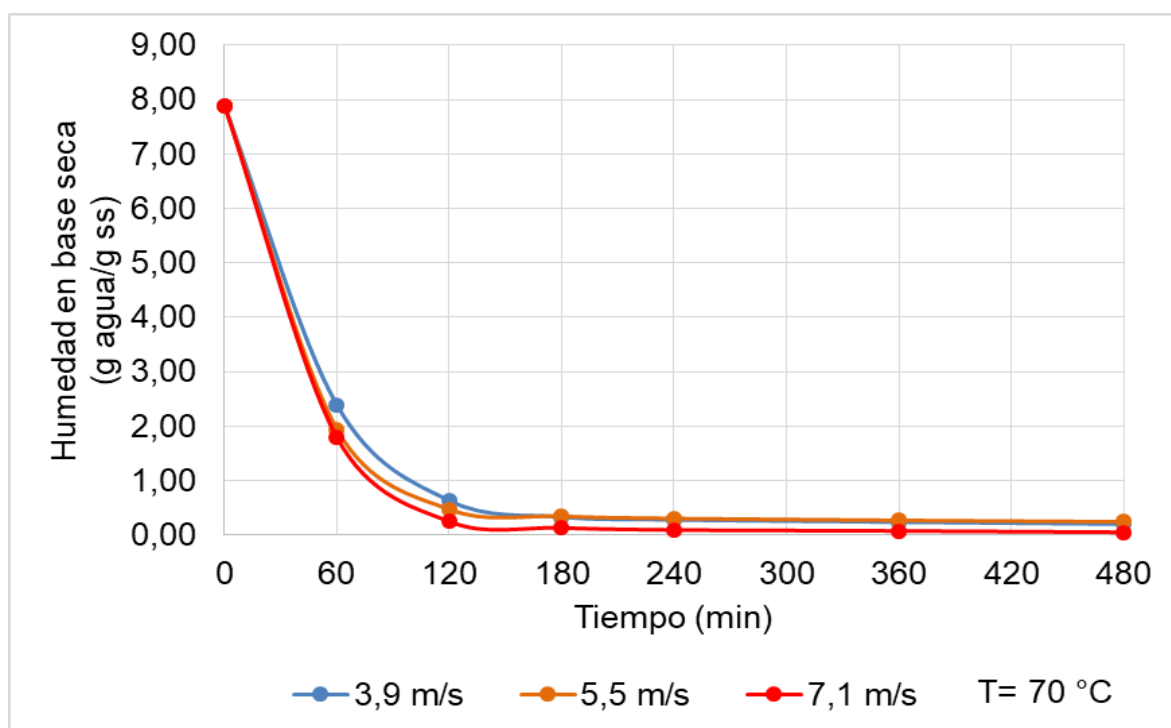


**Figura 10.** Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferente velocidad de aire a 50 °C.





**Figura 11.** Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferente velocidad de aire a 60 °C.



**Figura 12.** Comportamiento de la humedad en base seca con el tiempo de deshidratado a diferentes velocidades de aire a 70 °C.

GARCÍA-PÉREZ *et al.* (2006) determinaron el efecto de la velocidad del aire en un dispositivo de lecho fluidizado por ultrasonido en cáscara de limón. 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) determino 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.

Las humedades a diferentes tiempos de deshidratación se muestran en el Anexo 5.

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

En el Cuadro 3, 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.

**Cuadro 3.** Humedad en base seca del sachá culantro deshidratado a 180 minutos.

Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	HBS (PROM)
50	3,9	1,01
50	5,5	1,03
50	7,1	0,94
60	3,9	0,38
60	5,5	0,46
60	7,1	0,25
70	3,9	0,33
70	5,5	0,35
70	7,1	0,13

El Cuadro 4 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.

**Cuadro 4.** Análisis de Varianza para HBS.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
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			

**Cuadro 5.** Prueba de Tukey para HBS.

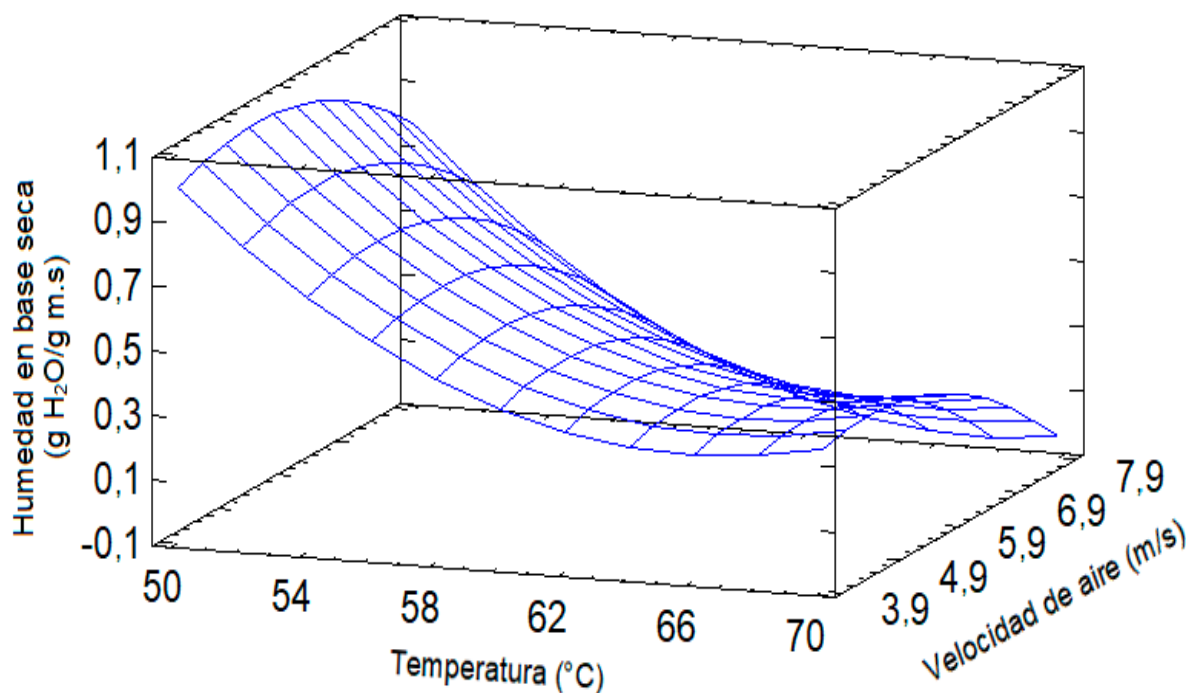
<b>Temperatura</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
70	3	0,270000	0,0643774	A
60	5	0,351111	0,0567755	A
50	3	0,993333	0,0643774	B

De la prueba de Tukey (Cuadro 5) se puede deducir que los tratamientos a 60 y 70 °C son los mejores y estadísticamente iguales.

#### 4.1.5. Optimización de parámetros de deshidratado

Para estimar los parámetros óptimos de deshidratación considerando la humedad del producto, se realizó el análisis por Metodología de Superficie de Respuesta usando la prueba factorial con tres puntos centrales.

