



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SECADO POR  
ATOMIZACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA  
UVILLA *Physalis Peruviana* L.**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

**AUTORA:** Yessenia Beatriz Chancosi Tuquerres

**TUTOR:** Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc.

**Ibarra - Ecuador**

**2022**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

## “EFECTO DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA UVILLA *Physalis Peruviana L.*”

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su  
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA**

Ing. Luis Manosalvas, MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**



FIRMA

Bioq. Valeria Olmedo, MSc.

**OPOSITOR**



FIRMA

Ing. Nicolás Pinto, MSc.

**OPOSITOR**



FIRMA

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	105008805-1		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chancosi Tuquerres Yessenia Beatriz		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cayambe, Parroquia Ayora, Comunidad Santo Domingo N°1		
<b>EMAIL:</b>	ybchancosit@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	02-2148014	<b>CELULAR:</b>	0986714246

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Efecto de los parámetros del proceso de secado por atomización sobre la capacidad antioxidante de la uvilla <i>Physalis Peruviana L.</i> ”
<b>AUTOR:</b>	Chancosi Tuquerres Yessenia Beatriz
<b>FECHA:</b>	11/11/2022
<b>PROGRAMA:</b>	(X) <b>PREGRADO</b> ( ) <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Agroindustrial
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Luis Armando Manosalvas, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, a los once días del mes de noviembre del 2022.

**EL AUTORA:**

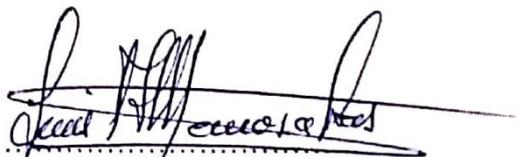


.....

**Chancosi Tuquerres Yessenia Beatriz**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por la Srta. Chancosi Tuquerres Yessenia Beatriz, con cédula de ciudadanía 105008805-1, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Manosalvas', written over a horizontal line.

Ing. Luis Manosalvas, MSc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios y la virgen del Quinche por bendecirme en este trayecto de mi vida, a mis queridos padres; Segundo Chancosi y Enma Tuquerres, a mi hermano; Xavier Chancosi que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Mi gratitud, también a la Universidad Técnica del Norte en especial a la carrera de Ingeniería Agroindustrial por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios universitarios y fórmame como profesional.

A mi tutor Ing. Armando Manosalvas por su paciencia y dedicación prestada, a mis asesores; Bioq. Valeria Olmedo e Ing. Nicolás Pinto por compartirme sus conocimientos y guiarme en mi trabajo de titulación.

A mi querida amiga Valeria Martínez por compartir momentos inolvidables y por toda la ayuda brindada durante mi investigación.

Esto es posible gracias a ustedes

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a la virgen por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se presentaban, a mis padres; Segundo Chancosi y Enma Tuquerres, por su apoyo, comprensión, amor, quienes con todo su esfuerzo lograron que pueda cumplir este sueño tan anhelado.

A mi hermano Xavier Chancosi; por su comprensión y apoyo moral brindado en todo momento.

A mis padrinos Eduardo Álvarez y Blanca Tuquerres, por sus consejos y palabras de aliento que me motivaban para seguir en adelante.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPITULO I .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Uvilla.....	4
2.1.1 Generalidades.....	4
2.1.2 Taxonomía .....	4
2.1.3 Producción Nacional.....	5
2.1.4 Ecotipos de la uvilla .....	5
2.1.4.1 Ecotipo Colombiano o Kenyano .....	5
2.1.4.2 Ecotipo Ambateño .....	6
2.1.4.3 Ecotipo Ecuatoriana .....	6
2.1.5 Composición Físicoquímica y nutricional de la Uvilla .....	6
2.2 Actividad Antioxidante .....	7
2.2.1 Actividad Antioxidante de la Uvilla.....	7
2.2.1.1 Métodos de Análisis .....	7
2.2.2 Ácidos Fenólicos .....	8

2.2.3	Flavonoides.....	9
2.2.4	Carotenos .....	10
2.3	Secado por Atomización .....	10
2.3.1	Etapas del Proceso de Secado por Atomización .....	11
2.3.2	Factores que Intervienen en el Secado por Atomización.....	12
2.4	Microencapsulación .....	14
2.4.1	Características de los Materiales Encapsulantes.....	14
2.4.2	Materiales Encapsulantes.....	14
2.4.3	Encapsulación en el proceso de secado por atomización.....	16
2.5	Efectos de los Parámetros del Proceso de Secado por Atomización Sobre las Propiedades Físicas y Compuestos Funcionales en los Polvos Solubles.....	16
2.5.1	Propiedades del producto en polvo .....	17
2.5.2	Temperaturas de Secado .....	17
2.5.3	Material de Encapsulación.....	18
2.5.4	Flujo de Alimentación.....	19
2.6	Parámetros de Calidad de los Polvos Solubles.....	19
2.7	Psicrometría.....	20
2.7.1	Diagrama Psicrométrico .....	20
2.7.2	Propiedades de la Psicrometría .....	21
2.8	Balance de Masa y Energía .....	23
2.8.2	Balance de Masa y Energía en el Evaporador .....	23
2.8.3	Balance de Masa y Energía en el Atomizador .....	25
CAPÍTULO III.....		28
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1	Caracterización del Área de Estudio .....	28
3.1.1	Localización del Experimento .....	28
3.1.2	Ubicación del Experimento.....	28

3.2	Condiciones del Aire a Temperatura Ambiente Durante el Proceso de Secado por Atomización .....	29
3.3	Materiales y Equipos .....	30
3.3.1	Materia Prima.....	30
3.3.2	Agentes Encapsulantes.....	30
3.3.3	Materiales.....	30
3.3.4	Reactivos.....	30
3.3.5	Equipos .....	31
3.3.5.1	Especificaciones del secador por atomización Armfield modelo FT80 .....	31
3.4	Métodos.....	32
3.4.1	Análisis Físicoquímico de la Materia Prima.....	32
3.4.2	Factores en Estudio .....	33
3.4.3	Tratamientos .....	34
3.4.4	Diseño Experimental.....	34
3.4.5	Características del experimento .....	34
3.4.6	Unidad Experimental .....	35
3.4.7	Análisis Estadístico.....	35
3.4.8	Variables a Evaluarse.....	35
3.5	Manejo Específico del Experimento .....	36
3.5.1	Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Polvo Soluble de Uvilla .....	36
3.5.2	Descripción del Proceso para la Obtención de Polvo Soluble de Uvilla .....	37
3.5.3	Descripción de Métodos Analíticos .....	42
3.4.2	Descripción de Análisis de Compuestos Bioactivos.....	44
3.6.3	Determinación de la Aceptabilidad Sensorial del Producto Final .....	45
CAPÍTULO IV.....		46
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	46
4.1	Caracterización de la Materia Prima .....	46

4.1.1	Análisis Físicoquímico y Funcional del Jugo de Uvilla .....	46
4.1.2	Carotenos Totales del Jugo.....	47
4.1.3	Capacidad Antioxidante del Jugo .....	47
4.2	Caracterización de las Variables Evaluadas del Polvo Soluble de Uvilla.....	48
4.2.1	Contenido de Humedad .....	49
4.2.2	Contenido de Acidez Titulable .....	53
4.2.2	Contenido de Carotenos Totales.....	55
4.2.3	Contenido de la Capacidad Antioxidante .....	59
4.3	Rendimiento del Producto.....	63
4.4	Análisis Sensorial del Polvo Soluble de Uvilla.....	66
4.4.1	Aceptabilidad Sensorial del Color.....	66
4.3.2	Aceptabilidad Sensorial del Aroma.....	67
4.3.3	Aceptabilidad Sensorial del Sabor.....	69
4.3.4	Análisis de Aceptación del Producto.....	70
4.6	Balance de Masa y Energía .....	72
4.4.1	Evaporador.....	72
4.4.2	Atomizador .....	73
CAPITULO V .....		75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		75
5.1	Conclusiones .....	75
5.2	Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFIA .....		76
ANEXOS .....		76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación Taxonómica de la Uvilla.....	5
<b>Tabla 2</b> Composición Fisicoquímica de la Uvilla.....	6
<b>Tabla 3</b> Composición Nutricional de la Uvilla .....	6
<b>Tabla 4</b> Metodologías para la Determinación de la Actividad Antioxidante.....	8
<b>Tabla 5</b> Materiales Utilizados en la Encapsulación .....	15
<b>Tabla 6</b> Ubicación Cantón Ibarra .....	28
<b>Tabla 7</b> Ubicación Cantón Mejía .....	28
<b>Tabla 8</b> Datos de las Condiciones Ambientales del Aire.....	29
<b>Tabla 9</b> Propiedades del Aire a Temperatura Ambiente .....	29
<b>Tabla 10</b> Descripción del Equipo Armfield .....	32
<b>Tabla 11</b> Variables para el Análisis Fisicoquímico de la Pulpa de Uvilla.....	33
<b>Tabla 12</b> Primer Factor (Temperatura de Secado).....	33
<b>Tabla 13</b> Segundo Factor (Concentración de Encapsulantes).....	33
<b>Tabla 14</b> Tercer Factor (Flujo de Alimentación) .....	33
<b>Tabla 15</b> Tratamientos en Estudio .....	34
<b>Tabla 16</b> Características del Experimento .....	34
<b>Tabla 17</b> Esquema ADEVA para un Diseño Completamente al Azar (DCA).....	35
<b>Tabla 18</b> Variables Evaluadas en la Investigación.....	36
<b>Tabla 19</b> Análisis Fisicoquímico y Funcional de la Uvilla.....	46
<b>Tabla 20</b> Análisis de Varianza de las Variables Fisicoquímicas del Polvo de Uvilla .....	49
<b>Tabla 21</b> Contenido de Humedad, Acidez, Carotenos Totales y Capacidad Antioxidante (ABTS).....	62
<b>Tabla 22</b> Análisis no Paramétrico de Friedman para las Variables de Aceptabilidad Sensorial .....	66
<b>Tabla 23</b> Contenido de las Variables Sensoriales del Jugo de Uvilla.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Uvilla ( <i>Physalis peruviana</i> L).....	4
<b>Figura 2</b> Proceso por Etapas del Secado por Atomización.....	11
<b>Figura 3</b> Encapsulación en el Secado por Atomización .....	16

<b>Figura 4</b> Diagrama Psicrométrico .....	22
<b>Figura 5</b> Líneas de Temperatura de Bulbo Seco.....	23
<b>Figura 6</b> Líneas de Temperatura de Bulbo Húmedo.....	23
<b>Figura 7</b> Sistema de Evaporación .....	25
<b>Figura 8</b> Sistema de Atomización.....	27
<b>Figura 9</b> Propiedades Psicrométricas del Aire a la Presión Biométrica de Ibarra .....	30
<b>Figura 10</b> Atomizador Armfield FT80.....	32
<b>Figura 11</b> Flujograma de Proceso de Obtención de Polvo Soluble de Uvilla.....	36
<b>Figura 12</b> Recepción de la Materia Prima .....	37
<b>Figura 13</b> Pelado y Selección de la Uvilla.....	37
<b>Figura 14</b> Pesado de la Uvilla.....	38
<b>Figura 15</b> Lavado de los Frutos de Uvilla.....	38
<b>Figura 16</b> Extracción del Jugo .....	39
<b>Figura 17</b> Filtración del Jugo .....	39
<b>Figura 18</b> Concentración del Jugo .....	40
<b>Figura 19</b> Encapsulación del Jugo Concentrado.....	40
<b>Figura 20</b> Atomización del Jugo Encapsulado .....	41
<b>Figura 21</b> Envasado del Polvo de Uvilla .....	42
<b>Figura 22</b> Almacenamiento del Polvo de Uvilla.....	42
<b>Figura 23</b> Contenido de Humedad (%).....	50
<b>Figura 24</b> Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Humedad	51
<b>Figura 25</b> Efecto de los Parámetros Sobre el Contenido de Humedad.....	52
<b>Figura 26</b> Contenido de Acidez .....	53
<b>Figura 27</b> Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Acidez ....	54
<b>Figura 28</b> Efecto de los Parámetros sobre el Contenido de Acidez.....	54
<b>Figura 29</b> Contenido de Carotenos Totales.....	56
<b>Figura 30</b> Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Carotenos Totales.....	57
<b>Figura 31</b> Efecto de los Parámetros Sobre el Contenido de Carotenos Totales .....	58
<b>Figura 32</b> Contenido de la Capacidad Antioxidante.....	60
<b>Figura 33</b> Diagrama de Pareto de los Factores en Estudio Sobre la Capacidad Antioxidante	60
<b>Figura 34</b> Efecto de los Parámetros de Secado Sobre el Contenido de la Capacidad Antioxidante.....	61
<b>Figura 35</b> Rendimiento del Polvo Soluble de Uvilla.....	63

<b>Figura 36</b> Diagrama de Pareto Sobre el Rendimiento del Producto .....	64
<b>Figura 37</b> Efecto de los Parámetros sobre el Rendimiento del Producto.....	64
<b>Figura 38</b> Puntuación para el Color del Jugo de Uvilla.....	67
<b>Figura 39</b> Puntuación para el Aroma del Jugo de Uvilla.....	68
<b>Figura 40</b> Puntuaciones para el Sabor del Jugo de Uvilla .....	69
<b>Figura 41</b> Análisis Sensorial del Jugo de Uvilla.....	70
<b>Figura 42</b> Puntuaciones de la Aceptabilidad del Jugo de Uvilla .....	71

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultados del Contenido de Humedad (%) .....	88
<b>Anexo 2.</b> Análisis de Varianza para Humedad (%).....	88
<b>Anexo 3.</b> Prueba de Tukey Humedad (%) .....	88
<b>Anexo 4.</b> Prueba DMS Factor A.....	88
<b>Anexo 5.</b> Resultados de Acidez titulable .....	89
<b>Anexo 6.</b> Análisis De Varianza para Acidez Titulable.....	89
<b>Anexo 7.</b> Prueba de Tukey para Acidez.....	89
<b>Anexo 8.</b> Prueba DMS Factor A.....	89
<b>Anexo 9.</b> Resultados del Contenido de Carotenoides Totales .....	90
<b>Anexo 10.</b> Análisis de Varianza para Carotenoides Totales.....	90
<b>Anexo 11.</b> Prueba de Tukey para Carotenoides.....	90
<b>Anexo 12.</b> Prueba DMS para Factor A.....	90
<b>Anexo 13.</b> Prueba DMS para Factor B.....	91
<b>Anexo 14.</b> Prueba DMS para Factor C .....	91
<b>Anexo 15.</b> Resultados del Contenido de la Capacidad Antioxidante .....	91
<b>Anexo 16.</b> Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante.....	91
<b>Anexo 17.</b> Prueba de Tukey para Capacidad Antioxidante .....	92
<b>Anexo 18.</b> Prueba DMS para Factor A.....	92
<b>Anexo 19.</b> Prueba DMS para Factor B.....	92
<b>Anexo 20.</b> Prueba DMS para Factor C .....	92
<b>Anexo 21.</b> Análisis de Varianza para Rendimiento.....	92
<b>Anexo 22.</b> Prueba de Tukey para Rendimiento .....	93

<b>Anexo 23.</b> Prueba DMS para Factor A.....	93
<b>Anexo 24.</b> Prueba DMS para Factor C .....	93
<b>Anexo 25.</b> Prueba Tukey Color.....	93
<b>Anexo 26.</b> Prueba Tukey Aroma .....	93
<b>Anexo 27.</b> Prueba Tukey Sabor .....	93
<b>Anexo 28.</b> Balance de Masa y Energía del Evaporador .....	94
<b>Anexo 29.</b> Balance de Masa y Energía del Atomizador .....	95
<b>Anexo 30.</b> Propiedades del Vapor Saturado .....	101
<b>Anexo 31.</b> Ficha de Evaluación de Aceptabilidad Sensorial .....	102
<b>Anexo 32.</b> Registro Fotográfico del Análisis Físicoquímicos .....	103
<b>Anexo 33.</b> Registro Fotográfico de la Catación del Polvo Soluble de Uvilla .....	103

## RESUMEN

La uvilla *Physalis peruviana* L, es una fruta exótica que contiene compuestos carotenoides cuyas propiedades antioxidantes podrían aportar beneficios a la salud. Sin embargo, estos compuestos son sensibles a temperaturas de secado, por tal razón, se encapsularon con maltodextrina + goma arábica mediante atomización, como medio de protección. La investigación tiene como objetivo evaluar los efectos de los parámetros del proceso sobre la capacidad antioxidante del polvo de la fruta. Los factores en estudio fueron la temperatura de entrada y salida del aire de secado (140°C – 70°C y 170°C – 90°C), concentración de encapsulantes (10% MD + 5% GA y 16%MD + 9%GA) y flujo de alimentación (22.50 ml/min y 28 ml/min). Se analizaron el contenido de humedad, acidez titulable, carotenoides totales, actividad antioxidante ABTS+ y aceptación sensorial. Los resultados indicaron que los factores que tuvieron mayor efecto sobre las propiedades funcionales fueron en su orden la temperatura, la concentración de encapsulantes y el flujo de alimentación, debido a su mayor retención de contenido carotenoides totales y actividad antioxidante. Donde, el mejor tratamiento fue el T7 ( $27.10 \pm 0.57$  µg B-caroteno/g) y el T1 ( $62.73 \pm 0.42$ µm Trolox/g). Así mismo, se evidenció que a bajos niveles de flujo de alimentación se obtuvo polvos con menor contenido de humedad y mayor acidez titulable. Finalmente, el análisis sensorial registró que el tratamiento T7 tuvo mayor aceptación (nivel hedónico 3/5), bajo condiciones de secado de alta de temperatura, concentración de encapsulantes y bajo flujo de alimentación.

*Palabras claves:* Compuestos antioxidantes, encapsulación, *Physalis peruviana*, secado por atomización.

## ABSTRACT

The uvilla *Physalis peruviana* L, is an exotic fruit that contains carotenoid compounds whose antioxidant properties could provide health benefits. However, these compounds are sensitive to drying temperatures, for this reason, they were encapsulated with maltodextrin + gum arabic by spraying, as a means of protection. The research aims to evaluate the effects of the process parameters on the antioxidant capacity of the fruit powder. The factors under study were the inlet and outlet temperature of the drying air (140°C – 70°C and 170°C – 90°C), encapsulant concentration (10% MD + 5% GA and 16% MD + 9% GA) and feed flow (22.50 ml/min and 28 ml/min). Moisture content, titratable acidity, total carotenoids, ABTS+ antioxidant activity and sensory acceptance were analyzed. The results indicated that the factors that had the greatest effect on the functional properties were, in order, temperature, encapsulant concentration and feed flow, due to their greater retention of total carotenoid content and antioxidant activity. Where, the best treatment was T7 ( $27.10 \pm 0.57$   $\mu\text{g}$  B-carotene/g) and T1 ( $62.73 \pm 0.42$   $\mu\text{m}$  Trolox/g). Likewise, it was evidenced that at low levels of feed flow, powders with lower moisture content and higher titratable acidity were obtained. Finally, the sensory analysis recorded that the T7 treatment had greater acceptance (hedonic level 3/5), under drying conditions of high temperature, encapsulant concentration and low feed flow.

*Keywords:* Antioxidant compounds, encapsulation, *Physalis peruviana*, spray drying.

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema

La uvilla es una fruta exótica que ha ido adquiriendo relevancia en los últimos tiempos debido a estudios que demuestran que su composición nutricional afecta positivamente a la salud de quien la consume, permitiendo que su producción se incremente a nivel nacional, produciendo alrededor de 700 hectáreas de cultivo para exportación a varios países (Cabascango, 2019).

En Ecuador el sector agroindustrial ha mostrado interés por la uvilla para ser procesada por sus diversas propiedades funcionales. De esta manera, se ha visto productos deshidratados, pero con baja retención de compuestos bioactivos, debido a su sensibilidad durante el proceso de secado, por lo que se requiere aplicar métodos y parámetros para mejorar la retención de sus biocompuestos.

En este sentido, los compuestos bioactivos de la uvilla son sensibles a factores, tales como; temperatura, oxígeno, variaciones de pH, humedad y luz, permitiendo que estos compuestos tengan la facilidad de degradarse por la atomización, afectando la composición nutricional y propiedades de rehidratación del polvo soluble, tales como: pegajosidad, humectabilidad y solubilidad (Serna et al., 2015).

Además, otros factores que influyen en la pérdida de los biocompuestos están las propiedades del fluido, como la concentración de sólidos y la viscosidad, quienes son los encargados de fijar el tamaño de la partícula y el tiempo de residencia de las gotas en la cámara de secado. Así como también, la utilización de temperaturas de secado superiores a 220°C, prolongados tiempos de secado y la inadecuada formulación en la concentración de los agentes encapsulantes, ocasiona pérdidas en los compuestos sensibles y por ende afecta la calidad funcional final de los productos (Asik et al., 2021).

## 1.2 Justificación

La uvilla (*Physalis peruviana* L.), es una fruta muy apetecida en el mercado nacional e internacional por sus beneficios y aporte nutricional al organismo. Además, de presentar las características sensoriales, la importancia radica en su contenido de compuestos con actividad antioxidante, tales como: vitaminas A y C, proteínas, fósforo y complejo B, que son eficaces en el mantenimiento de la salud humana. Por estas características la uvilla ha dado lugar a que la demanda aumente constantemente en los mercados de la región andina (Ochoa, 2019).

Sin embargo, ante la demanda creciente de alimentos con mayor cantidad de compuestos antioxidantes, surge la necesidad de procesar frutas bajo una metodología de mayor retención durante el secado, obteniendo polvos con un alto valor nutricional y funcional. Es así, que la aplicación de encapsulantes al proceso de atomización, permiten proteger y retener las propiedades funcionales, además del uso de bajas temperaturas (<180°C) y tiempos cortos del proceso. Asimismo, la encapsulación favorece la conservación de flavonoides, antioxidantes y vitaminas.

Los compuestos antioxidantes frenan las reacciones oxidativas de los radicales libres, disminuyendo el riesgo de sufrir enfermedades y fortaleciendo al sistema inmunológico del consumidor (Díaz, Torres, & Serna, 2017).

En este sentido, es importante determinar una metodología de secado por atomización adecuada, la cual permita obtener un producto final de mayor calidad y con mayor porcentaje de retención de antioxidantes, ofreciendo una nueva alternativa de conservación y comercialización de esta fruta. Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los parámetros del proceso de secado por atomización sobre la capacidad antioxidante de la uvilla.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de los parámetros del proceso de secado por atomización sobre la capacidad antioxidante de la uvilla *Physalis peruaviana* L.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Cuantificar la capacidad antioxidante de la materia prima (uvilla).
- b) Evaluar el efecto de la temperatura de secado, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación sobre la capacidad antioxidante en el polvo soluble de uvilla.
- c) Determinar la aceptabilidad sensorial del polvo soluble de uvilla de los diferentes tratamientos.

## **1.4 Hipótesis**

**Ho:** Los parámetros de secado por atomización (temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de la alimentación) no influyen sobre la capacidad antioxidante del polvo soluble de uvilla.

**Ha:** Los parámetros de secado por atomización (temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de la alimentación) influyen sobre la capacidad antioxidante del polvo soluble de uvilla.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Uvilla

##### 2.1.1 Generalidades

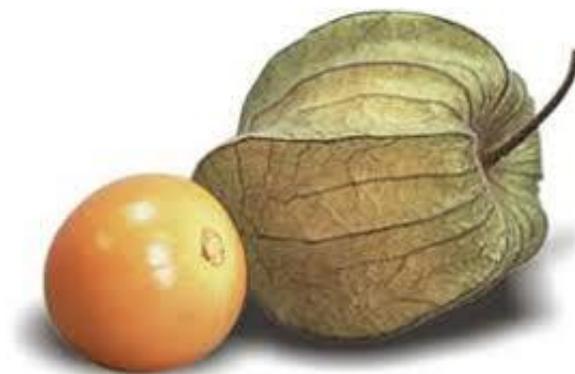
La uvilla es una fruta ancestral que fue conocida por los incas. La historia cuenta que su origen es Perú, encontrándose en los valles interandinos y que llegó al Ecuador como un fruto silvestre, sus semillas se propagan fácilmente, razón por la cual este fruto se fue extendiéndose en casi toda la región sierra ecuatoriana (Guiné et al., 2020).

La Norma INEN 2485 (2009), define que el fruto de uvilla pertenece a la familia *Solanaceae*, caracterizada por presentar una forma redonda u ovala, del tamaño de una uva grande, con piel brillante de color amarillo, naranja o verde. El fruto presenta un sabor semiácido y se consume en fresco o en preparados como mermeladas, dulces, pasas, vinos.

La uvilla es una planta que se caracteriza por producir frutos envueltos en un cáliz formado por cinco sépalos, que permite protegerle contra insectos, pájaros, enfermedades y condiciones climáticas adversas; fuertes lluvias, granizadas, cambios de temperatura y la radiación. Es una fruta que crece en un clima templado, entre una temperatura de ocho y 20 grados centígrados a una altura de 1.000 a 3.500 m.s.n.m (Guevara et al., 2019).

#### Figura 1

*Uvilla (Physalis peruviana L)*



Fuente: Chancosi (2017)

##### 2.1.2 Taxonomía

La uvilla corresponde al género *Physalis* y a la familia de la *Solanaceae*, que es nativo de las regiones cálidas, templadas y subtropicales (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Clasificación Taxonómica de la Uvilla*

<b>Clase:</b>	Dicotiledóneas
<b>Sub-clase:</b>	Gamopétala
<b>Familia:</b>	Solanaceae
<b>Orden:</b>	Tubiflora
<b>Género:</b>	<i>Physalis</i>
<b>Especie:</b>	<i>Peruviana</i>
<b>Nombre científico:</b>	<i>Physalis peruviana</i>

Fuente: ITIS (2020)

**2.1.3 Producción Nacional**

En Ecuador, durante los últimos 5 años, se ha visto un incremento del cultivo de uvilla en un 10%, siendo las principales provincias con este cultivo Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Imbabura y Carchi (Moreno et al., 2019).

Además, la producción de uvilla se realiza por pequeños y medianos productores de la Sierra Norte entre los 2.000 a 3.000 msnm, mayoritariamente en la provincia de Imbabura, en donde, mediante sistemas de producción semi tecnificado, se encuentra el 40% de los cultivos, con producciones entre 13.6 t/ha en 350 ha. En el año 2018 Ecuador exportó un total de USD 150 mil, siendo los principales países de destino Holanda, España, Alemania, Canadá, Francia, Suecia, (Loachamín, 2016).

**2.1.4 Ecotipos de la uvilla**

Ecuador ha establecido algunos eco tipos, encontrándose el tipo Ecuatoriana, Ambateña y Kenyano (Moreno & Basanta, 2019).

Altamirano (2010) afirma que en Ecuador la variedad colombiana es cultivada por un 40% de agricultores, la variedad ecuatoriana por un 13% y la variedad kenyana por un 7%, mientras que el 40% de agricultores desconoce la variedad que siembra.

**2.1.4.1 Ecotipo Colombiano o Kenyano**

Se caracteriza por tener el fruto grande de color amarillo intenso, con baja concentración de ácidos cítrico, pero debido a su aspecto fenotípico presenta demanda en los mercados de exportación.

#### 2.1.4.2 Ecotipo Ambateño

Fruto mediano de color entre verde y amarillo, contiene alta cantidad de sustancias que le dan un sabor agridulce.

#### 2.1.4.3 Ecotipo Ecuatoriana

Esta variedad se caracteriza por ser un fruto pequeño de color amarillo intenso, con alta concentración de sustancias vitamínicas, presentando un aroma agradable.

#### 2.1.5 Composición Físicoquímica y nutricional de la Uvilla

La uvilla es conocida por sus propiedades físicoquímicas, que se encuentran asociadas a la capacidad antioxidante de los polifenoles y de los carotenoides, además presenta una excelente fuente de provitamina A, rica en vitamina E, K1 y complejo vitamínico B (Choque et al., 2021). En la Tabla 2 se detalla la composición físicoquímica y en la Tabla 3 la composición nutricional de la uvilla.

**Tabla 2**

*Composición Físicoquímica de la Uvilla*

PARÁMETRO	%
Acidez %	1.58
Brix	13.8
Ph	3.78

Fuente: Chancosi (2017)

**Tabla 3**

*Composición Nutricional de la Uvilla*

Componentes	Contenido /100 g	Componentes	Contenido /100 g
Humedad	78.90 %	Caroteno	1.61mg
Carbohidratos	16.00g	Fósforo	55.30mg
Fibra	4.90g	Hierro	1.23mg
Grasa total	0.16g	Niacina	1.73mg
Cenizas	1.00 g	Riboflavina	0.03mg
Proteína	0.05g	Vitamina a	648 U.I
Acido ascórbico	43.00g	Tiamina	0.18mg
Calcio	8.00mg	Fosforo	581µg

Fuente: Fischer et al. (2018)

## **2.2 Actividad Antioxidante**

La actividad antioxidante permite inhibir la degradación oxidativa de una sustancia, de tal manera que un antioxidante actúa, al tener la capacidad para reaccionar con radicales libres y con factores como temperatura, presión de oxígeno y algunos componentes alimenticios como las proteínas y agua (Conde et al., 2021).

### **2.2.1 Actividad Antioxidante de la Uvilla**

La uvilla tiene como antioxidantes a los compuestos fenólicos (clorogénico, ferúlico y cafeico), flavonoides (rutina, quercetina, catequina), carotenoides ( $\beta$ -caroteno), algunas vitaminas, entre otros metabolitos endógenos.

Las propiedades antioxidantes de la uvilla van a variar según su genética y estado de madurez y sus compuestos antioxidantes predominantes son la vitamina C, provitamina A ( $\beta$ -caroteno) y compuestos fenólicos (Gallón et al., 2021).

#### **2.2.1.1 Métodos de Análisis**

La actividad antioxidante debe ser determinada cuando el compuesto antioxidante genera efectos en el proceso de oxidación controlado.

Para realizar la determinación de la actividad antioxidante el método debe estar estandarizado, mismo que permita el uso de un radical relevante, en el cual se pueda emplear una instrumentación fácil que pueda medir antioxidantes de origen hidrofílicos y lipofílico (Londoño, 2012).

##### **➤ Método DPPH**

El método se basa en la determinación de la capacidad reductora de los antioxidantes frente al radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, se disuelve en medio orgánico y sus resultados se expresa por separado, además se considera como uno de los métodos menos confiables debido a la interferencia de los carotenoides (Londoño, 2012).

##### **➤ Método ABTS+**

El método mide la actividad de los compuestos de naturaleza hidrofílicos y lipofílicos, utiliza el radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolona-6- ácido sulfónico) para disminuir el color del catión (Henríquez et al, 2002). Fue propuesto como uno de los métodos más confiables que a corto tiempo se puede obtener los resultados, mismos que se expresan de forma grupal. Además, se disuelve en medio acuoso como orgánico y permite detectar los compuestos producidos por la reacción de Maillard (Londoño, 2012).

Las diferentes metodologías realizadas por espectrofotometría que se utiliza para la medición de la actividad antioxidante según (Munteanu & Apetrei, 2021), se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Metodologías para la Determinación de la Actividad Antioxidante*

Ensayo	Principio del Método	Determinación del producto final
Espectrometría		
DPPH	Reacción antioxidante con un radical orgánico	Colorimetría
ABTS	Reacción antioxidante con un radical catiónico orgánico	Colorimetría
FRAP	Reacción antioxidante con un complejo de Fe (III)	Colorimetría
PFRAP	Reducción de ferricianuro de potasio por antioxidantes y posterior reacción de ferrocianuro de potasio con Fe <sup>3+</sup>	Colorimetría
Cuprac	Reducción de Cu (II) a Cu (I) por antioxidantes	Colorimetría
ORAC	Reacción antioxidante con radicales peroxilo, inducida por AAPH (2,2 azobis-2-amidino-propano)	Perdida de fluorescencia de fluorescaina
TRAMPA	Capacidad antioxidante eliminar los radicales derivados del luminol, generados a partir de la descomposición de AAPH	Apagado de quimioluminiscencia

**Fuente:** Munteanu & Apetrei (2021)

### 2.2.2 Ácidos Fenólicos

Son compuestos que presentan actividad antioxidante y se encuentran en abundancia en los alimentos como en frutas, cereales, vegetales, legumbres y bebidas, que tienen funciones protectoras contra los microorganismos patógenos (Zárate, 2018). En la uvilla los principales ácidos fenólicos presentes son: gálico, cafeico, ferúlico (Gallón et al., 2021).