La superficie de respuesta obtenida se muestra en la Figura 13:



**Figura 13.** Superficie de respuesta de la humedad en base seca de las hojas de sachaculantro deshidratado por lecho fluidizado a diferentes temperaturas y velocidades de aire.

$$\text{HBS} = 10,992 - 0,358153 \cdot T + 0,498588 \cdot V + 0,00277632 \cdot T^2 - 0,00203125 \cdot T \cdot V - 0,0380345 \cdot V^2 \quad (\text{Formula 1})$$

Donde:

T = Temperatura de deshidratado en °C.

V = 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.

Con la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) se obtuvo la ecuación de optimización, un polinomio de segundo orden que se muestra:

En el Cuadro 6, se muestra la combinación de los niveles de los factores de temperatura y velocidad de aire, la cual minimiza  $H_{BS}$  sobre la región indicada.

**Cuadro 6.** Valores óptimos de deshidratación por lecho fluidizado del sachaculantro

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
Temperatura (°C)	50,0	70,00	67,0985
Velocidad (m/s)	3,9	7,1	7,1000

La temperatura óptima según el análisis estadístico del software STATGRAPHICS es de 67,0985 °C, la velocidad óptima de deshidratación es de 7,1 m/s y reemplazando estos dos valores en la fórmula (1) 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 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. Demostrando así que el contenido de humedad en base seca (HBS) depende linealmente de la temperatura y de la velocidad del aire. Las respuestas superficiales para estas condiciones mencionadas se muestran en la Figura 13.

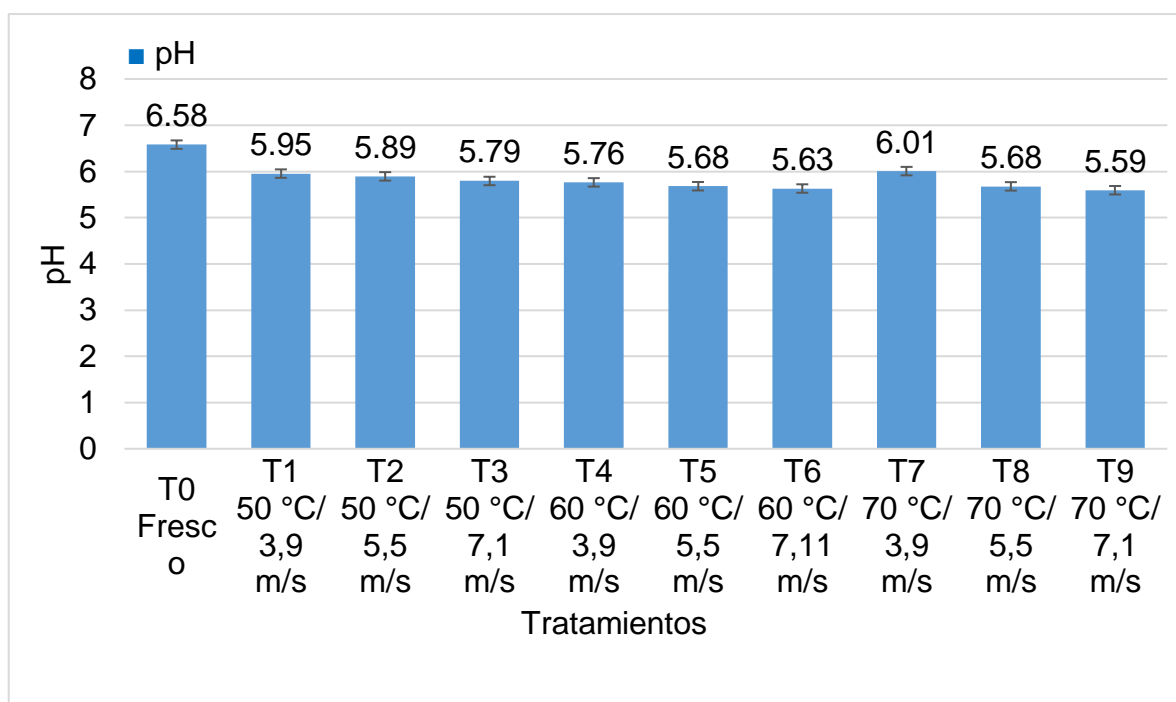
#### **4.2. Determinación del pH de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado**

En el Cuadro 7, el pH del sachá culantro fresco  $T_0$  fue:  $\text{pH} = 6,58 \pm 0,02$ , dicho resultado fue superior al tratamiento óptimo  $T_9$  de sachá culantro deshidratado que obtuvo:  $\text{pH} (70 \text{ °C}/7,1 \text{ m/s}) = 5,59 \pm 0,13$ . De acuerdo a la prueba de Tukey el tratamiento  $T_7$  que obtuvo:  $\text{pH} (70 \text{ °C}/3,9 \text{ m/s}) = 6,01 \pm 0,51$  fue estadísticamente igual al testigo y los tratamientos  $T_1$  al  $T_9$  fueron estadísticamente iguales, dichos resultados son semejantes a los reportados por AMBICHO (2009) el deshidratado de hojas de sachá culantro a 55 °C y almacenado por 24 días presentó un valor de pH: 6,55.

En la Figura 14 se presentan los valores de pH del sachá culantro fresco y deshidratado según tratamientos.

**Cuadro 7.** pH de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

Muestra de Sachá culantro	pH
T <sub>0</sub> (Fresco)	6,58 ± 0,02 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub> (50 °C/3,9 m/s)	5,95 ± 0,15 <sup>b</sup>
T <sub>2</sub> (50 °C/5,5 m/s)	5,89 ± 0,15 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub> (50 °C/7,1 m/s)	5,79 ± 0,14 <sup>b</sup>
T <sub>4</sub> (60 °C/3,9 m/s)	5,76 ± 0,16 <sup>b</sup>
T <sub>5</sub> (60 °C/5,5 m/s)	5,68 ± 0,12 <sup>b</sup>
T <sub>6</sub> (60 °C/7,1 m/s)	5,63 ± 0,20 <sup>b</sup>
T <sub>7</sub> (70 °C/3,9 m/s)	6,01 ± 0,51 <sup>ab</sup>
T <sub>8</sub> (70 °C/5,5 m/s)	5,68 ± 0,01 <sup>b</sup>
T <sub>9</sub> (70 °C/7,11 m/s)	5,59 ± 0,13 <sup>b</sup>

**Figura 14.** Resultado del pH en hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.



En la Figura 14 se observa que existen cambios significativos del pH, en el tratamiento fresco ( $T_0$ ) después del proceso de deshidratación por diferentes tratamientos ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$  y  $T_9$ ). 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