### ➤ **Ácido Gálico**

Estudios realizados demuestran que el ácido gálico exhibe capacidad antioxidante, antiviral, antibacteriana, antifúngica y reduce los daños al ácido nucleico (Costa et al., 2019).

### ➤ **Ácido Cafeico**

El ácido cafeico es de mayor distribución en la naturaleza, encontrándose en varias frutas como en los arándanos, manzanas entre otras. Además, este compuesto tiene propiedades antioxidantes in vitro, que favorecen a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Vega et al., 2019).

### ➤ **Ácido Ferúlico**

El ácido ferúlico (ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico) es un compuesto antioxidante que se encuentra en formas libres como ligadas. Este compuesto se lo encuentra principalmente en hortalizas, legumbres, frutas, cereales y semillas (Costa et al., 2019).

## **2.2.3 Flavonoides**

Son los pigmentos encargados de la coloración de las hojas de las plantas, se caracterizan por ser compuestos de bajo peso molecular con una estructura de tres anillos con varias sustituciones (Zevallos, 2018).

En la uvilla los principales flavonoides que se encuentran son: la rutina, miricetina, quercetina y la catequina (Vega et al., 2019).

### ➤ **Rutina**

La rutina es un pigmento amarillo existente en gran número de vegetales. Este flavonoide tiene actividad antiinflamatoria y trabaja en el organismo como antioxidantes (Hernández et al., 2019).

### ➤ **Quercetina**

La quercetina es un flavonoide que inhibe la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDLs), impidiendo que esta sea oxidada o regenerándola una vez que ha cumplido su función (Hernández et al., 2019).

### ➤ **Miricetina**

Es un flavonoide con propiedad antioxidante, se encuentra comúnmente en verduras, frutas, nueces, bayas, té. Sustancia que protege a las células del cuerpo de los daños relacionados con el oxígeno (Hernández et al., 2019).

#### **2.2.4 Carotenos**

Los carotenoides son antioxidantes naturales encargados de la pigmentación de los alimentos vegetales, entre los colores más representativos están el amarillo y anaranjado que son característicos de la uvilla (Janiszewska, 2017). Además, desempeñan un papel importante en la protección del organismo, por ser potentes antioxidantes, eliminadores de radicales libres y tener efectos preventivos frente a enfermedades cancerígenas.

### ➤ **$\beta$ -caroteno**

Es un carotenoide que se encuentra en varias frutas y hortalizas, al ser consumido se convierte en vitamina A para el cuerpo. En la uvilla mediante el empleo de una técnica analítica de cromatografía líquida de alta resolución, se determinó los principales carotenoides presente en la uvilla, encontrando el alltrans- $\beta$ -caroteno con un 76.80%, seguido del 9-cis-  $\beta$ -caroteno con un 3.60% y la alltrans- $\alpha$ criptoxantina con un 3.40% (López et al., 2017).

## **2.3 Secado por Atomización**

El secado por pulverización o atomización implica la formación de gotas del líquido a granel seguido de la eliminación de humedad de las gotitas líquidas. El producto seco es un polvo, de partículas finas que depende tanto del diseño, operación del secador y de las propiedades físicas y químicas del producto de entrada.

El proceso consiste en una exposición del producto a altas temperaturas dentro de una cámara de atomización que promueve un secado rápido, evitando el deterioro de los compuestos, debido al corto tiempo de procesamiento. El secado por pulverización es recomendado para productos con sustancias termo sensibles, productos aromáticos y aromatizantes (Tangarife et al., 2021).

El secado por pulverización se utiliza en la industria alimentaria para asegurar la estabilidad microbiológica de los productos, reduciendo la humedad del producto, evitando la degradación biológica y obteniendo un producto estable con propiedades de contenido de

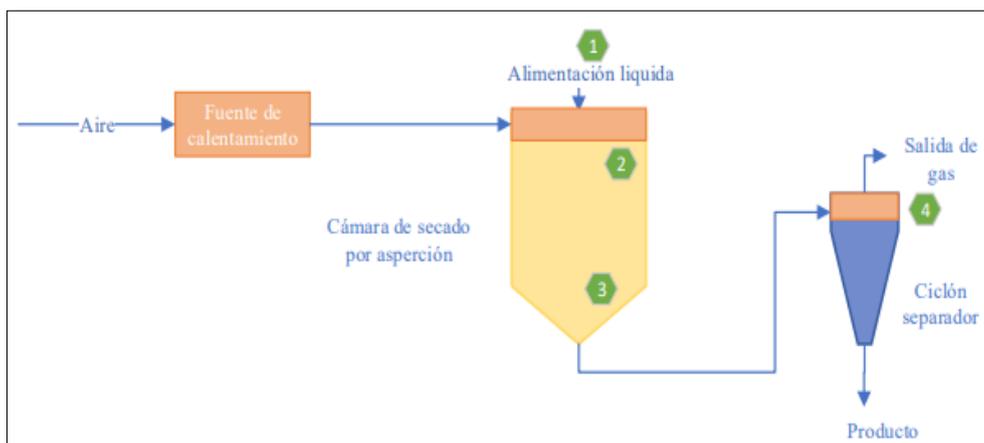
humedad, pH, solubilidad, higroscopicidad, composición nutricional, color y fluidez (Rios & Garzón, 2021)

### 2.3.1 Etapas del Proceso de Secado por Atomización

El principio de funcionamiento del secado por atomización es la eliminación de la humedad presente en el producto. El proceso de secado por pulverización implica cuatro etapas de operación: atomización de la alimentación líquida en la cámara de pulverización, el contacto entre la pulverización y el medio de secado, evaporación de la humedad y la separación de los productos secos con la corriente de aire. En la Figura 2 se esquematiza el proceso de secado por atomización por etapas.

#### Figura 2

##### Proceso por Etapas del Secado por Atomización



Fuente: Adaptado de Lucas (2017)

#### 2.3.2.1 Atomización de la Alimentación

Es la operación que conduce al fluido de alimentación a un estado de división por medio de la energía que se suministra al atomizador. Además, en esta etapa el líquido a granel se rompe en un gran número de pequeñas gotas. Es de importancia la elección del atomizador para obtener una producción económica de productos de alta calidad (Selvamuthukumar et al., 2019).

#### 2.3.2.2 Contacto Entre la Pulverización y el Medio de Secado

En esta etapa las gotas se reúnen con el aire caliente en la cámara de pulverización, ya sea en flujo paralelo o en contracorriente. La gran superficie de las gotas conduce a tasas de

evaporación rápida, manteniendo la temperatura de las gotas a la temperatura de bulbo húmedo (Lucas, 2017).

### **2.3.2.3 Evaporación de la Humedad**

Es la etapa en la cual se evapora la humedad de la superficie de la gota, a través de dos periodos de secado, el primero con velocidad constante produciendo una evaporación rápida, mientras el segundo a velocidad decreciente permitiendo que la partícula se convierta en polvo. En este periodo los diferentes productos presentan características diferentes, como la expansión, el colapso, la desintegración y la forma irregular (Anandharamakrishnan & Padma Ishwarya, 2015).

### **2.3.2.4 Separación de los Productos Secos**

En esta etapa se da la separación del producto seco del aire de secado. Para la separación del producto seco (polvo), este se recoge en la base del secador y es removido por un separador de ciclón o transportador de tornillo o un sistema neumático (Lucas, 2017).

## **2.3.2 Factores que Intervienen en el Secado por Atomización**

Los factores más importantes para controlar durante el secado por atomización para evitar afectaciones en las propiedades de los alimentos son los que se mencionan a continuación (Rios & Gil, 2021).

### **2.3.2.1 Características Inherentes del Material de Alimentación**

En el secado por atomización se considera más importante las características de los sólidos que el contenido de sólidos, por otra parte, los productos que tienen dificultades para secar son aquellos que tienen sólidos solubles bajos, ocasionando que la muestra resultante presente defectos higroscópicos (Cahuaya, 2018).

### **2.3.2.2 Tensión Superficial de Alimentación**

Es de importancia que el atomizador supere la tensión superficial del líquido para lograr el secado por atomización. Por tanto, si un líquido presenta una tensión superficial más alta será difícil de atomizar (Asik et al., 2021).

### **2.3.2.3 Concentración del Alimento**

Los jugos de frutas se estandarizan a una concentración de 30% a 35% de sólidos. Cuando se tiene una alta concentración del producto se tiene partículas mayores y cuando la concentración es baja resultan partículas muy pequeñas. Un alimento con mayor contenido de

sólidos disminuye el tiempo de residencia de las partículas, generando una conservación de los compuestos sensibles al calor (Tangarife et al., 2021).

#### **2.3.2.4 Flujo de Aire**

El aire de secado puede circular en corriente entrando por la parte superior de la cámara y saliendo por la parte inferior, por lo contrario, cuando circula el aire en contracorriente va desde la parte inferior a la superior y mediante flujo mixto (Cabascango, 2019).

#### **2.3.2.5 Tamaño de las Gotas**

El tamaño de gota inicial influye en el tamaño de partícula final y en la distribución de tamaño. Además, si las gotas que ingresan son más grandes se secan con mayor lentitud (Rios & Gil, 2021).

#### **2.3.2.6 Temperatura de Alimentación**

La temperatura de alimentación influye en las propiedades de viscosidad, fluidez y de la capacidad de pulverización, afectando la eficiencia. Es así, cuando se incrementa la temperatura de alimentación, la viscosidad y el tamaño de las gotas disminuyen (Rios & Gil, 2021).

#### **2.3.2.7 Temperatura de Entrada y Salida**

La temperatura de entrada es la temperatura que tiene el aire a la entrada boquilla atomizadora, esta temperatura origina la retención del sabor (Cahuaya, 2018). Mientras que, la temperatura de salida es la temperatura máxima que el producto final podría alcanzar con un lento proceso de recuperación. Una temperatura de entrada (150-220°C) y una temperatura de salida (50-80° C) generan daños en compuestos como licopeno, antocianinas, vitamina C y b caroteno (Shishir & Chen, 2017).

#### **2.3.2.8 Flujo de Alimentación**

El flujo de alimentación es una variable que afecta al producto final debido al fuerte contacto con la temperatura de entrada, flujo de aire, concentración del producto y el tipo de encapsulante. También el flujo que se utiliza en el proceso se ajusta de acuerdo con el nivel de secado deseado, además, el aumento de la alimentación puede incrementar la humedad del polvo (Nanda et al., 2019).

## 2.4 Microencapsulación

La encapsulación es un proceso que consiste en añadir una sustancia o agente activo en el interior de otra con el fin de servir como recubrimiento. La encapsulación facilita la incorporación de moléculas bioactivas o nutraceuticos (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitosteroles, luteínas, ácidos grasos, licopeno) y de células vivas (prebióticos).

Al emplear la técnica de encapsulación, esta proporciona una barrera física entre los compuestos bioactivos sensibles y el medio ambiente, ayudando a estabilizar los ingredientes de los alimentos durante las etapas de procesamiento y obtención del producto final (Ogrodowska et al., 2019). Además, mejora el manejo de los ingredientes activos al convertir un producto líquido en sólido, prolonga la vida útil de almacenamiento y enmascara el aroma y sabores de los productos (Furuta & Neoh, 2021).

### 2.4.1 Características de los Materiales Encapsulantes

Para el proceso de encapsulación se debe seleccionar un material apropiado. Por lo tanto, se menciona algunas de las características idóneas que deben reunir los materiales utilizados como cobertura de la cápsulas (Coimbra et al., 2021).

- Habilidad para crear rápidamente una película.
- Habilidad para dispersarse o emulsificarse con el material a encapsular y mantener la estabilidad.
- Soluble en un medio acuoso, disolvente o que tenga la capacidad de fundirse la cubierta con la temperatura.
- Excelente barrera de protección contra los factores (oxígeno, temperatura, humedad, luz).

### 2.4.2 Materiales Encapsulantes

Los materiales de pared utilizados son biopolímeros de alto peso molecular (proteínas, almidón y almidón modificado) y de bajo peso molecular (maltodextrinas y ciclodextrinas); dentro de estos la matodextrina, goma arábica y proteínas de la leche, son materiales que han demostrado alta eficiencia en la conservación de biocompuestos (Coimbra et al., 2021).

Según Boñón et al. (2020) los materiales utilizados para la formación de las cápsulas de recubrimiento deben ser de grado alimenticio, biodegradables y capaces de formar una barrera entre la fase interna y su alrededor, con el fin de asegurar una mayor conservación de compuestos termosensibles y alargando la vida útil. Además, Velásquez et al. (2018) afirman,

que los agentes de microencapsulación pueden otorgar diferentes propiedades fisicoquímicas al polvo, en relación con las características y estructura de cada agente.

En la Tabla 5 se muestran algunas sustancias que se emplean para encapsular sólidos, líquidos o gases, ya sean de diferentes tipos o propiedades.

**Tabla 5**

*Materiales Utilizados en la Encapsulación*

<b>Material para encapsular</b>	<b>Cobertura específica</b>
Gomas	Acacia, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, maltodextrinas, quitosano dextranos, sacarosa
Celulosas	Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitocelulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, tristearina
Proteínas	Gluten, caseína, albúmina
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

**Fuente:** Mukthar et al. (2016)

➤ **Maltodextrina**

La maltodextrina (MD) es un polisacárido de color blanco cremoso no edulcorante, obtenida de la hidrólisis parcial, ácida o enzimática del almidón de arroz, papa o maíz, que es esencial para el proceso de secado por atomización de jugos al permitir la formación de polvos fluidos (Castañón et al., 2020). Así mismo, se utiliza como material de pared por su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, bajo contenido en azúcar, y porque sus soluciones no tienen color y eficacia. Este material de encapsulación ofrece excelente protección al núcleo por su rápida capacidad para formar alrededor una corteza densa durante el proceso de secado por atomización. (Velásquez et al., 2018).

➤ **Goma Arábiga**

La goma arábiga (GA) es un polisacárido natural, conocida por su efectividad como material de pared, utilizada como estabilizante en la formación de la emulsión y tiene buena retención de volátiles a altas temperaturas de atomización (Hosseini et al., 2017).

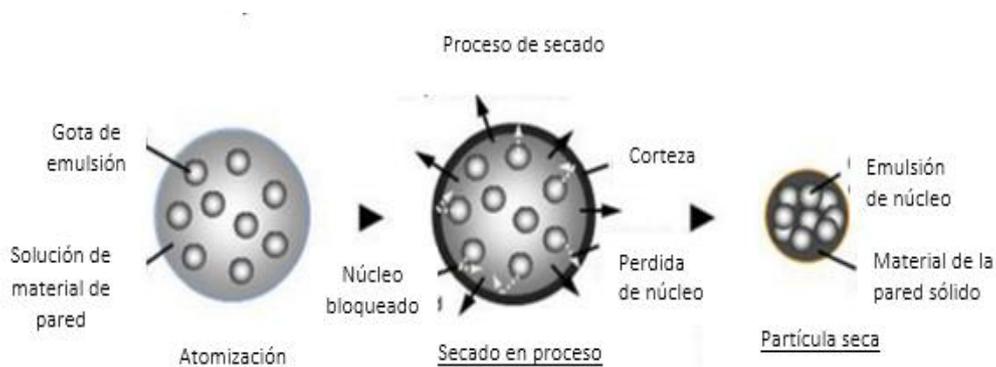
Respecto a las propiedades de barrera muestra una protección limitada contra las reacciones oxidativas, al actuar como una membrana semipermeable, que puede poner en peligro la vida útil del producto encapsulado.

### 2.4.3 Encapsulación en el proceso de secado por atomización

Para la microencapsulación existen varios métodos de secado, sin embargo, el secado por atomización es la mejor solución, al implicar la dispersión o disolución de un material central en una solución de pared. En la Figura 3, se indica el proceso de encapsulación durante el secado por atomización.

**Figura 3**

*Encapsulación en el Secado por Atomización*



Fuente: Furuta & Neoh (2021)

El atomizador está compuesto por una boquilla de aspersión, por donde, ingresa el alimento que es rociado por el aire caliente al interior de una cámara de secado, transformando las gotas en partículas sólidas, gracias al material de pared, quien crea una capa externa (cápsula) que actúa como barrera protectora para los biocompuestos. Además, permite que el producto no se adhiera en las paredes de la cámara de secado (Furuta & Neoh, 2021).

## 2.5 Efectos de los Parámetros del Proceso de Secado por Atomización Sobre las Propiedades Físicas y Compuestos Funcionales en los Polvos Solubles

El secado por atomización es un proceso en el cual se realiza un intercambio de calor, obteniendo pequeñas gotas de producto seco, entre los parámetros más importantes se encuentra los parámetros de operación como las temperaturas de secado y el flujo de

alimentación, también influyen las propiedades del fluido como concentración de sólidos, y viscosidad, mismos que influye en el tamaño de la partícula, humedad y en las propiedades físicas y funcionales del producto final (Asik et al., 2021).

### **2.5.1 Propiedades del producto en polvo**

Un concentrado con alto contenido de sólidos favorece o incrementa la eficiencia térmica del secador y por ende reduce el contenido de humedad en el producto, por otro lado, no es recomendable tener más del 30% de sólidos debido a que influye en la formación de las gotas.

La viscosidad del concentrado está relacionada con el tamaño de la gota, por tal razón, para obtener gotas más pequeñas la energía suministrada en la boquilla debe ser superior a las fuerzas viscosas, mismas que están encargadas de reducir la energía disponible para romper las gotas, obteniendo gotas más grandes (Palacios, 2020).

### **2.5.2 Temperaturas de Secado**

El uso de altas temperaturas de secado genera una degradación térmica de los compuestos químicos los cuales sufren cambios significativos en su estructura, es decir, se da una pérdida de uno o más átomos de la estructura fundamental, dando como resultado una pérdida de las propiedades del compuesto. Además, cuando la temperatura de entrada es alta conduce a una evaporación excesiva generando grietas en la membrana del núcleo (Maroof et al., 2020). También, se da el rompimiento de los grupos químicos funcionales por hidrólisis, tanto en la cadena principal como en los sustituyentes laterales de los compuestos antioxidantes (Arteaga & Arteaga, 2016).

Respecto a los bio compuestos, Rios & Gil (2021) mencionan que altas temperaturas de secado ocasionan que algunos compuestos bioactivos se pueden degradar por ser sensibles al calor, por lo contrario, cuando la temperatura de entrada del aire es baja, se da una disminución en la evaporación, provocando alto contenido de agua, poca fluidez y facilidad de aglomeración.

De acuerdo con los reportes de Aragüez et al. (2018) en su estudio del concentrado de naranja atomizado encontró que su temperatura de entrada óptima es de 138°C, obteniendo un producto con 82% de rendimiento, 4.20% de humedad y 72.80% de retención de ácido ascórbico. Razón por la cual, menciona que un aumento de la temperatura de entrada favorece a una disminución de la humedad. Además, indica que la temperatura del aire no puede ser muy alta pues causa daño térmico al componente activo.

Así mismo, Lee et al. (2017) encuentran los parámetros óptimos para el polvo de jugo de pera asiática siendo un 15 % (p/v) de maltodextrina a una temperatura de entrada de 170°C. Además, indicaron que con el aumento de la temperatura del aire de entrada aumentó el contenido fenólico total, mientras que el contenido de vitamina C disminuyó.

Finalmente, Baysan et al. (2019) en el estudio del secado por aspersión del polvo de propóleo obtuvieron una humedad que osciló entre 4.26 y 6.17% contrario a otros estudios. Además, mencionan que el producto procesado a altas temperaturas tuvo mayor actividad antioxidante y contenido fenólico total.

### **2.5.3 *Material de Encapsulación***

Se ha realizado investigaciones sobre el uso de la maltodextrina y de la goma arábica. En cuanto, algunos autores mencionan la importancia de utilizar estos encapsulantes y los resultados obtenidos, a continuación, se detalla estos antecedentes.

De acuerdo con los reportes de Araujo et al. (2020) mencionan que al añadir maltodextrina y goma arábica para el proceso de atomización, se tiene mayor capacidad para formar películas, aumenta la viscosidad y los sólidos totales (°Brix) en la solución y por ende, reduce el porcentaje de humedad, permitiendo minimizar los efectos deteriorativos sobre el producto final.

Así mismo, Aragüez et al. (2018) reportan que el incremento del contenido de encapsulantes causó una disminución del contenido de humedad, debido a la adición del soporte que aumenta el contenido de sólidos totales de la mezcla de alimentación y reduce la cantidad de agua a evaporar.

Con respecto a los compuestos funcionales Camacho et al. (2017) mencionan que la actividad antioxidante es mayor en las muestras con encapsulantes y disminuye al aumentar la temperatura de entrada del aire en el atomizador, los parámetros idóneos utilizados para obtener lulu en polvo con el máximo rendimiento del proceso, menor higroscopicidad del producto y la mayor actividad antioxidante son a una temperatura de entrada del aire de 116 °C, una concentración de goma arábica del 6.50 % y una concentración de maltodextrina del 9%. Mientras, Ceja (2019) en el secado por aspersión del mesocarpio de aguacate, encontró que el comportamiento entre la maltodextrina y goma arábica son idóneos, puesto que ayuda en la protección de los compuestos bioactivos que son termosensibles.

Además, Toledo et al. (2019) mencionan que aumentar el contenido de materiales encapsulantes ayuda a incrementar el contenido de sólidos y por ende aumenta la temperatura de transición vítrea, permitiendo tener un mayor rendimiento en el producto final.

Finalmente, Tchabo et al. (2019) en su estudio del proceso de encapsulación de extracto de hoja de morera, utilizaron como encapsulantes la carboximetilcelulosa y maltodextrina, presentando una alteración significativa ( $p < 0.05$ ) en las propiedades físicas de los polvos, obteniendo con la maltodextrina un contenido de ácido fenólico de 79.22 mg/g.

#### **2.5.4 Flujo de Alimentación**

Según Castañón et al. (2020) mencionan que un alto flujo de alimentación permite la formación de gotas más pequeñas, produciendo un producto con alta densidad. Por otro lado, si el flujo de alimentación es mayor al aire de secado se espera que no se dé un secado completo, obteniendo un producto con alta humedad y bajo rendimiento.

De acuerdo con Lopez et al. (2015) usar altos flujos de alimentación implica que el producto mantenga un corto tiempo de contacto entre el flujo de aire entrante y las gotas asperjadas, provocando una transferencia de calor menos eficiente y una evaporación más lenta, provocando una baja eficiencia en el proceso.

Así mismo, Páez et al. (2017) en el secado por aspersión de extracto de levadura conocieron que las condiciones óptimas para obtener menor contenido de humedad y mayor densidad aparente se logra a una temperatura de entrada de 187.10°C y flujo de alimentación de 7,4 m<sup>3</sup>/s, concluyendo que al disminuir el flujo de alimentación se obtiene el menor contenido de humedad, pero un aumento en la densidad aparente.

## **2.6 Parámetros de Calidad de los Polvos Solubles**

Los bajos valores en contenido de agua de los polvos de frutas, surgen problemas como la higroscopicidad, la pegajosidad y el apelmazamiento afectando al grado de instantaneidad, es decir, a su capacidad de reconstituirse en un medio líquido. Además, los siguientes parámetros influyen en la calidad y aceptación del producto por parte del consumidor (Serna et al., 2015).

### **2.6.1 Humectabilidad**

La humectabilidad es la capacidad de un polvo para ser penetrado por un líquido, depende de factores microestructural como tamaño de la partícula, densidad y porosidad, es

decir, mientras más corto sea el tiempo que las partículas se humedezcan, mejor será la humectabilidad (Stavra et al., 2021).

### **2.6.2 Capacidad de Retención de Agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua tiene que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento (Serna et al., 2015).

### **2.6.3 Capacidad de Retención de Aceite (CRAC)**

Los polvos alimenticios con esta característica de retención de aceites pueden utilizarse en la formulación de alimentos funcionales con efectos benéficos en la salud, para obtener polvos con CRAC debe tomarse en cuenta que debe ser mayor el diámetro de la partícula que se va a obtener (Fuentes et al., 2017).

### **2.6.4 Solubilidad**

La solubilidad es la velocidad que tienen las partículas de polvo para disolverse en agua. Existen factores como las fuerzas intermoleculares entre el soluto, solvente y la temperatura que afectan la solubilidad de los sólidos en líquidos (Cahuaya, 2018).

### **2.6.5 Dispersabilidad**

Es la facilidad que tienen los polvos para distribuirse como partículas individuales en la fase líquida, los parámetros que afectan la dispersabilidad del polvo son la forma de las partículas, el tamaño, la porosidad, la composición y la densidad (Stavra et al., 2021).

## **2.7 Psicrometría**

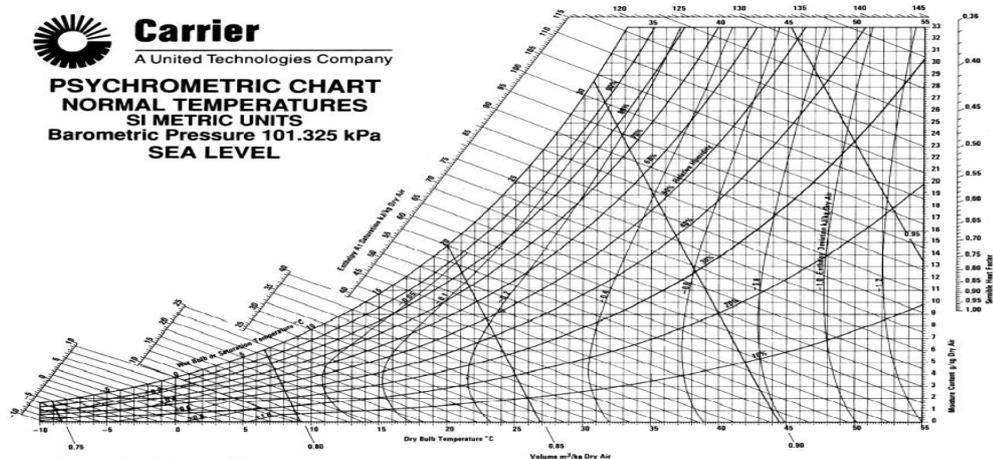
La psicrometría se refiere a la medición del contenido de humedad del aire, además, se encarga de las propiedades de mezcla del aire más vapor de agua. Existe un método para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo, con el uso de las tablas psicrométricas (Figura 4) quienes ofrecen precisión en sus resultados (Singh & Heldman, 2014).

### **2.7.1 Diagrama Psicrométrico**

El diagrama psicrométrico es la representación gráfica de las ecuaciones analíticas descritas anteriormente, además, es una herramienta que se utiliza para conocer la relación entre las condiciones de humedad y temperatura del aire interior, permitiendo calcular la cantidad de calor o frío necesario para conseguir la temperatura y humedad deseadas.

**Figura 4**

*Diagrama Psicrométrico*



Fuente: Singh & Heldman (2014)

## 2.7.2 Propiedades de la Psicrometría

### 2.7.2.1 Vapor de Agua (humedad)

La humedad se refiere a la presencia de agua en el aire ya sea dentro de un espacio o en una intemperie, teniendo en cuenta que el vapor de agua es producido por el agua a cualquier temperatura. La densidad es igual a peso por volumen, donde, el vapor de agua tiene una densidad  $12.83 \text{ g/m}^3$  ó  $0.01283 \text{ kg H}_2\text{O /m}^3$ .

### 2.7.2.2 Humedad Relativa

La humedad relativa (HR), expresa la cantidad de humedad que se encuentra en una muestra dada, expresándose en porcentaje (%). Según la ASHRAE, define que la humedad relativa es la relación entre la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, con la del aire saturado, a las mismas condiciones de temperatura y presión. La humedad relativa se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$HR = \frac{X_w}{X_{ws}} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$X_w$ : Fracción molar del agua

$X_{ws}$ : Fracción molar del agua en saturación

### 2.7.2.3 Humedad Absoluta

La humedad absoluta (ha), es el peso del vapor de agua por unidad de volumen. Tanto la humedad relativa como la absoluta están basadas en el peso del vapor de agua en un volumen dado. La humedad absoluta se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$W = \frac{mvapH20}{Vaire\ seco + VvapH20} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

*mvap*: masa del vapor

*Vaire seco*: volumen del aire seco

*VvapH20*: volumen del vapor

### 2.7.2.4 Humedad Específica

La humedad específica mide los kilogramos de agua por kilogramos de aire seco, también se refiere a la cantidad de humedad en peso que se necesita para saturar un kilogramo de aire seco a determinada temperatura de saturación.

$$\infty = \frac{mv}{ma} = \frac{\text{masa del vapor de agua}}{\text{masa del aire seco}} \quad \text{Ecuación 3}$$

### 2.7.2.5 Porcentaje de Saturación

El porcentaje de saturación se refiere a la relación que existe entre el peso del vapor de agua con el peso del vapor de agua necesario para saturar un kilogramo de aire seco a una temperatura de bulbo seco.

### 2.7.2.6 Punto de Rocío

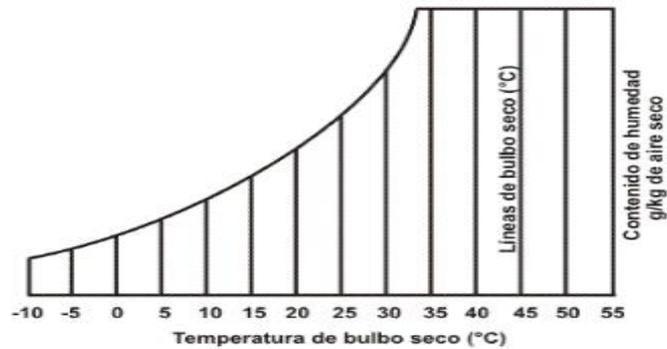
Es el punto de condensación del vapor de agua, debido al enfriamiento del aire, el método para determinar el punto de rocío es a través del uso del Psicrómetro, mismo que mide las temperaturas de “bulbo seco” y “bulbo húmedo”.

### 2.7.2.7 Temperatura de Bulbo Seco

Conocido también como la temperatura del aire o temperatura ambiente, se mide a través de un termómetro ordinario de casa.

## Figura 5

### Líneas de Temperatura de Bulbo Seco



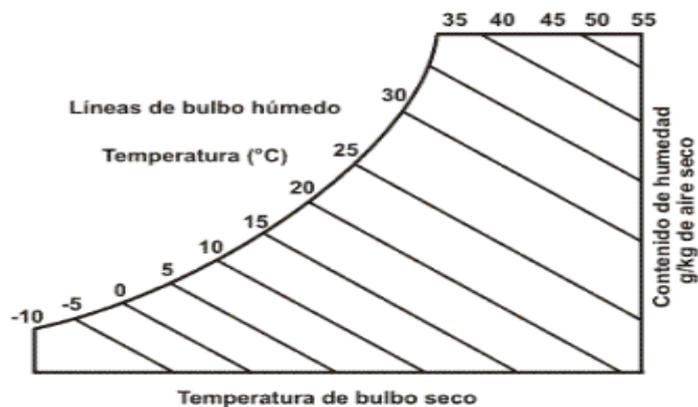
Fuente: Cardoso et al. (2016)

### 2.7.2.8 Temperatura de Bulbo Húmedo

Es la temperatura a la cual se evapora el agua de un cuerpo (alimento, tela, algodón) (Cardoso et al., 2016).

## Figura 6

### Líneas de Temperatura de Bulbo Húmedo



Fuente: Cardoso et al. (2016)

## 2.8 Balance de Masa y Energía

### 2.8.2 Balance de Masa y Energía en el Evaporador

La evaporación consiste en la eliminación del agua de los alimentos diluidos para obtener productos concentrados, además, se considera como una operación unitaria que permite separar el solvente más volátil (agua) de una solución diluida (alimento).