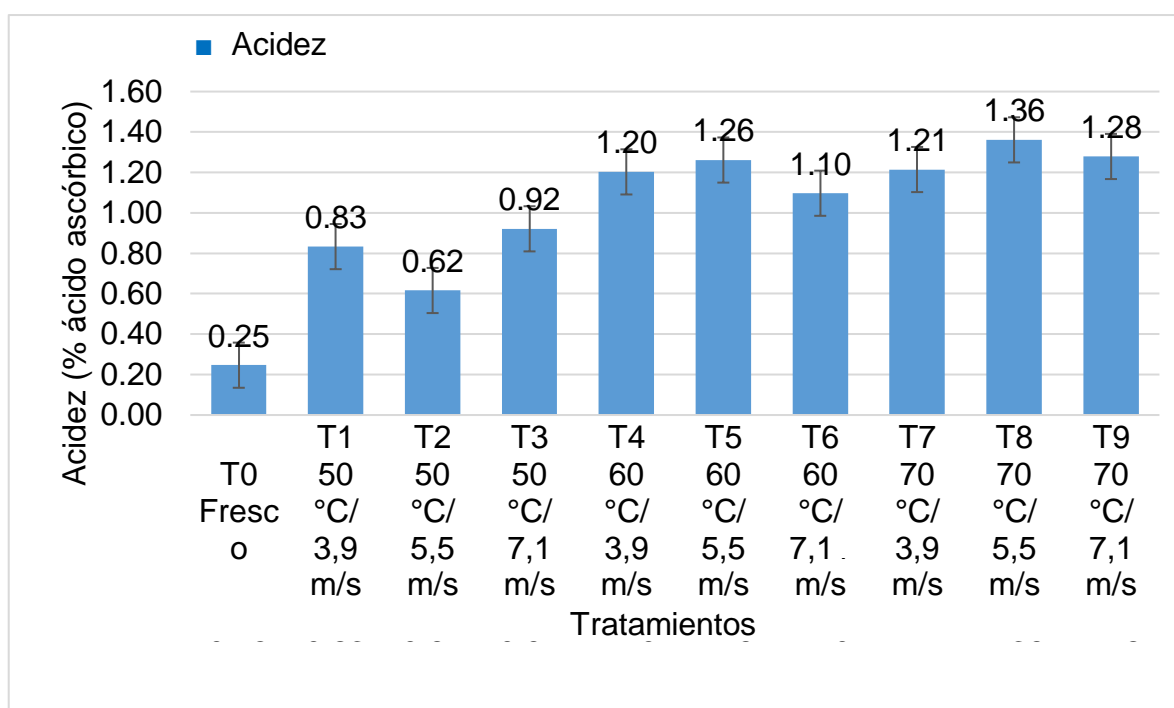
#### **4.3. Determinación de la acidez de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado**

En el Cuadro 8, la acidez del sachá culantro fresco  $T_0$  fue: % acidez =  $0,25 \pm 0,03$  (ácido cítrico), dicho resultado es inferior al tratamiento óptimo  $T_9$  de sachá culantro deshidratado que obtuvo: % acidez ( $70\text{ °C}/7,1\text{ m/s}$ ) =  $1,28 \pm 0,32$ . De los resultados podemos indicar que todos los tratamientos son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey. Dichos resultados fueron superiores a lo reportado por AMBICHO (2009) el deshidratado de hojas de sachá culantro a  $55\text{ °C}$  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 Figura 15 se presentan los valores de acidez del sachá culantro fresco y deshidratado según tratamientos.

**Cuadro 8.** Acidez de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

Muestra de Sachá culantro	Acidez (% ácido cítrico)
T <sub>0</sub> (Fresco)	0,25 ± 0,03 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub> (50 °C/3,9 m/s)	0,83 ± 0,25 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> (50 °C/5,5 m/s)	0,62 ± 0,04 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub> (50 °C/7,1 m/s)	0,92 ± 0,36 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub> (60 °C/3,9 m/s)	1,20 ± 0,71 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub> (60 °C/5,5 m/s)	1,26 ± 0,45 <sup>a</sup>
T <sub>6</sub> (60 °C/7,1 m/s)	1,10 ± 0,29 <sup>a</sup>
T <sub>7</sub> (70 °C/3,9 m/s)	1,21 ± 0,62 <sup>a</sup>
T <sub>8</sub> (70 °C/5,5 m/s)	1,36 ± 0,56 <sup>a</sup>
T <sub>9</sub> (70 °C/7,11 m/s)	1,28 ± 0,32 <sup>a</sup>

**Figura 15.** Resultado de la acidez en hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

En la Figura 15 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>).

#### 4.4. Resultado de la evaluación de la actividad antioxidante de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

En el Cuadro 9, se presenta los resultados de la actividad antioxidante de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

**Cuadro 9.** Actividad antioxidante de las hojas de sachá culantro fresco y deshidratado.

Muestra de Sachá culantro	DPPH ( $\mu\text{M TE/g muestra}$ )
T <sub>0</sub> (Testigo)	15,58 $\pm$ 0,99 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub> (50 °C/3,9 m/s)	18,99 $\pm$ 2,06 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> (50 °C/5,5 m/s)	18,28 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub> (50 °C/7,1 m/s)	18,53 $\pm$ 2,26 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub> (60 °C/3,9 m/s)	19,63 $\pm$ 3,36 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub> (60 °C/5,5 m/s)	20,46 $\pm$ 1,65 <sup>a</sup>
T <sub>6</sub> (60 °C/7,1 m/s)	19,15 $\pm$ 1,83 <sup>a</sup>
T <sub>7</sub> (70 °C/3,9 m/s)	17,91 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>
T <sub>8</sub> (70 °C/5,5 m/s)	18,49 $\pm$ 1,94 <sup>a</sup>
T <sub>9</sub> (70 °C/7,1 m/s)	16,28 $\pm$ 1,63 <sup>a</sup>

Del Cuadro 9, se deduce que la actividad antioxidante de las hojas de sachá culantro deshidratado de los tratamientos T<sub>1</sub> al T<sub>9</sub> son superiores a las

hojas de sachá culantro fresco ( $T_0$ ). De los resultados podemos indicar que todos los tratamientos son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey.

El tratamiento  $T_5$  muestra la mayor actividad antioxidante con 20,46  $\mu\text{MTE/g}$  muestra, en cambio el tratamiento  $T_9$  muestra la menor capacidad antioxidante con 16,28  $\mu\text{MTE/g}$  muestra, dichos 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 utilizando 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  $3,29 \pm 1,33$   $\mu\text{moles TE/100 g}$  de materia seca. La actividad de eliminación de radicales DPPH no fue significativamente diferente ( $p > 0,05$ ) en hojas de Stevia secadas a  $80^\circ\text{C}$  alcanzando un valor medio de  $2,79 \pm 0,02$   $\mu\text{moles TE/100 g}$  de materia seca.

**Cuadro 10.** Análisis de Varianza de 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			

El Cuadro 10, muestra que ninguno de los tratamientos de deshidratación tiene un efecto significativo sobre la temperatura con un valor-P = 0,1662 y la velocidad de aire con un valor-P= 0,3672.