### Balance de masa

**Entrada = Salida**

Ecuación 4

$$\dot{m}_f = \dot{m}_p + \dot{m}_v$$

Donde:

$\dot{m}_f$ : caudal de alimentación kg/s

$\dot{m}_p$ : caudal masico del producto concentrado kg/s

$\dot{m}_v$ : vapor vivo

- **Balance de energía**

Para el balance de energía se utiliza la siguiente ecuación:

**Entrada = Salida**

Ecuación 5

$$\dot{m}_s H_{vs} + \dot{m}_f H_f = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_s H_{cs} + \dot{m}_p H_p$$

Donde:

$\dot{m}_s H_{vs}$ : Entalpia del caudal masico a la entrada del evaporador

$\dot{m}_f H_f$ : Entalpia de la alimentacion a la entrada del evaporador

$\dot{m}_v H_v$ : Entalpia del vapor vivo

$\dot{m}_s H_{cs}$ : Entalpia del liquido concentrado a la salida del evaporador

$\dot{m}_p H_p$ : Entalpia del producto a la salida del evaporador

- **Economía del vapor**

Representa la cantidad de agua que se evapora por cada kilogramo de vapor vivo.

$$E_v = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s}$$

Ecuación 6

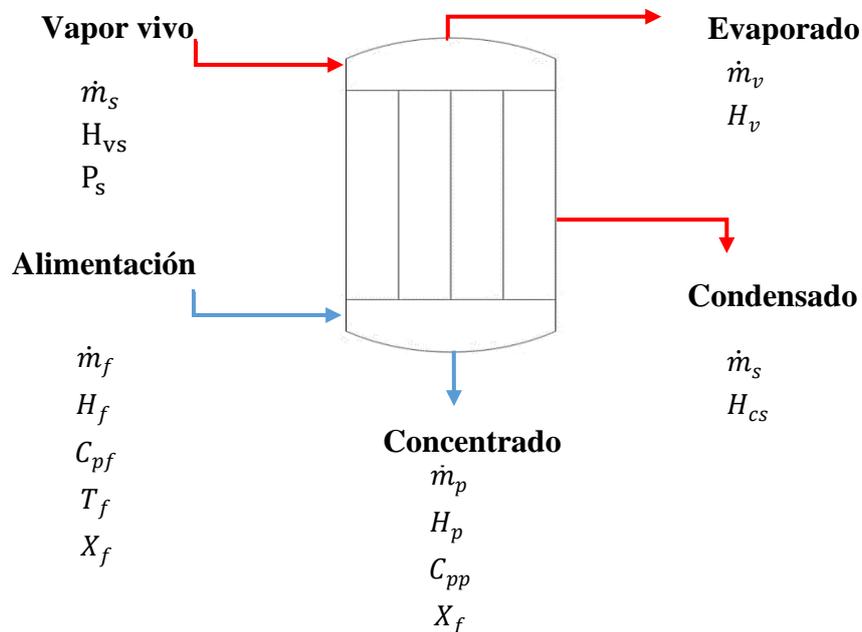
Donde:

$\dot{m}_v$ : Caudal vapor vivo

$\dot{m}_s$ : Caudal másico

**Figura 7**

*Sistema de Evaporación*



### 2.8.3 Balance de Masa y Energía en el Atomizador

- **Balance de masa**

En el balance de masa de un atomizador relaciona la humedad entrante del secador con la humedad de salida, tomando en cuenta que el líquido que se elimina durante este proceso es agua. Por tanto, la ecuación de un balance de masa es la siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\dot{m}_a W_{a1} + \dot{m}_f w_{f1} = \dot{m}_a W_{a2} + \dot{m}_p w_p$$

Donde:

$\dot{m}_a W_{a1}$ : Es la humedad en el aire de secado a la entrada (kg/h).

$\dot{m}_f w_{f1}$ : Es la humedad del producto a la entrada (kg/h).

$\dot{m}_a W_{a2}$ : Es la humedad en el aire de secado a la salida (kg/h).

$\dot{m}_p w_{p2}$ : Es la humedad del producto a la salida (kg/h).

Donde:

$\dot{m}_a$ : Flujo del aire caliente que ingresa al secador

$W_{a1}$ : Humedad del aire que ingresa al secador

$W_{a2}$ : Humedad del aire que sale al secador

$\dot{m}_p$ : Flujo de producto que ingresa al secador

$w_f$ : Humedad del producto que ingresa al secador

$w_p$ : Humedad del producto seco que sale del secador

- **Balance de energía**

El balance de energía permite ver los cambios energéticos que se producen en un sistema. Además, es una relación de la energía que entra con la que sale. Siendo así, la ecuación del balance de energía es la siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Perdidas} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\dot{m}_f H_f + \dot{m}_a H_{a1} = \dot{m}_p H_p + \dot{m}_a H_{a2} + Q_L$$

Donde:

$\dot{m}_p$ : Flujo del producto

$H_f$ : Entalpía del producto a la entrada (kJ/kg)

$H_p$ : Entalpía del producto a la salida (kJ/kg)

$\dot{m}_a$ : Flujo del aire caliente

$H_{a1}$ : Entalpía del aire a la entrada (kJ/kg)

$H_{a2}$ : Entalpía del aire a la salida (kJ/kg)

$Q_L$ : Pérdida del calor en la cámara de secado (kJ/kg)

La entalpía del aire de secado  $H_a$  se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$H_a = C_s(T_p - T_o) + w\lambda \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$C_s$ : Calor húmedo (kJ / kg de aire seco °K)

$T_p$ : Temperatura del producto (°C)

$T_o$ : Temperatura de referencia (°C)

$w$ : Contenido de agua del producto

$\lambda$ : Calor latente de vaporización

La entalpía  $H_p$  es la suma de las entalpías del sólido seco y de la humedad del líquido, entonces:

$$H_p = C_{pp}(T_p - T_o) + wC_{pw}(T_p - T_o) \quad \text{Ecuación 10}$$

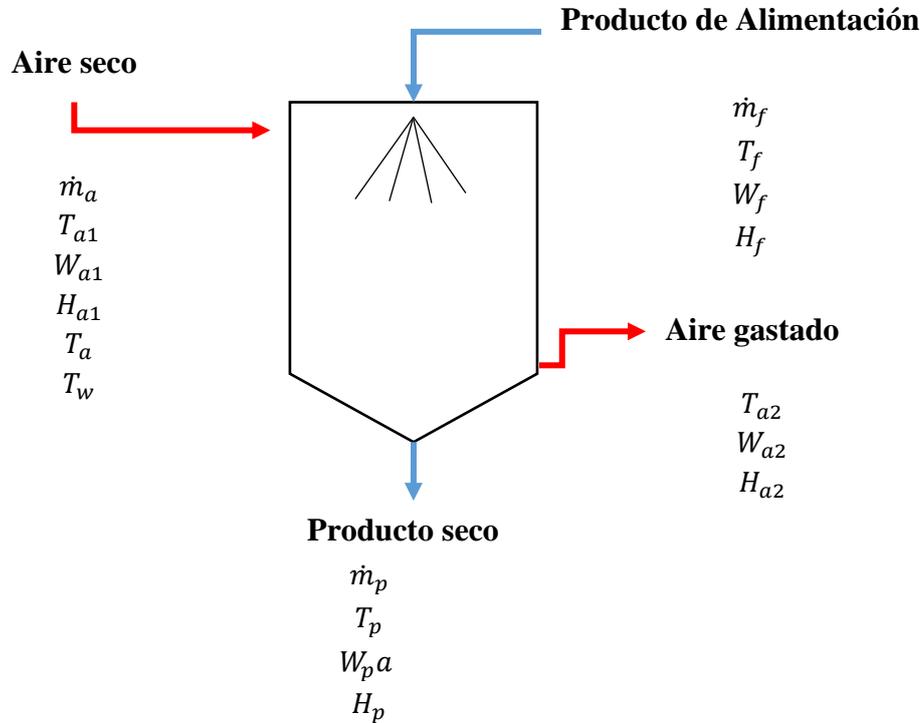
Donde:

$C_{pw}$ : Calor específico del agua (kJ / kg° K)

$C_{pp}$ : Calor específico del producto (kJ / kg °K)

**Figura 8**

*Sistema de Atomización*



Datos del secador para balance de masa y energía ( $\dot{m}_p$ , Flujo de producto;  $T_p$ , Temperatura del producto;  $w_p$ , Humedad del producto;  $H_p$ , Entalpía del producto;  $\dot{m}_a$ , flujo del aire;  $H_{a1}$ , Entalpía del aire de entrada;  $T_a$ , Temperatura del aire;  $W_a$ , Humedad del aire.

- **Eficiencia Térmica del Secador por Atomización**

La eficiencia térmica ( $n_{global}$ ), mide el rendimiento de un secado por atomización, definida como la fracción del calor total usado en el secado del proceso de atomización. Siendo la formula, la siguiente:

$$n_{global} = \left[ \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\% \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$T_{a1}$ : Temperatura del aire a la entrada del secador (°C)

$T_{a2}$ : Temperatura del aire a la salida del secador (°C)

$T_o$ : Temperatura de referencia (°C).

## CAPÍTULO III

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Caracterización del Área de Estudio

##### 3.1.1 Localización del Experimento

La investigación se realizará en el laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Técnica del Norte, y en la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP).

##### 3.1.2 Ubicación del Experimento

El experimento se realizó en el cantón Ibarra provincia de Imbabura, mientras que los análisis en el cantón Mejía provincia de Pichincha, los detalles se visualizan en la Tabla 6 y 7.

**Tabla 6**

*Ubicación Cantón Ibarra*

Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	El Sagrario
Sitio	Laboratorio de Bio-procesos “UTN”

**Tabla 7**

*Ubicación Cantón Mejía*

Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía
Parroquia	Catuglagua
Sitio	Estación Experimental Santa Catalina (INIAP)

### 3.2 Condiciones del Aire a Temperatura Ambiente Durante el Proceso de Secado por Atomización

En Tabla 8 se presentan los valores obtenidos de la temperatura de bulbo seco y humedad relativa de los diferentes días en que se llevó a cabo el proceso de atomización del jugo de uvilla.

**Tabla 8**

*Datos de las Condiciones Ambientales del Aire*

Día	Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa
1	35°C	12%
2	31°C	16%
3	40°C	14%
4	32°C	13%
5	38°C	19%
6	32°C	16%
7	45°C	24%
8	38°C	19%
30	41°C	25%

La Tabla 9 muestra las condiciones del aire a la temperatura ambiente

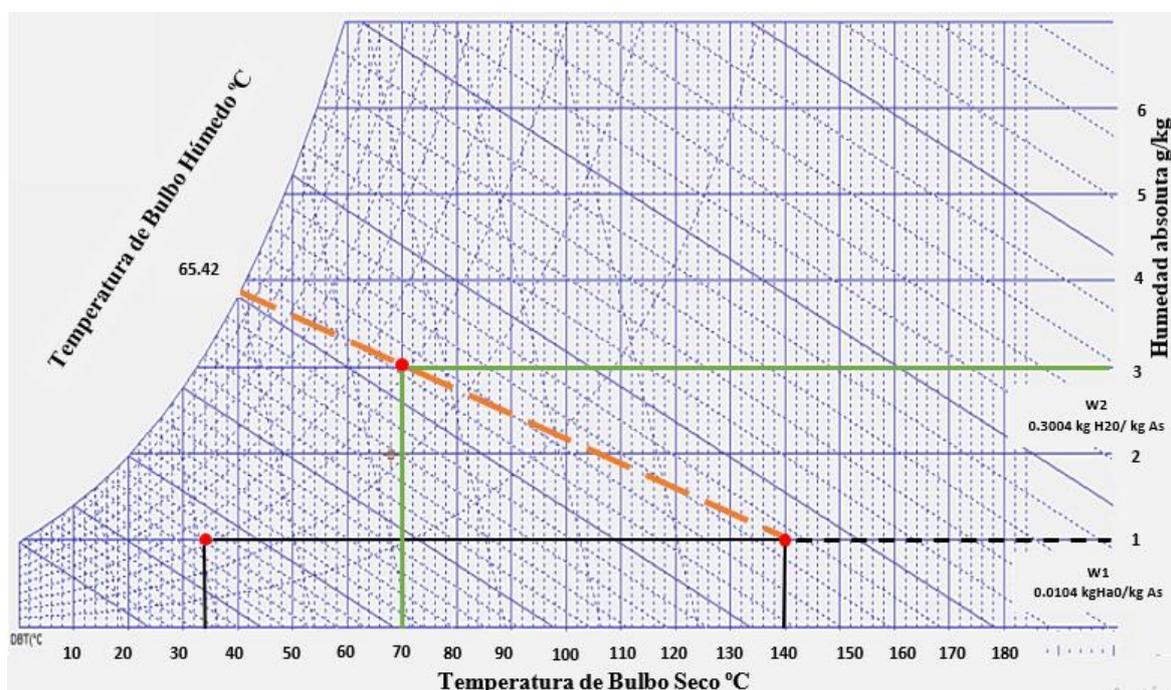
**Tabla 9**

*Propiedades del Aire a Temperatura Ambiente*

<b>Temperatura ambiente</b>	
Temperatura de bulbo seco	34 °C
Temperatura de bulbo húmedo	17.65 °C
Punto de rocío	7.71 °C
Humedad relativa	25%
Humedad absoluta	0.009 kg/kg
Entalpía	58 kJ/kg
Volumen específico	0.88 m <sup>3</sup> /kg
Presión	75.06 kPa

**Figura 9**

*Propiedades Psicrométricas del Aire a la Presión Biométrica de Ibarra*



### **3.3 Materiales y Equipos**

#### **3.3.1 Materia Prima**

Pulpa de uvilla (*Physalis peruviana* L.)

#### **3.3.2 Agentes Encapsulantes**

- Goma arábica (GA)
- Maltodextrina (MD)

#### **3.3.3 Materiales**

Termómetro, matraces Erlenmeyer, columna cromatografía, agitador, vasos de precipitación, micropipetas, pipetas, probetas, embudos de vidrio, tubos de ensayo, crisoles, soporte metálico, pinzas, nuez, papel Whatman, bolsas de polietileno de alta densidad, papel aluminio.

#### **3.3.4 Reactivos**

ABTS, persulfato de potasio, buffer fosfato salino, solución Trolox, carbonato de sodio, agua destilada, hidróxido de sodio, fenoltaleína, cloruro de calcio, hexano, acetona, etanol,  $\beta$ -caroteno.

### 3.3.5 Equipos

- Extractor de jugos Oster
- Balanza analítica
- Refractómetro digital
- Refrigerador
- Evaporador FT22
- Atomizador FT80
- Espectrofotómetro
- Balanza infrarroja
- Estufa de secado
- Selladora al vacío

#### 3.3.5.1 Especificaciones del secador por atomización Armfield modelo FT80

El equipo Armfield FT80 ha sido diseñado específicamente para el procesado de pequeñas cantidades de producto, su recipiente está diseñado para 3 litros de producto. Este equipo tiene un panel de configuración rápida, donde se puede manipular factores como temperatura de entrada, salida y flujo de alimentación, siendo así, la temperatura de aire de secado se puede manejar desde 50 °C hasta 250°C y el flujo dependiendo del producto atomizar con un rango máximo de 45 Hz (r/min). También, mide la humedad relativa en todas las cámaras de secado, teniendo en cuenta que el proceso inicia con una humedad relativa de 0.09 %. Además, se puede manejar una presión de hasta 6 bar.

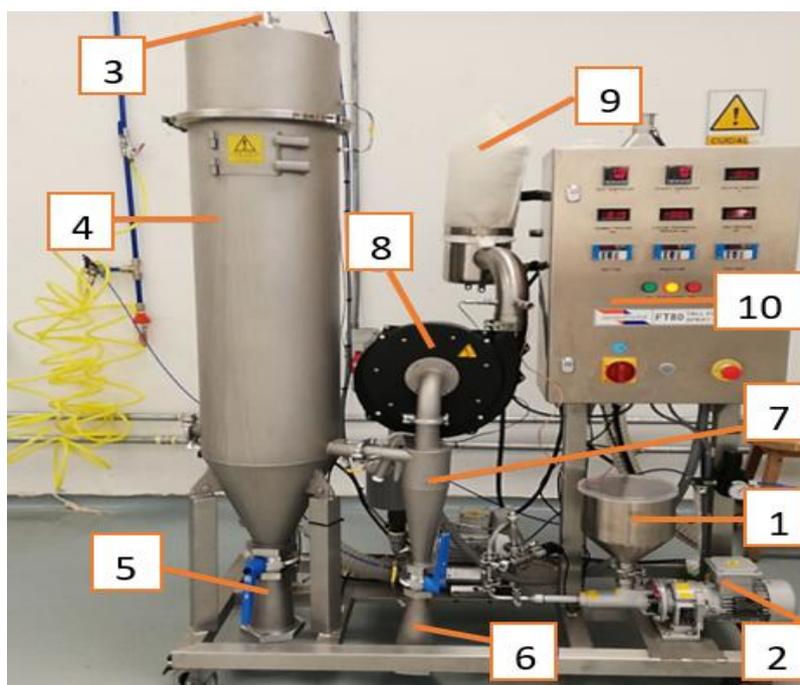
El líquido para secar es bombeado hasta la parte superior de la cámara de secado por una bomba que proporciona un flujo muy homogéneo y un caudal constante, el líquido es atomizado por una boquilla de dos fluidos, por el que ingresa el líquido y el aire que ayudará al proceso de secado.