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

En los Cuadros 11 y 12, se muestra los resultados del ANOVA y Kruskal-Wallis del color del sachaculantro deshidratado, estos análisis se hicieron en STATGRAPHICS Centurión XV.

**Cuadro 11.** Análisis de varianza ANOVA del color

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
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. También no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ya que el análisis estadístico Kruskal-Wallis muestra un valor-P= 0,899272.

**Cuadro 12.** 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, convirtiendo así 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 el Cuadro 13, se presenta los resultados del ANOVA del aroma del sachá culantro deshidratado.

**Cuadro 13.** Análisis de varianza ANOVA del aroma.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
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 el Cuadro 14 se presenta los resultados de la evaluación del aroma por Kruskal-Wallis.

**Cuadro 14.** Prueba de Kruskal-Wallis para el aroma.

<b>Trat A</b>	<b>Tamaño muestra</b>	<b>Rango promedio</b>
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 utilizando 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, lo que conduce 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>, condiciones en las que se preservan mejor las características organolépticas del cilantro cimarrón, solamente  $\alpha$ -terpineol, geranil acetato, dodecanal y 2 E-dodecenal incrementaron su concentración, ya que son componentes con baja facilidad de evaporación y termo resistencia.



En el Cuadro 15 se muestra el resultado del ANOVA para la evaluación del sabor luego del proceso de deshidratación indicando que no tuvo diferencia significativa con un valor-P= 0,1686.

**Cuadro 15.** Análisis de varianza ANOVA del sabor.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	3,2	1	3,20000	2,06	0,1686
Intra grupos	28,0	18	1,55556		
Total (Corr.)	31,2	19			

En el Cuadro 16 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.

**Cuadro 16.** Prueba de Kruskal-Wallis para el sabor.

<b>Trat S</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>
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 la investigación.

## V. CONCLUSIONES

- Los parámetros óptimos de deshidratación de sachá culantro por lecho fluidizado minimizando la humedad fueron: Temperatura 67,1 °C y velocidad de aire 7,1 m/s, obteniéndose 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  $\mu\text{M}$  TE/g muestra en estado fresco a 16,28  $\mu\text{M}$  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.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar diferentes formas para el secado de sachá culantro, por ejemplo: liofilizado, secado solar y secado por tambor.
- Investigar el compuesto aromático del sachá culantro por HPLC, y evaluar los efectos antihelmínticos de esta planta.
- Evaluar el tiempo de vida del sachá culantro deshidratado a diferentes humedades.

## VII. ABSTRACT

### THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS FOR THE DEHYDRATION OF CULANTRO (*Eryngium Foetidum* L.) USING A FLUIDIZED BED

The research took place in the laboratories at the Universidad Nacional Agraria de la Selva, located in the city of Tingo Maria. It consisted in optimizing the dehydration of culantro leaves (*Eryngium foetidum* L.) using fluidized beds, through the surface response methodology, with a factorial design with three central points, the parameters used were temperatures of 50, 60, 70 °C and air velocities of 3.9, 5.5 and 7.1 m/s. The pH, acidity, antioxidant activity and sensory response for the dehydrated culantro leaves were evaluated. The statistical analysis of the results were done with ANOVA and the Tukey test using the STATGRAPHICS Centurión XV software. The temperature and velocity of the air significantly influence the final humidity ( $p < 0.05$ ) obtaining optimal dehydration parameters of °C and 7.1 m/s, the final humidity was 0.12 g water/g m.s. at 180 minutes of drying. The mathematical dehydration model satisfactorily describes the dehydration process using fluidized beds. The initial humidity of the culantro leaves was  $88.76 \pm 0.68$  %, and for the dehydration, it was found that no significant influence from the dehydration parameters exists in the antioxidant activity ( $p > 0.05$ ), at the same time, there was no influence from the treatments on the sensory results for color, aroma and flavor ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** Optimization, surface response, pH, acidity, antioxidant activity (DPPH), sensory evaluation.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1997. Oficial Methods of Analysis of AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists). International; Agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and drugs. V1 y V2 Arltington: A.O.A.C. Inc 2658 p.
- BARJA, G. 2019. Radicales libres y antioxidantes. In: Monografía IV. Bioquímica y fisiopatología del estrés oxidativo. Ed. por real academia nacional de farmacia. Madrid, España. Real academia nacional de farmacia. p. 21-44.
- 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, Tamil Nadu. 90(0):536–556.
- BUENO, S.C., CAMPAS, B.O.N., DÍAZ, G.A.S., IZAGUIRRE, F.E.I., VERDUGO, Z.W., ESTRADA, A.M.I., SÁNCHEZ, M.D.I., LÓPEZ, C.J. 2009. Cuantificación de riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>) en productos lácteos por HPLC. Rev. Chil. Nutr., Santiago. 36(2): 136-142.
- BRUSH, C. 2006. Estudio del procesamiento tecnológico para la elaboración de un té a partir de la *cnidoscolus aconitifolius* (chaya). Tesis Ing. química. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 134 p.
- BRIGHENTI, F., VALTUENA, S., PELLEGRINI, N., ARDIGO, D., DEL RIO, D., SALVATORE, S., PIATTI, P., SERAFINI, M., ZAVARONI, I., 2005. Total

antioxidant capacity of the diet is inversely and independently related to plasma concentration of high-sensitivity C-reactive protein in adult Italian subjects. *The British Journal of Nutrition*, Italia. 93(5): 619–625.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M., BERSET, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food science and technology*, Massy. 28(1):25-30.

BAUTISTA, O.K., KOSIYACHINDA, S., RAHMAN, A.S.A., SOENOEADJI. 1988. Traditional vegetables of Asia. *ASEAN Food Journal*, Filipinas. 4(2): 47-58.

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.

EQUIHUA, M. 2001. Efecto de la cocarboxilasa sobre la glucemia en ratas wistar inducidas a diabetes. Tesis medicina. Colima, México. Universidad de Colima. 76 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]: UTADAO, ([https://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field\\_attached\\_file/cilantro\\_y\\_perejil.pdf](https://www.utadeo.edu.co/files/collections/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, Madrid. 44(0):539-543.
- HU M., JACOBSEN, CH. 2016. Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats. USA, Elsevier Inc. 564 p.
- HERNANDEZ, A. 2005. Evaluación sensorial. 1 ed. Bogotá, Colombia, UNAD. 128 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, Colombia. 16(2): 140-150.
- JAMBHALE, A.S., BARBADEKAR, B.V. 2008. Microwave drying system with high-tech phase controller: a modified applicator. World Acad. Sci. Eng. Technol, India. 2(10):1088-1092.
- KUMAR, S., KUMAR, M., KUMAR, D. 2017. Development of empirical expression for thin layer groundnut drying under open sun and forced convection modes. Agricultural Engineering International, Haryana. 19(4):152-158.
- KUMAR, S. 2016. Analytical techniques for natural product research. Massachusetts, Emma McCann. Boston, USA. 194 p.
- KUMAR, Y., TIWARI, S., BELORKAR, S. 2015. Drying: An excellent method for food preservation. International journal of engineering studies and technical approach, Chhattisgarh. 1(0):1-17.
- 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, Hyderabad. 3(2):38-45.
- 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, Turquía. 34(1):27-48.
- 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, La Serena. 71(1):49-56.
- MINAGRI. 2015. Sacha culantro. Ministerio de agricultura y riego. Lima, Perú. 2 p.
- 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, Chihuahua. 28(1):36-46.
- MORALES PAYÁN, J.P., BRUNNER, B., FLORES, L., MARTÍNEZ, S. 2013. Culantro orgánico. [En línea]: Proyecto de Agricultura Orgánica, (<http://prorganico.info/culantro.pdf>, hoja informativa, 31 oct. 2017).
- 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.