Terminado el proceso de secado el producto se recoge desde la base de la cámara principal o desde el separador ciclónico. Esto permite almacenar simultáneamente y por separado partículas de diferentes tamaños.

Siendo así, el equipo FT80 ayuda a convertir un producto líquido en polvo en un tiempo de secado más corto, que depende de la cantidad de líquido atomizar. Además, se obtiene productos con bajo contenido de humedad, permitiendo que el producto alargue su vida útil.

**Figura 10**

*Atomizador Armfield FT80*



Fuente: El autor

**Tabla 10**

*Descripción del Equipo Armfield*

Descripción del Equipo	
1. Tolva de alimentación	2. Bomba de alimentación
3. Boquilla de pulverización	4. Cámara de secado
5. Vaso de recolección	6. Recipiente de recolección del ciclón
7. Separador ciclónico	8. Ventilador de escape
9. Filtro de bolsa	10. Panel de control

### 3.4 Métodos

#### 3.4.1 Análisis Físicoquímico de la Materia Prima

Previo al desarrollo del experimento en base a la pulpa de uvilla se realizará un análisis físicoquímico en base a las variables y métodos descritos en la Tabla 11.

**Tabla 11***Variables para el Análisis Físicoquímico de la Pulpa de Uvilla*

<b>Características</b>	<b>Variables</b>	<b>Método</b>
Físicos	Humedad	AOAC 925.10
	Sólidos solubles (°Brix)	AOAC 932.12
	Acidez titulable	AOAC 950.07
Químicos	Capacidad antioxidante	Método ABTS
	Carotenos totales	Espectrofotometría

**3.4.2 Factores en Estudio**

Los factores en estudio determinados para esta investigación son la temperatura de secado (entrada – salida) del atomizador, concentración de encapsulantes (GA y MD) y el flujo de alimentación. En la Tabla 12 se muestra los niveles del primer factor.

**Tabla 12***Primer Factor (Temperatura de Secado)*

<b>Factor A</b>	
<b>A1</b>	140 °C – 70°C
<b>A2</b>	170 °C – 90°C

Los niveles del segundo factor se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13***Segundo Factor (Concentración de Encapsulantes)*

<b>Factor B</b>	
<b>B1</b>	10% MD + 5% GA
<b>B2</b>	16% MD + 9% GA

Los niveles del tercer factor se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14***Tercer Factor (Flujo de Alimentación)*

<b>Factor C</b>	
<b>C1</b>	22.5 ml/min
<b>C2</b>	28 ml/min

### 3.4.3 *Tratamientos*

Los tratamientos efectuados para esta investigación fueron ocho, que resultan de la combinación de los niveles de los factores en estudio, como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Tratamientos en Estudio*

<b>Tratamientos</b>	<b>Factor A</b> <b>Temperatura de secado (°C)</b>	<b>Factor B</b> <b>Concentración de encapsulantes (%)</b>	<b>Factor C</b> <b>Flujo de alimentación ml/s</b>	<b>Combi naciones</b>
T1	A1	B1	C1	A1B1C1
T2	A1	B1	C2	A1B1C2
T3	A1	B2	C1	A1B2C1
T4	A1	B2	C2	A1B2C2
T5	A2	B1	C1	A2B1C1
T6	A2	B1	C2	A2B1C2
T7	A2	B2	C1	A2B2C1
T8	A2	B2	C2	A2B2C2

### 3.4.4 *Diseño Experimental*

Para la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo Factorial AxBxC. El número de tratamientos fueron ocho, con tres repeticiones para cada tratamiento, dando un total de 24 unidades experimentales.

### 3.4.5 *Características del experimento*

En la Tabla 16, se detalla las características del experimento.

**Tabla 16**

*Características del Experimento*

Número de tratamientos	8
Número de repeticiones por tratamiento	3
Unidades experimentales	24

### 3.4.6 Unidad Experimental

El material empleado para cada unidad experimental fue de 750 ml.

### 3.4.7 Análisis Estadístico

**Tabla 17**

*Esquema ADEVA para un Diseño Completamente al Azar (DCA)*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	23
Tratamientos	7
Temperatura de secado (Factor A)	1
% concentraciones encapsulantes (Factor B)	1
Concentración de alimentación (Factor C)	1
Interacción (AxB)	1
Interacción (AxC)	1
Interacción (BxC)	1
Interacción (AxBxC)	1
Error experimental	16

La determinación del coeficiente de variación se realizó de acuerdo con la Ecuación 12. En el caso de detectarse diferencias significativas entre los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%, y en caso de encontrar diferencia significativa entre los factores se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%.

$$CV = \frac{\sqrt{CME_{Exp}}}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación

CM = Cuadrado medio

$E_{Exp}$  = Error experimental

$\bar{x}$  = Media

### 3.4.8 Variables de Respuesta

La presente investigación considero las siguientes variables, las cuales se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Variables Evaluadas en la Investigación*

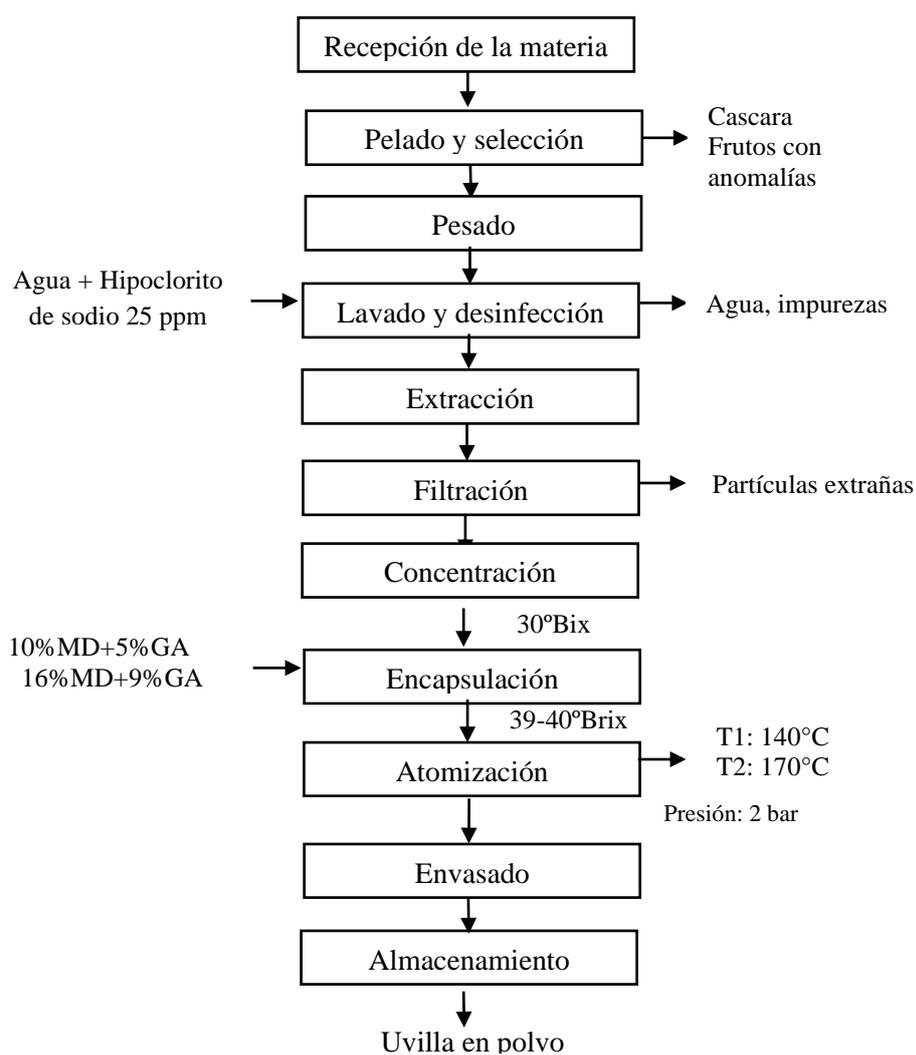
Características	Variables	Método de análisis
Físicos	Humedad	AOAC 925.10
	Acidez titulable	AOAC 950.07
	Actividad antioxidante	Método ABTS
Químicos	Contenido de carotenoides totales	Espectrofotometría

### 3.5 Manejo Específico del Experimento

#### 3.5.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Polvo Soluble de Uvilla

**Figura 11**

*Flujograma de Proceso de Obtención de Polvo Soluble de Uvilla*



### 3.5.2 Descripción del Proceso para la Obtención de Polvo Soluble de Uvilla

#### ▪ Recepción de la Materia Prima

La uvilla proveniente del cantón Pedro Moncayo de la provincia de Pichincha, reunió siguientes características: fresca, sana con estado de madurez 5 (comercial).

#### Figura 12

*Recepción de la Materia Prima*



#### ▪ Pelado y Selección

En este proceso se retiró la cascara de la uvilla y mediante un control visual, se procedió a descartar aquellos frutos que presenten magulladuras o algún tipo de anomalías agronómicas.

#### Figura 13

*Pelado y Selección de la Uvilla*



- **Pesado**

Se procede a pesar los frutos de uvilla que se encuentran en buen estado.

**Figura 14**

*Pesado de la Uvilla*



- **Lavado y Desinfección**

Se realizó un lavado con agua fría por inmersión para eliminar las impurezas como suciedad y microorganismos adheridos a la superficie. Adicionalmente se desinfectó el fruto, sumergiéndolo en una solución diluida de hipoclorito de sodio (25ppm) por 10 minutos. Terminada la operación de desinfección se procedió al enjuague de la fruta por inmersión con agua esterilizada.

**Figura 15**

*Lavado de los Frutos de Uvilla*



- **Extracción**

En esta operación se utilizó un extractor eléctrico marca Oster, para la obtención del jugo de uvilla.

**Figura 16**

*Extracción del Jugo*



- **Filtración**

Se utilizó un cedazo y lienzos para retener los sólidos presentes en el jugo de uvilla y así evitar la suspensión de partículas extrañas.

**Figura 17**

*Filtración del Jugo*



- **Concentración**

Para elevar la concentración de sólidos solubles del jugo de uvilla, se concentró en un evaporador FT22, hasta obtener una concentración de 30 °brix. Las condiciones de operación del equipo con las que se trabajó fueron las siguientes:

- Presión de vapor: 0.5 bar
- Presión de vacío: -0.62 bar
- Flujo de agua helada: 8-11 l/h
- Flujo de alimentación: 16 ml/min
- Temperatura de concentración: 56-63°C

**Figura 18**

*Concentración del Jugo*



▪ **Encapsulación**

Las concentraciones que se emplearon para los materiales de encapsulación serán de 10%MD+5%GA; 16%MD+9%GA. La mezcla de encapsulantes se añadió al concentrado de uvilla a temperatura ambiente, finalmente teniendo una concentración de a 39-40° brix.

**Figura 19**

*Encapsulación del Jugo Concentrado*





## Figura 21

### *Envasado del Polvo de Uvilla*



#### ▪ **Almacenamiento**

El polvo obtenido se almacenó en un desecador, para sus posteriores análisis.

## Figura 22

### *Almacenamiento del Polvo de Uvilla*



### **3.5.3 Descripción de Métodos Analíticos**

Los análisis se realizaron en el laboratorio de las unidades Edu-productivas de la carrera de ingeniería agroindustrial, de la Universidad Técnica del Norte.

#### **3.5.2.1 Determinación de Humedad**

La humedad se midió de acuerdo con el método AOAC 925.10. El primer paso fue lavar los crisoles con agua destilada, luego secar en una estufa a 105°C por 8 horas y sacar en un desecador y una vez fríos pesar.

Se pesó de 1 a 2 gramos de muestra molida en los crisoles, y se llevó a la estufa a 105°C hasta que la muestra mantenga un peso constante, posterior se sacó los crisoles con la

muestra en un desecador hasta que estén fríos para luego ser pesados. A continuación, se muestra la ecuación.

$$\%H = \frac{(Po-P)-(Pf-P)}{(Po-P)} * 100$$

**Donde:**

Po: peso del crisol + muestra húmeda

Pf: peso del crisol + muestra seca

P: peso del crisol vacío (g)

### 3.5.2.2 Determinación de Sólidos Solubles (°Brix)

Los sólidos solubles se midieron de acuerdo con el método AOAC 932.12-1980 (Henshall, 2012). Primero se calibró con agua destilada, obteniendo así el cero de la escala. A continuación, se colocó una pequeña cantidad de muestra líquida de concentrado de uvilla en el campo del refractómetro. Posteriormente, se observó con el ojo a través del aparato con orientación hasta una fuente de luz. En el campo visual se observó una transición de un campo claro a oscuro, el aparato lee de forma automática el resultado correspondiente al porcentaje (%) en sacarosa de la muestra y la concentración se expresa en grados °Brix a una temperatura de 20°C.

### 3.5.2.3 Determinación de Acidez Titulable

La acidez titulable se determinó con la metodología AOAC 950.07 (AOAC, 1984), para lo cual se partió de una solución de 5 gramos de polvo soluble en 50ml de agua destilada y se tituló con NaOH 0.1N y el indicador fenolftaleína al 0.1% (3-4 gotas). Los resultados se expresaron en % de ácido cítrico mediante la siguiente ecuación.

$$\%Ácido\ cítrico = \frac{V_{ALC}}{V_M} * 0.1 * F_{AC} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

**Donde:**

V<sub>ALC</sub>= Volumen de NaOH usado en ml

V<sub>M</sub>= Volumen de la muestra (jugo) en ml

F<sub>AC</sub>= Factor del ácido málico (0.064)

### 3.4.2 Descripción de Análisis de Compuestos Bioactivos

Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP).

#### 3.5.2.4 Determinación de la Capacidad Antioxidante método ABTS+

Se utilizó la metodología descrita por Henríquez et al, (2002). Quién menciona que primero se debe realizar la preparación de las soluciones entre ellas: Solución amortiguadora, solución madre ABTS y la solución para la curva de calibración.

El procedimiento consistió en colocar en un tubo de ensayo 200µL de muestra debidamente diluida con buffer fosfato con pH 7, se añadió 3800µL de la solución de trabajo de ABTS + estabilizada y se procedió a agitar en vortex durante 30 segundos, se dejó en reposo durante de 45 minutos en un lugar oscuro, transcurrido este tiempo se midió la absorbancia final de cada muestra por triplicado a una longitud de onda de 734nm.

Para la curva de calibración se calcula la absorbancia neta como se indica en la ecuación y se grafica en función de la concentración.

$$ABTS \text{ muestra y o patrón trolox} = ABS \text{ solución de trabajo inicial} - ABS \text{ muestra 45 min} - ABS \text{ blanco}$$

El valor obtenido se interpola en la curva de calibración y se interpreta los resultados en µMTrolox/g muestra

#### 3.5.2.5 Determinación de Carotenoides Totales

Para la determinación de carotenoides se pesó 1 g de muestra en un erlenmeyer cubierto con papel aluminio para prevenir el ingreso de luz, a este se adicionó 50 ml de la solución de extracción (50% hexano, 25% etanol y 25 % de cetona) y 5 g de cloruro de calcio en agitación durante 20 min a 4 °C, seguidamente se agregó 15 ml de agua destilada bajo las mismas condiciones. La mezcla obtenida se colocó en un embudo de separación obteniéndose una fase acuosa y una fase orgánica, la fase orgánica se se aforó a 50 ml con solución extractora y se realizó la medición en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 450 nm. Siguiendo el método publicado por (Leong & Oey, 2012).

Con la aplicación de la ecuación se determinó la cantidad de carotenoides en µg/g.

$$\text{Carotenoide totales } (\mu\text{g/g}) = \frac{A * V * 10^{-3} \left(\frac{\text{l}}{\text{ml}}\right) * 536.89 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} - \text{g}\right) - 10^6}{\epsilon \left(\frac{\text{l}}{\text{mol}} * \text{cm}\right) * b * P} \quad \text{Ecuación 4}$$

**Donde:**

A: absorbancia

V: volumen(ml)

€:coeficiente de extracción molar

B: ancho de celda (1cm)

P: peso muestra(g)

**3.6.3 *Determinación de la Aceptabilidad Sensorial del Producto Final***

Se realizó un análisis de aceptabilidad del producto final, considerando como variables: color, aroma y sabor. La evaluación sensorial se realizó con la presencia de 30 panelistas no entrenados, a los cuales se les proporcionó 8 muestras en dos sesiones.

Todas las muestras se evaluaron en una escala de 1 a 5, correspondiendo el 5 (Me gusta mucho), 4 (Me gusta), 3 (Ni me gusta ni me disgusta), 2 (Me disgusta) y 1 (Me disgusta mucho).

Para tabular los datos obtenidos por las degustaciones, y determinar cuáles muestras tuvieron mayor aceptabilidad se evaluaron mediante la prueba de Friedman al 5%.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente capítulo se muestran los resultados de los análisis realizados a la materia prima, y del efecto que causa los parámetros del proceso de secado por atomización sobre las propiedades físicas y funcionales del polvo soluble de uvilla y la aceptabilidad sensorial del mismo.

#### 4.1 Caracterización de la Materia Prima

##### 4.1.1 Análisis Fisicoquímico y Funcional del Jugo de Uvilla

Los resultados del análisis fisicoquímico y funcional realizado al jugo de uvilla se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Análisis Fisicoquímico y Funcional de la Uvilla*

Componentes	Unidad	Resultado
Humedad	%	82.43 ± 0.02
Sólidos solubles	°Brix	14.00 ± 0.01
ph	pH	3.64 ± 0.03
Acidez titulable	%	0.97 ± 0.01
Carotenos Totales	µg B-caroteno/g	28.88 ± 0.34
Capacidad Antioxidante	µmoles Trolox/g	62.34 ± 0.80

En el estudio realizado por Llerena et al. (2014) se encontraron valores similares de humedad, sólidos solubles y pH de  $81.26 \pm 0.79$ ;  $13.72 \pm 1.50$  y  $3.75 \pm 0.03$  %, respectivamente.

El valor de humedad del 82.43%, determina que la uvilla es una fruta jugosa, puesto que se encuentra en el rango de 75 a 90%, perteneciente a los frutos con mayor contenido de agua, por tanto, este parámetro es importante porque permite establecer el porcentaje que se puede aprovechar de la fruta para su consumo o procesamiento (Llerena et al., 2014).

Por otro lado, Velásquez et al. (2018) presentaron una acidez de 1.97% que es mayor a la obtenida por esta investigación, esta diferencia se debe al estado de madurez del fruto

(estado 4), procedencia y condiciones de cultivo, teniendo en cuenta que en el presente trabajo se utilizó frutos con madurez 5.

Los resultados obtenidos de acidez titulable y sólidos solubles se encuentran dentro del rango establecido por la NTE INEN 2485 (2009), la cual indica los requisitos fisicoquímicos de la uvilla de acuerdo con su madurez de consumo, de esta manera la acidez máxima es de 2.50% y un contenido mínimo de sólidos solubles de 10 °Brix.

#### **4.1.2 Carotenos Totales del Jugo**

El contenido de carotenos totales de la uvilla se realizó por duplicado, el promedio fue de  $28.88 \pm 0.34$  µg B-caroteno/g de muestra liofilizada, resultado que es menor a los reportados por (Llerena et al., 2014), (Vega et al., 2019) y (Etzbach et al., 2018) quienes obtuvieron valores de 65.21, 149.26 y 118.50 µg B-caroteno/g, respectivamente.

Además, Etzbach et al. (2018) mencionan contenidos de carotenos a distintos estados de madurez, donde se encontró que si existe incrementos desde 27.22 µg/g a 118.50 µg/g de fruta fresca inmadura (estado madurez 2) a fruta madura (estado 5). Asimismo, se identificó en el estado inmaduro 20 tipos de carotenoides y en el estado maduro hay 42, por lo tanto, el aumento de los carotenos es durante el periodo de madurez de la fruta.

También, Málaga et al. (2013) obtuvieron valores de  $15.93 \pm 2.31$  (mg  $\alpha$ -caroteno eq. / 100 g), siendo menor al reportado por esta investigación, esta diferencia se debe a factores como estado de madurez y clima, donde la luz solar permite el incremento de carotenoides en la planta.

De acuerdo con los resultados obtenidos la uvilla tiene una importante fuente de compuestos antioxidantes. Es así como, Navarro & Periago (2018) mencionan que la ingesta de carotenoides es de 2807.70 µg/persona/día, siendo el  $\beta$ -caroteno el más ingerido, mismo que ayuda a prevenir enfermedades y potencia el sistema inmunológico. La uvilla es una fruta rica en compuestos antioxidantes, por lo tanto, según la base de datos Phenol-Explorer, la ubica entre los primeros cincuenta alimentos con mayor contenido de carotenos totales.

#### **4.1.3 Capacidad Antioxidante del Jugo**

El contenido de la capacidad antioxidante de la uvilla se realizó por duplicado, el promedio fue de  $62.34 \pm 0.80$  µmoles Trolox/g de muestra liofilizada, valor que es menor al

reportado por Vega et al. (2019) quienes obtuvieron 237.3  $\mu\text{molTrolox/g}$  y similar al reportado por Zambrano (2016) quien registró un valor 60.37  $\mu\text{moles Trolox/ g}$ ,

Cadena (2020) menciona que el estado de madurez de la fruta influye en el contenido de la capacidad antioxidante de la uvilla, es decir, los estados de madurez cinco y seis proporcionarán mayor contenido de compuestos bioactivos, mismos que están relacionados con la capacidad antioxidante de una fruta.

Por otro lado, Zambrano (2016), realizó la cuantificación de la capacidad antioxidante de 10 frutos andinos, encontrándose la uvilla en un octavo lugar. Además, se menciona que los frutos con pigmentación naranja – amarillo tienen mayor contenido de capacidad antioxidante debido a la presencia de los flavonoides, mientras que los frutos con pigmentación amarilla tienen menor contenido por la presencia de compuestos como las xantofilas.

## **4.2 Caracterización de las Variables Evaluadas del Polvo Soluble de Uvilla**

Después del proceso de secado por atomización, se procedió a realizar a las muestras obtenidas, el análisis de humedad y acidez, además, se realizó la preparación de los extractos para la cuantificación de la capacidad antioxidante mediante el método ABTS y de carotenos totales.

La Tabla 20 muestra el análisis de varianza de las propiedades fisicoquímicas estudiadas en el producto final, cada una presenta un coeficiente de variación de 2.75% para humedad, 6.50% para acidez, 7.65% para carotenoides totales y 5.49% para actividad antioxidante.

El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en los tratamientos y el factor **A** (Temperatura) para todas las variables, mientras que el factor **B** (Concentración) y factor **C** (Alimentación) muestran valores no significativos para las variables humedad y acidez, en cambio las variables carotenos totales y capacidad antioxidante presentan diferencia significativa.

Con relación a la interacción **AB** (Temperatura vs Concentración), mostró alta significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables, mientras que la interacción **AC** (Temperatura vs Alimentación) e interacción **BC** (Concentración vs Alimentación) presentaron que no hay diferencia significativa para las variables humedad y acidez.

Con respecto a la interacción **ABC** (Temperatura vs Concentración vs Alimentación) muestra alta significancia ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables. Al existir variaciones significativas en el modelo en todas las variables se realizó la prueba de Tukey al 95.0% de confianza, las mismas que se visualizan en los Anexos 3, 7, 11 y 17 y la prueba de la Diferencia Mínima Significativa al 5 %, las cuales se visualizan en los Anexos 4, 8, 12, 13, 14, 18, 19 y 20.

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza de las Variables Fisicoquímicas del Polvo de Uvilla*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>GL</b>	<b>Humedad Valor p</b>	<b>Acidez Valor p</b>	<b>Carotenos Totales Valor p</b>	<b>Capacidad Antioxidante Valor p</b>
Total	23				
Tratamientos	7	0.00 **	0.00**	0.00 **	0.00 **
Temperatura (A)	1	0.00 **	0.00 **	0.00 **	0.00**
Concentración (B)	1	0.68 ns	0.26 ns	0.01 **	0.00 **
Alimentación (C)	1	0.63 ns	0.74 ns	0.00**	0.00**
Interacción A*B	1	0.00**	0.01**	0.00 **	0.00 **
Interacción A*C	1	0.73 ns	0.91 ns	0.00 **	0.00**
Interacción B*C	1	0.34 ns	0.74 ns	0.01 **	0.00**
Interacción A*B*C	1	0.01 **	0.00 **	0.00 **	0.00**
Error. Exp	16				
C.V. (%)		2.75	6.50	7.65	5.49

\*\* : Altamente significativo; \* : Significativo; ns: No significativo

#### **4.2.1 Contenido de Humedad**

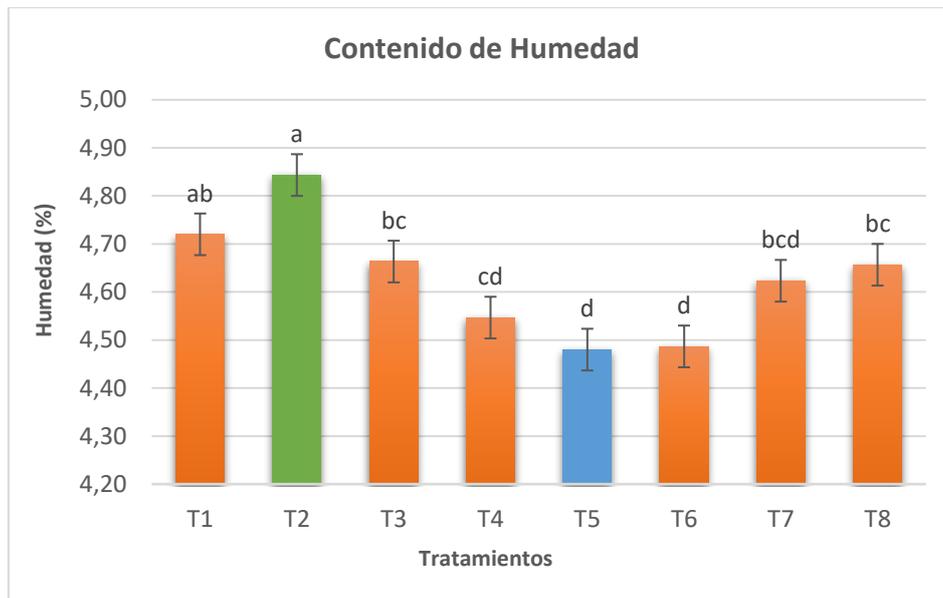
La humedad es una variable importante en los polvos solubles debido que tiene relación con la vida útil del producto, permitiendo que no esté expuesto al deterioro enzimático. La (INEN, 2010) menciona que un polvo soluble para ser comercializado debe tener una humedad del 5% como máxima.

Los valores de humedad de las muestras de polvo soluble de uvilla se encuentran en un rango de 4.48% a 4.85%, que son similares a los estudios reportados por (Aragüez et al.,

2018) quienes obtuvieron humedades de 3.63% hasta 4.69%, mientras que (Velásquez et al., 2018) presentaron valores menores a 8.87%. De esta manera los resultados obtenidos por la presente investigación se encuentran dentro del rango de la humedad máxima como lo indica (INEN, 2010). Por otro lado, cabe mencionar que se apreció notablemente una pérdida del contenido de agua con respecto al fruto, que paso de 82.43 % a un promedio de 4.62%.

**Figura 23**

*Contenido de Humedad (%)*

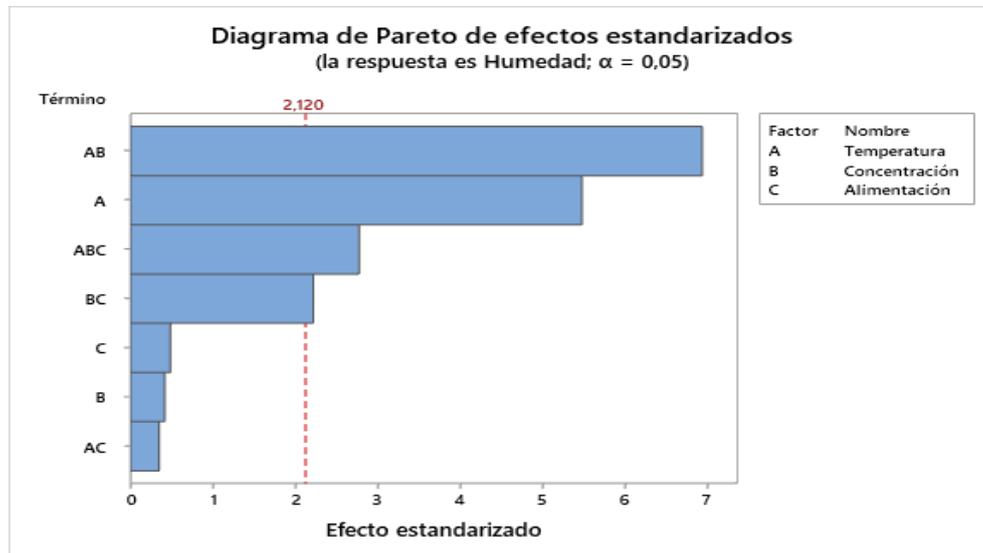


En la Figura 23 se puede evidenciar que los tratamientos se comportaron de diferente manera. Además, según la prueba Tukey al 5% indica que el mejor tratamiento es T2 (140°C - 70°C, 10% MD + 5% GA, 28 ml/min) ocupando un rango “a”, mientras que el tratamiento T5 (170°C - 90°C, 10% MD + 5% GA, 22.5 ml/min) obtuvo un menor contenido de humedad quien ocupó un rango “d”.

En la Figura 24, mediante un diagrama de Pareto, se observa que el factor que tuvo mayor efecto significativo sobre el contenido de humedad fue la Temperatura, así como también, la interacción **AB** (Temperatura vs Concentración) e interacción **BC** (Concentración vs Alimentación). Por otro lado, el Factor **C** (Alimentación), Factor **B** (Concentración) e interacción **AC** (Temperatura vs Alimentación) no tienen ningún efecto sobre el contenido de humedad.

## Figura 24

Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Humedad



Por lo antes mencionado, Castañón et al. (2020) concuerda con lo expuesto en esta investigación, al mencionar que la temperatura y la concentración de agentes portadores evaluados en su estudio influyeron en las propiedades físicas de los polvos.

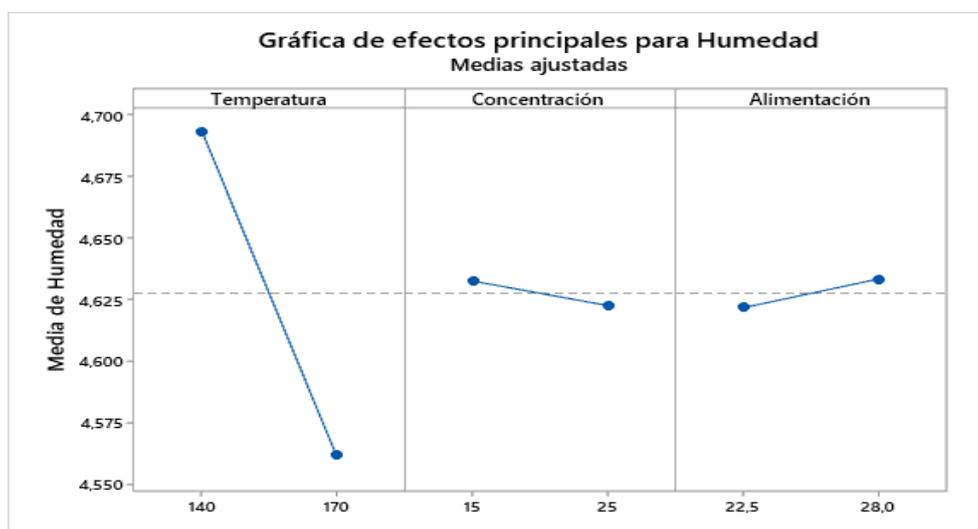
A partir de estos resultados, en la Figura 25 se observa que, a mayor temperatura de entrada y de concentración de encapsulante el contenido de humedad es menor, debido que un incremento de la temperatura de entrada está relacionado con la eliminación del agua ya que dentro del ciclón se produce una mayor tasa de transferencia de calor, ayudando a reducir la humedad en las muestras (Sarabandi et al., 2019).