- 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., Caracas.* 20(3):306-319.
- MOSTACERO, J., MEJIA, F., GAMARRA, O. 2002. Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú. Editora normas legales S.A.C. Trujillo, Perú. 603 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.* Colombia. 34(1): 1450-1453.
- 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.
- OZCELIK, O., LEE, J.H., MIN, D.B. 2003. Effects of light, oxygen and pH on the Absorbance of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. *Journal of Food Science,* 68(2): 487-490.
- PUENTE, V. 2019. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de extractos de hoja de sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) y de aceite de copaiba (*Copaifera paupera*) procedentes de la provincia de Coronel Portillo, Ucayali. Tesis Lic. Nutrición y dietética. Lima, Peru. Universidad científica del sur. 55 p.
- 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, Atenas. 2(0):834-839.
- PAUL, J.H.A., SEAFORTH, C.E., TIKASINGH, T. 2011. *Eryngium foetidum* L.: A review. Fitoterapia. Trinidad y Tobago. 82(3):302-308.
- PUCHAU, B., ZULET, M.A., GONZALEZ E.A., HERMSDORFF, H.H., MARTINEZ, J.A. 2010. Dietary total antioxidant capacity is negatively associated with some metabolic syndrome features in healthy young adults. Nutrition, España. 26(5): 534-541.
- RODRÍGUEZ, J. 2014. Estructura química y actividad antioxidante in vitro del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. "siuca culantro". Mg. Tesis de Farmacia y bioquímica. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 44 p.
- 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, India. 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, India. 86(3):379-387.
- RODRÍGUEZ, F., AGUADO, J., CALLES J.A., CAÑIZARES, P., LOPÉZ, B., SANTOS, A., SERRANO, D. 2002. Ingeniería de la industria alimentaria. Operaciones de procesado de alimentos. Volumen II. Editorial síntesis. Madrid, España. 106 p.

- RAMCHARAM, CH. 1999. Culantro: A much utilized, little understood herb. [En línea]: Perspectives on new crops and new uses, (<https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1999/pdf/v4-506.pdf>, documento, 26 jul. 2018).
- SYAHRUL, S., MIRMANTO, M., HARTAWAN, Y., SUKMAWATY, S. 2018. Effect of air intake temperature on drying time of unhulled rice using a fluidized bed dryer. *Heat and Mass Transfer, Indonesia*. 55(2):293-298.
- SIGMA A. 2018. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl. [En línea]: sigmaaldrich, ([https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/d9132?lang=en&region=PE&gclid=CjwKCAjw5ZPcBRBkEiwA-avvk63pCL1yk6foencHWF1gln62e5usarVic-RwePPurzPIPONFda6N8hoCR30QAvD\\_BwE](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/d9132?lang=en&region=PE&gclid=CjwKCAjw5ZPcBRBkEiwA-avvk63pCL1yk6foencHWF1gln62e5usarVic-RwePPurzPIPONFda6N8hoCR30QAvD_BwE), página, 28 Ag. 2018).
- SALGADO VERAMENDI FLORISA. 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*. India. 61(6):1085-1090.
- SINGH, P. 1984. Introducción a la ingeniería de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España. 225 p.
- 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, Hamamatsu-shi. 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).

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, Malasia. 80(2): 695-700.

VELA, K., HOYOS, I. 2015. Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), proveniente de Michina, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Tesis Ing. Agroindustrial. Chachapoyas, Perú. 118 p.

WANG, P., SU, Z., YUAN, W., DENG, G., LI, S. 2012. Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Eryngium* L. (*Apiaceae*) Pharmaceut. Crops. 3:99–120.

**ANEXO**

## Anexo 1. Cartilla de evaluación.

**Producto:** Sacha culantro (*Eryngium foetidum* L.) deshidratado

**Fecha:** .....

**Nombre:** .....

**Hora:** .....

Ante usted se presenta muestras de sachá culantro deshidratado, evalúe según los atributos indicados marcando con una (x) en el recuadro correspondiente.

### Atributo COLOR

Escala	MUESTRA								
	105	807	557	483	275	337	412	198	972
Verde pardo oscuro									
Verde pardo									
Verde pardo poco claro									
Verde pardo claro									
Verde pardo amarillo									

### Atributo AROMA

Escala	MUESTRA								
	105	807	557	483	275	337	412	198	972
Intensamente perceptible a sachá culantro									
Muy perceptible a sachá culantro									
Ligeramente perceptible a sachá culantro									
Poco perceptible a sachá culantro									
No perceptible a sachá culantro									

### Observaciones:

.....  
 .....



**Anexo 2.** Test de preferencia.

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES**

Frente a usted se presentan una muestra de sopa con sachá culantro. Por favor, observe y pruebe la muestra, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o le disgusta el atributo de la muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

**Nota:** recuerde tomar agua

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta extremadamente	6	Me gusta levemente
2	Me disgusta mucho	7	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta moderadamente	8	Me gusta mucho
4	Me disgusta levemente	9	Me gusta extremadamente
5	No me gusta ni me disgusta		

CODIGO	Calificación para el atributo: SABOR
186	
537	
¡Gracias por su colaboración!	

**Observaciones:**

.....  
 .....

**Anexo 3.** Humedad inicial del sachá culantro.

<b>Repeticiones</b>	<b>Porcentaje de humedad %</b>
r <sub>1</sub>	89,19
r <sub>2</sub>	87,98
r <sub>3</sub>	89,12
Promedio	88,76
Des. estándar	0,68
Max	89,19
Min	87,98

**ANEXO 4.** Datos de tiempo y pesos a diferentes temperaturas de 50; 60 y 70 °C y diferentes velocidades de aire de 3,9; 5,5 y 7,1 m/s con sus respectivas repeticiones.

<b>R<sub>1</sub> a (3,9 m/s)</b>					
<b>50 °C</b>		<b>60 °C</b>		<b>70 °C</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>
0	507,10	0	501,40	0	500,00
60	251,80	60	216,10	60	199,20
120	145,40	120	85,60	120	100,60
180	99,90	180	70,10	180	95,10
300	71,10	300	66,50	240	90,00
420	65,10	420	63,90	360	85,20
480	63,50	480	62,40	480	80,10

<b>R<sub>2</sub> (3,9 m/s)</b>					
<b>50 °C</b>		<b>60 °C</b>		<b>70 °C</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>g</b>
0	501,70	0	500,60	0	500,60
60	260,40	60	236,30	60	173,40
120	145,90	120	124,60	120	87,90
180	108,50	180	79,60	180	60,20
240	86,30	240	68,70	240	59,00
360	65,90	360	65,10	360	57,30
480	61,10	480	63,70	480	57,30

**R<sub>3</sub> (3,9 m/s)**

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	500,90	0	500,60	0	500,40
60	314,10	60	259,20	60	199,80
120	188,20	120	136,20	120	87,40
180	132,00	180	83,30	180	69,60
240	108,60	240	71,20	240	67,20
360	79,30	360	67,40	360	66,60
480	74,90	480	66,40	480	65,40

---

**R<sub>1</sub> (5,5 m/s)**

---

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	503,20	0	504,80	0	502,20
60	305,90	60	268,90	60	150,50
120	182,20	120	126,00	120	84,40
180	123,20	180	75,80	180	80,30
300	82,60	240	65,30	240	77,70
420	71,30	360	62,30	360	75,20
480	69,00	480	61,40	480	73,60

---

**R<sub>2</sub> (5,5 m/s)**

---

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	509,20	0	500,50	0	500,20
60	254,30	60	236,30	60	194,00
120	160,40	120	120,60	120	89,30
180	119,60	180	87,30	180	79,60
240	97,50	240	79,10	240	76,60
360	81,20	360	76,10	360	74,30
480	77,50	480	74,10	480	72,40

---

**R<sub>3</sub> (5,5 m/s)**

---

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	500,10	0	500,10	0	500,80
60	264,40	60	224,40	60	153,60
120	150,10	120	113,40	120	75,30
180	102,20	180	83,10	180	67,50
240	81,60	240	77,10	240	66,40
360	68,70	360	75,20	360	65,20
480	65,90	480	74,20	480	64,30

---

**R<sub>1</sub> (7,1 m/s)**

---

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	506,10	0	507,70	0	500,20
60	268,00	60	236,10	60	128,50
120	141,80	120	118,40	120	67,50
180	91,30	180	77,90	180	60,10
300	71,50	240	66,20	240	57,10
420	67,90	360	61,40	360	56,90
480	65,80	480	60,10	480	56,90

R <sub>2</sub> (7,1 m/s)					
50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	503,10	0	500,20	0	500,60
60	253,70	60	178,40	60	160,40
120	142,40	120	94,80	120	71,40
180	116,30	180	68,80	180	65,20
240	94,20	240	59,20	240	63,80
360	71,00	360	58,10	360	62,30
480	65,10	480	57,95	480	60,30

R<sub>3</sub> (7,1 m/s)

50 °C		60 °C		70 °C	
Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g	Tiempo (min)	g
0	500,21	0	500,60	0	500,50
60	280,70	60	168,00	60	183,30
120	168,00	120	79,60	120	72,00
180	120,70	180	65,80	180	66,20
240	96,10	240	63,50	240	63,80
360	76,90	360	62,60	360	62,50
480	71,90	480	61,90	480	60,50

**ANEXO 5.** Datos promedios para la obtención de optimización del deshidratado por lecho fluidizado del sachá culantro.

<b>50°C/3,9 m/s</b>		<b>50°C/5,5 m/s</b>		<b>50°C/7,1 m/s</b>		<b>60°C/3,9 m/s</b>		<b>60°C/5,5 m/s</b>		<b>60°C/7,1 m/s</b>		<b>70°C/3,9 m/s</b>		<b>70°C/5,5 m/s</b>		<b>70°C/7,1 m/s</b>	
<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>	<b>min</b>	<b>HBS</b>
0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90	0	7,90
60	3,87	60	3,85	60	3,73	60	3,21	60	3,31	60	2,43	60	2,39	60	1,95	60	1,80
120	1,83	120	1,90	120	1,67	120	1,05	120	1,13	120	0,73	120	0,64	120	0,47	120	0,25
180	1,01	180	1,03	180	0,94	180	0,38	180	0,46	180	0,25	180	0,33	180	0,35	180	0,13
240	0,57	240	0,54	240	0,54	240	0,22	240	0,31	240	0,11	240	0,28	240	0,31	240	0,09
360	0,24	360	0,30	360	0,27	360	0,16	360	0,26	360	0,07	360	0,24	360	0,27	360	0,08
480	0,18	480	0,25	480	0,20	480	0,14	480	0,24	480	0,06	480	0,20	480	0,24	480	0,05



**Anexo 6. Humedad en base seca (HBS).**

Temperatura	Velocidad	Humedad en base seca (HBS)			
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Promedio
50	3,9	0,75	0,92	1,34	1,01
60	3,9	0,24	0,41	0,48	0,38
70	3,9	0,69	0,07	0,24	0,33
50	5,5	1,18	1,09	0,82	1,03
60	5,5	0,34	0,55	0,48	0,46
70	5,5	0,42	0,42	0,20	0,35
50	7,1	0,60	1,06	1,15	0,94
60	7,1	0,37	0,22	0,17	0,25
70	7,1	0,07	0,16	0,18	0,13
60	5,5	0,34	0,55	0,48	0,46
60	5,5	0,34	0,55	0,48	0,46

## Anexo 7. Resultados de la evaluación sensorial.

### 7.1. Cartilla de evaluación

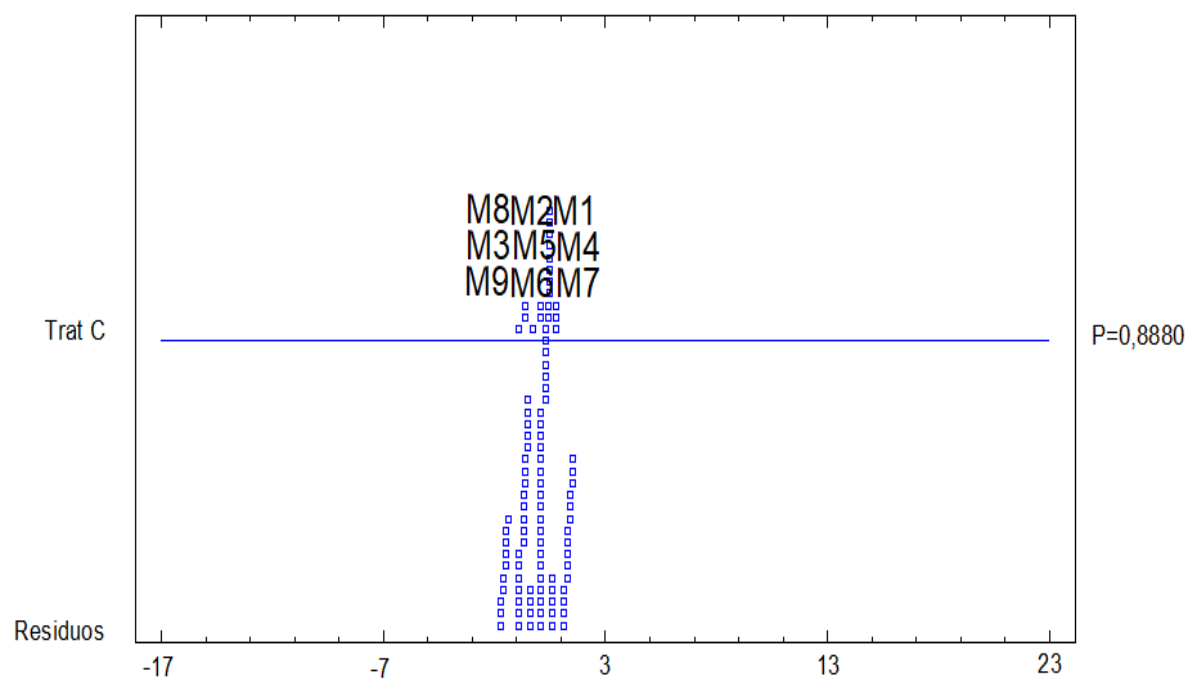
PANELISTAS	COLOR								
	TRATAMIENTOS								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P1	3	3	2	2	2	3	3	4	4
P2	4	5	3	4	3	2	4	2	4
P3	4	3	3	2	2	3	3	2	2
P4	5	4	4	4	3	5	4	3	4
P5	4	2	5	4	5	2	4	5	3
P6	5	4	3	4	5	5	4	4	3
P7	5	3	2	4	5	5	4	3	3
P8	3	4	4	4	4	4	4	4	4
P9	4	5	4	5	4	3	5	4	3
P10	4	4	5	4	4	4	4	4	4

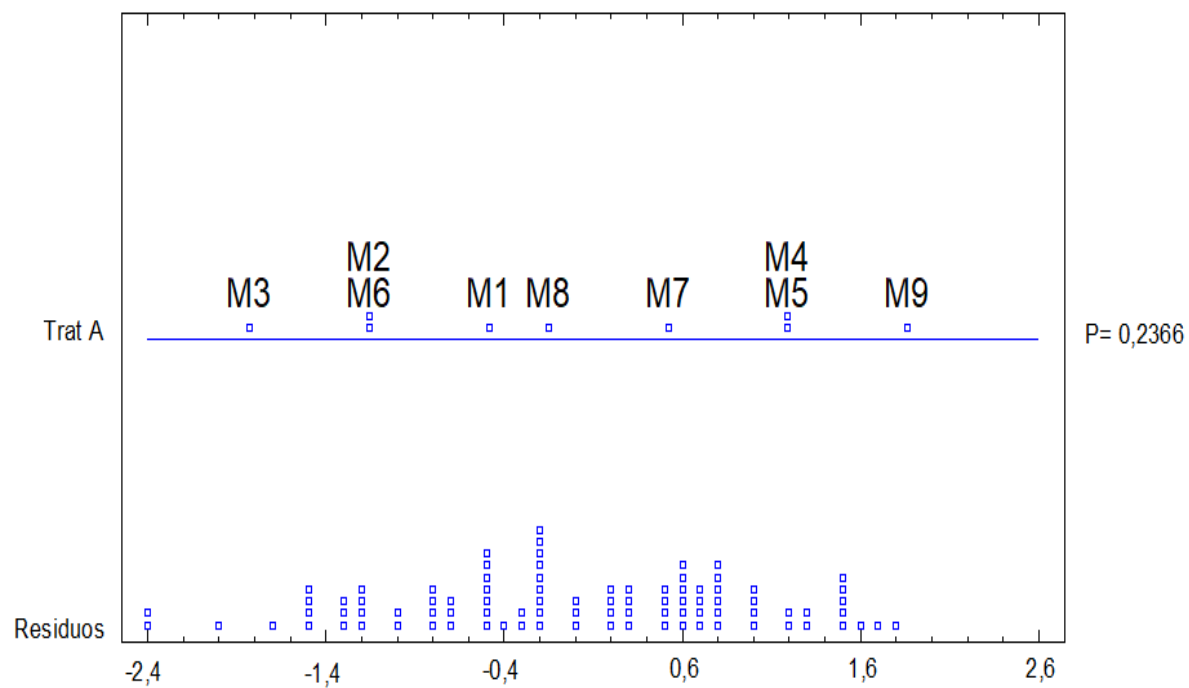
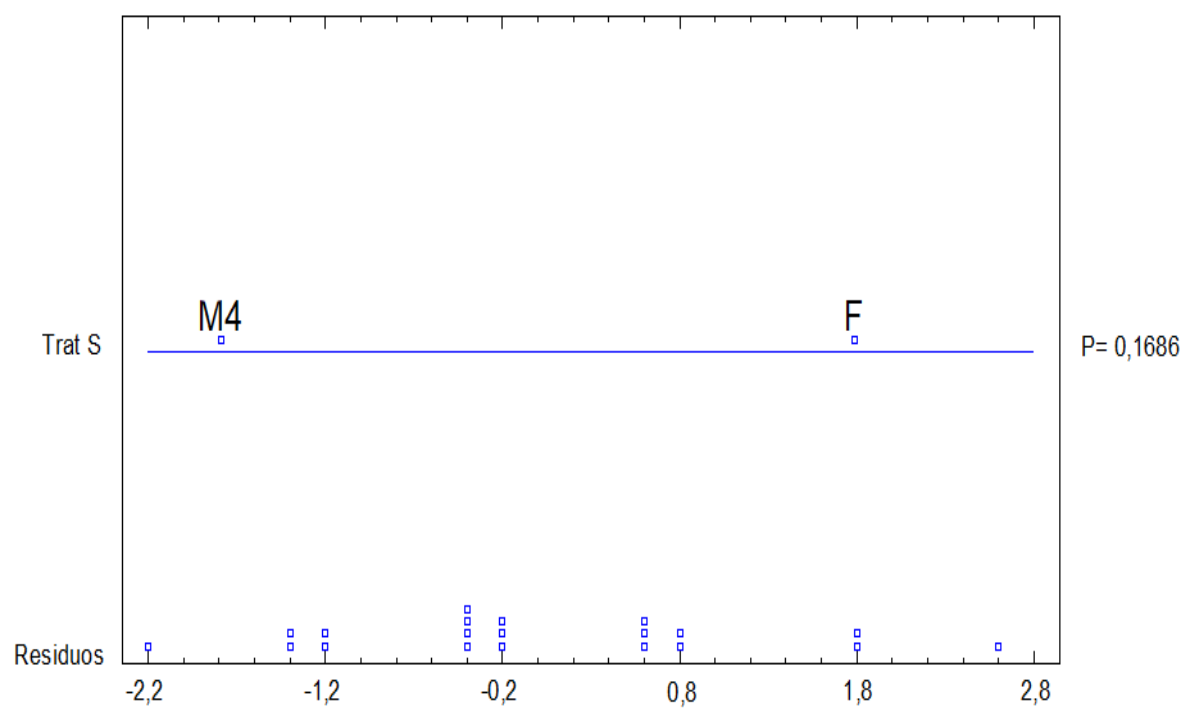
PANELISTAS	AROMA								
	TRATAMIENTOS								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P <sub>1</sub>	4	4	4	3	4	4	4	4	4
P <sub>2</sub>	3	2	3	3	4	1	4	2	4
P <sub>3</sub>	1	1	2	2	3	2	3	3	4
P <sub>4</sub>	3	2	2	3	2	2	3	2	1
P <sub>5</sub>	3	2	1	4	2	3	4	3	5
P <sub>6</sub>	2	4	1	4	5	2	1	2	3
P <sub>7</sub>	2	1	3	3	2	1	2	2	1
P <sub>8</sub>	2	2	1	3	2	3	3	3	4
P <sub>9</sub>	4	4	3	3	4	4	2	3	4
P <sub>10</sub>	3	3	3	3	4	3	4	4	4

## 7.2. Test de preferencia.

PANELISTAS	SABOR	
	TRATAMIENTOS	
	F	M4
E <sub>1</sub>	4	6
E <sub>2</sub>	5	4
E <sub>3</sub>	8	5
E <sub>4</sub>	8	6
E <sub>5</sub>	5	5
E <sub>6</sub>	6	5
E <sub>7</sub>	7	4
E <sub>8</sub>	7	6
E <sub>9</sub>	6	8
E <sub>10</sub>	6	5

## Anexo 8. Gráfico ANOVA para el color.



**Anexo 9.** Gráfico ANOVA para el aroma.**Anexo 10.** Gráfico ANOVA para el sabor.

**ANEXO 11. Cálculos de deshidratado.****11.1. Determinación de humedad en base seca de hojas de sachá culantro****Si:****Humedad inicial= 88,76 %****Peso de muestra= 500,00 g****Agua de la muestra (H<sub>2</sub>O)= 500 g.(88,76%) = 443,80 g.****Materia seca de la muestra (m.s)= 500,00 g - 443,80 g = 56,20 g.**

$$\text{HBS} = \frac{W_i - \text{m. s}}{\text{m. s}}$$

**Donde:****W<sub>i</sub>: peso inicial del sachá culantro fresco.****W<sub>f</sub>: Materia seca de la muestra.**

$$\text{HBS} = \frac{500,00 - 56,20}{56,20} = 7,8968$$

**11.2. Cálculo de la optimización de la humedad en base seca**

$$\begin{aligned} \text{HBS} = & 10,992 - 0,358153 \cdot \text{Temperatura} + 0,498588 \cdot \text{Velocidad} + \\ & 0,00277632 \cdot \text{Temperatura}^2 - 0,00203125 \cdot \text{Temperatura} \cdot \text{Velocidad} - \\ & 0,0380345 \cdot \text{Velocidad}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HBS} = & 10,992 - 0,358153 \cdot (67,0985) + 0,498588 \cdot (7,1) + 0,00277632 \cdot (67,0985)^2 - \\ & 0,00203125 \cdot (67,0985) \cdot (7,1) - 0,0380345 \cdot (7,1)^2 \end{aligned}$$

$$\text{HBS} = 0,1150$$

**Anexo 12. Fotografías de la investigación.**

Desinfectado de las hojas de sachá culantro con hipoclorito de sodio



Hojas de sachá culantro colocadas sobre en bandeja para su oreo



Sachá culantro saliendo de la deshidratadora de lecho fluidizado



Anemómetro



Envasado de sachá culantro deshidratado molido y en sobres trilaminados



Sellado de sachá culantro deshidratado molido y en sobre trilaminados



Pesado de muestras de sachá culantro deshidratadas y molidas



Medición del pH

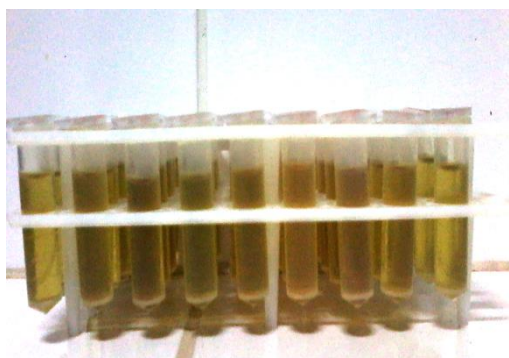




Determinación de la acidez



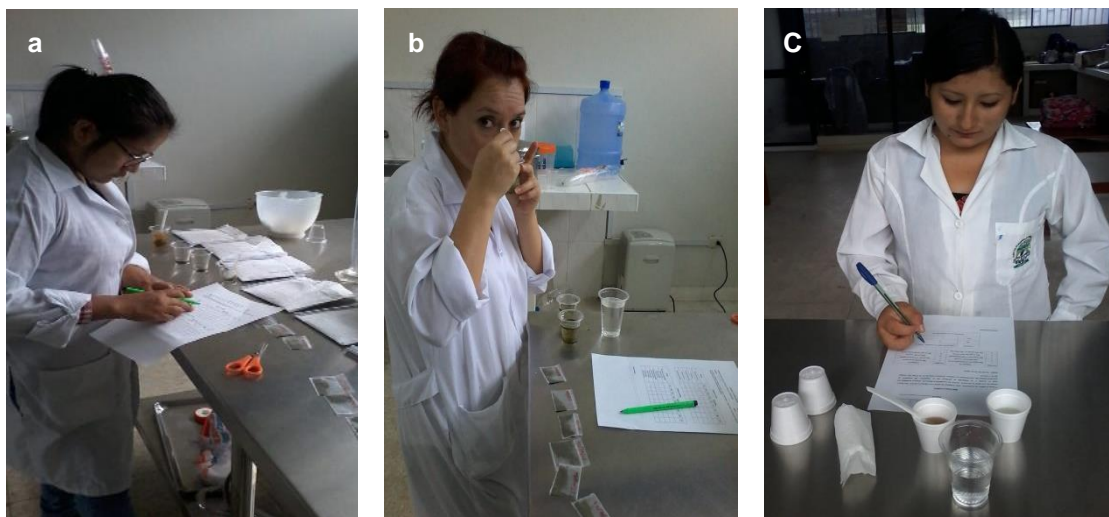
Filtrado de extractos de sachaculantro



Extractos de sachaculantro



Equipo espectrofotómetro modelo GENESYS-6 THERMO SCIENTIFIC (UV/Vis).



Realizando el análisis sensorial de las hojas deshidratadas de sachaculantro: a) evaluación del color, b) evaluación del aroma y c) evaluación del sabor.



VERDE PARDO OSCURO



VERDE PARDO



VERDE PARDO POCO CLARO



VERDE PARDO CLARO



VERDE PARDO AMARILLO

Patrón de colores para evaluación sensorial de color