De modo similar, Ghalegi et al. (2021) mencionan que la disminución de la humedad por las altas temperaturas de secado se debe a que la partícula recibe una mayor tasa de transferencia de calor, ocasionando que se dé una fuerza impulsadora para la evaporación de la humedad.

Respecto a la concentración de encapsulantes se tiene un bajo contenido de humedad debido a la adición de los encapsulantes que incrementa el contenido de sólidos totales de la mezcla de alimentación y reduce la cantidad de agua a evaporar (Aragüez et al., 2018) fundamento que concuerda con Varastegani et al. (2017) quienes añaden que al tener un menor contenido de humedad se reduce los efectos deteriorativos del producto final.

## Figura 25

### *Efecto de los Parámetros Sobre el Contenido de Humedad*



**Nota:** La gráfica representa los efectos principales expresados como media de los datos.

Además, Çalışkan (2021) menciona que utilizando maltodextrina como agente encapsulante se obtuvo menores contenidos de humedad, debido que el incremento de los materiales encapsulantes ayuda a aumentar el contenido de sólidos y por ende a reducir la cantidad de agua a evaporar, es así, como estos reportes son similares a los obtenidos por esta investigación, en el cual se utilizó conjuntamente la maltodextrina con la goma arábica, en una concentración de 15% para obtener un producto con menor contenido de humedad.

También, Sarabandi et al. (2019) indican que los polvos producidos con goma arábica (GA) presentaron menores contenidos de humedad en comparación con los polvos producidos con maltodextrina (MD), debido que la GA tiene mayor capacidad para mantener la humedad, al igual que Garrido Makinistian et al. (2019) quienes reportan que tuvieron menor contenido de humedad utilizando goma arábica (GA).

Así mismo, Ghalegi et al. (2021) en su estudio obtuvieron que a mayor maltodextrina se tiene bajo contenido de humedad, esto se debe al aumento de la tasa sólida del flujo de alimentación que puede disminuir el agua libre disponible y así disminuir el contenido de humedad.

Por otro lado, la gráfica indica que al trabajar con mayor flujo de alimentación se tiene mayor contenido de humedad, resultado que concuerda con Castañón et al. (2020) quienes a la vez manifiestan que mientras la proporción de alimentación sea mayor al aire de secado no

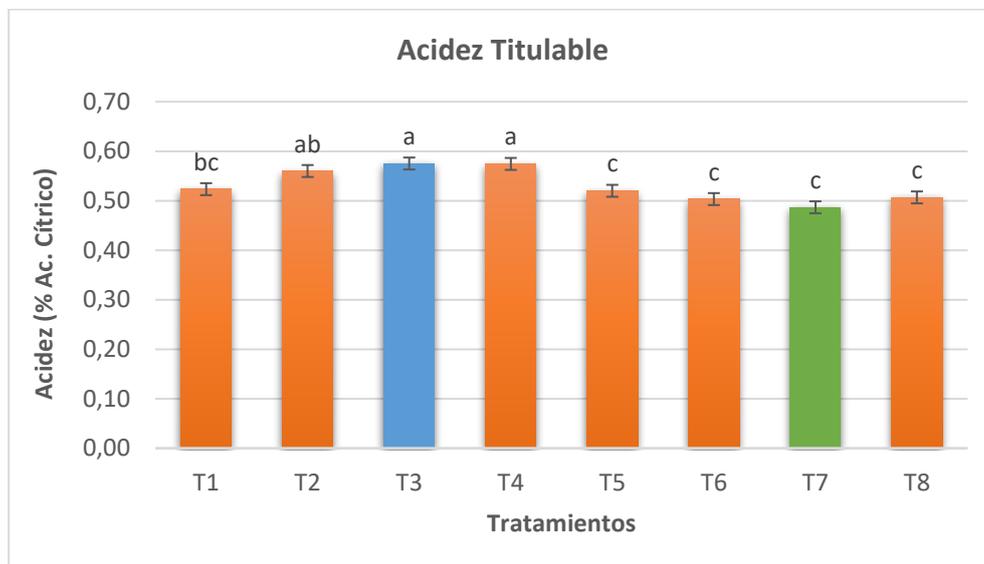
se dé un secado completo al existir una deficiente transferencia de calor entre las gotas, teniendo un producto con alta humedad y al mismo tiempo afecte el rendimiento del mismo al ocasionar que el alimento quede pegado en las paredes de la cámara de secado.

#### 4.2.2 Contenido de Acidez Titulable

La acidez es un parámetro muy importante que debe ser controlado tanto en la materia prima como en el producto terminado, debido que está relacionada con los procesos degradativos que además determinan la calidad de los alimentos (Araujo et al., 2020).

**Figura 26**

*Contenido de Acidez*

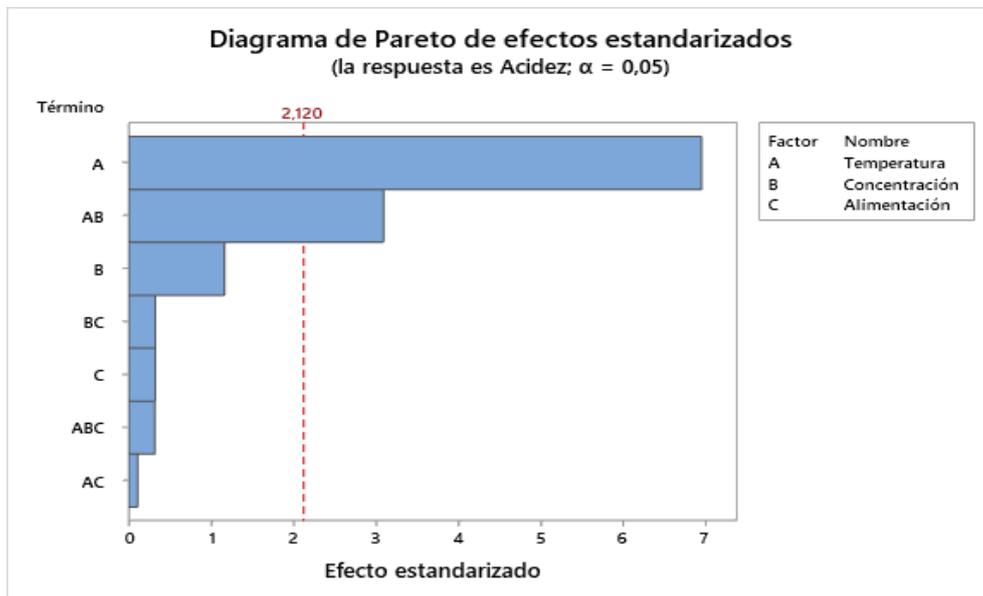


Los valores obtenidos del contenido de acidez titulable de cada tratamiento se muestran en la Figura 26, donde, las muestras que fueron secadas a temperatura baja presentan valores altos de acidez que oscilan entre 0.52% a 0.58%, mientras que los tratamientos que fueron secados a temperatura alta presentaron un descenso en la acidez obteniendo valores que oscilan entre 0.49% a 0.51%, estos valores son similares a los reportados por (Cortes et al., 2012) quienes obtuvieron una acidez de  $0.26 \pm 0.00$ .

Los resultados indican que el tratamiento que presentó mayor contenido de acidez fue T3 (140°C - 70°C, 15% MD + 9% GA, 22.5 ml/min), mientras que el tratamiento T7 (170°C - 90°C, 15% MD + 9% GA, 22.5 ml/min) muestra menor contenido, encontrando una única diferencia entre los dos tratamientos el factor temperatura.

**Figura 27**

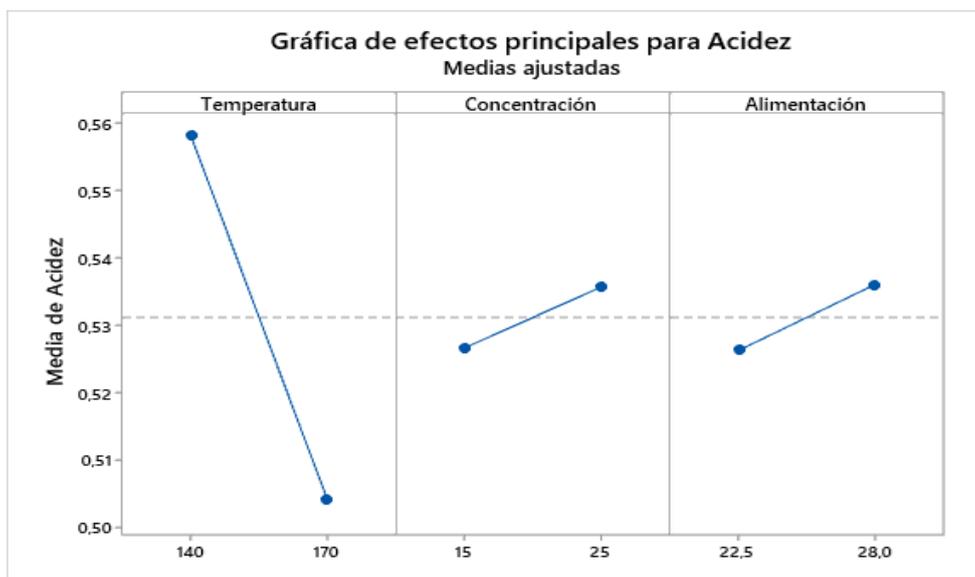
*Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Acidez*



De acuerdo con la gráfica de Pareto Figura 27, el Factor **A** (Temperatura) tiene una diferencia significativa sobre el contenido de acidez, mientras que el Factor **B** (Concentración) y el Factor **C** (Alimentación) presentan que no son significativos sobre el contenido de acidez del polvo de uvilla.

**Figura 28**

*Efecto de los Parámetros sobre el Contenido de Acidez*



La Figura 28 indica que el Factor A (Temperatura) presenta altas diferencias significativas con respecto al Factor B (Concentración) y Factor C (Alimentación), además se observa que a medida que se aumenta la temperatura de entrada la acidez va disminuyendo, debido que los compuestos ácidos no toleran altas temperaturas de secado al ser unos compuestos termolábiles, por lo contrario, se observa que a menudo que se va aumentando la concentración de encapsulantes y flujo de alimentación la acidez se va incrementando.

Según Díaz (2018), manifiesta que el aumento de la vida útil de las frutas mediante el uso de temperaturas bajas está basado en el hecho que la intensidad respiratoria del fruto es disminuida, permitiendo desacelerar la velocidad de la actividad metabólica, esta teoría concuerda con esta investigación, puesto que usando una temperatura baja se obtuvo un mejor contenido de acidez.

De esta manera, Araujo et al. (2020) en su estudio tuvieron una disminución de los azúcares, debido a la utilización de altas temperaturas de secado, ya que dentro de la cámara de secado los azúcares suelen caramelizarse provocando una caída de la concentración de los azúcares.

Con respecto a la concentración de encapsulantes los mismos autores señalan que se evidencio un diferente comportamiento al utilizar distintos porcentajes de maltodextrina, en vista que a medida que aumentaron el porcentaje del MD se incrementó la acidez. También Tafur (2019), en su estudio evidenció mayor acidez en las diluciones con altos porcentajes de malto dextrina, debido, que la MD encapsula y protege a los compuestos ácidos de los daños que puedan sufrir al exponerlos a altas temperaturas.

Con relación al flujo de alimentación, a mayor flujo se obtuvo mayor acidez, debido a la relación que tiene el flujo con el tiempo, puesto que mientras los bio compuestos permanezcan poco tiempo en la cámara de secado se evita que se dé una degradación total al evitar que sufran cambios en la estructura interna de los mismos.

#### **4.2.2 *Contenido de Carotenos Totales***

Los carotenoides siguen siendo uno de los grupos más grandes de colorantes naturales disponibles en la naturaleza que tienden a degradarse debido que son biocompuestos muy sensibles a la exposición de la temperatura, la luz y el oxígeno (Shaaruddin et al., 2019).

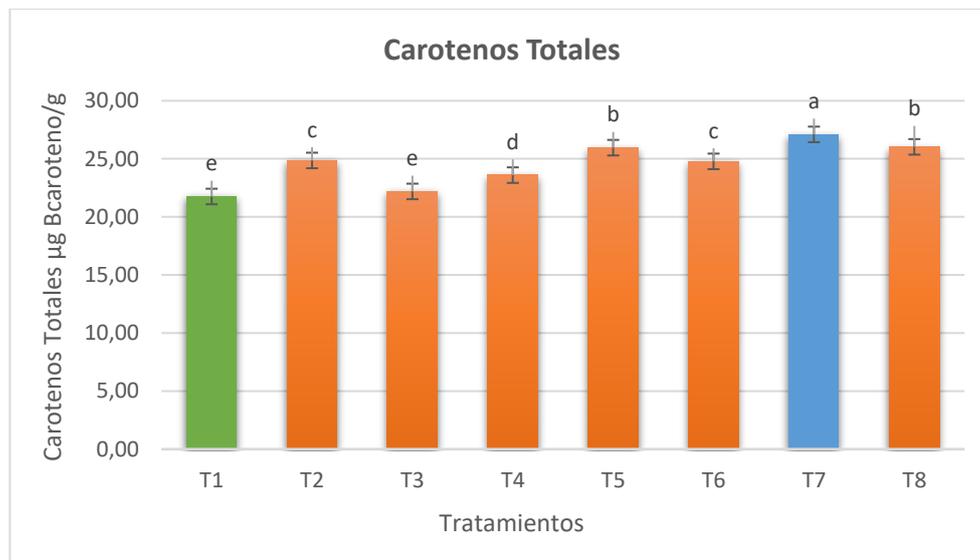
La conservación de las propiedades antioxidantes de los carotenoides, ayuda a reducir los factores de riesgo de ciertas enfermedades humanas (cardiovasculares, cancerígenas,

hipertensión colesterol LDL, triglicéridos y aterosclerosis), así mismo, la ingesta de alimentos ricos en  $\beta$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina provoca un efecto positivo sobre el control de la obesidad y reducción del índice de masa corporal en adultos y niños (Zacarias, 2020).

Los valores obtenidos de carotenos totales se encuentran en un rango de 21.76 hasta 27.10  $\mu\text{g}$  B-caroteno/g de muestra liofilizada, dichos valores indican notablemente la disminución de su contenido durante el secado por atomización de uvilla de 28.88  $\mu\text{g}$  B-caroteno/g a un promedio de 24.53  $\mu\text{g}$  B-caroteno/g, es decir se obtuvo un porcentaje de retención del 84.93 %. Mientras Cardenas & Huaman (2015), reporto un valor de 12.12 mg B-caroteno/g en el secado de tumbo.

**Figura 29**

*Contenido de Carotenos Totales*



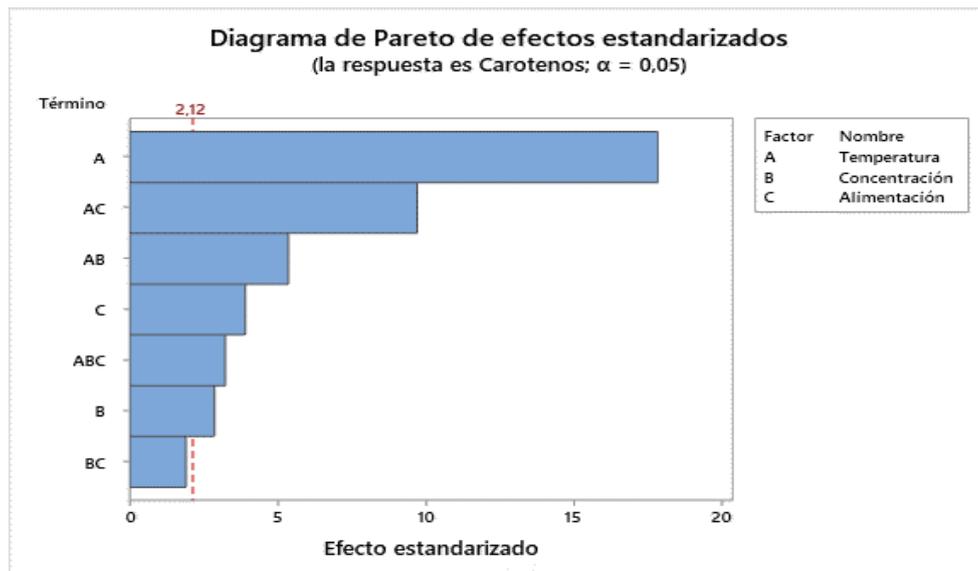
En la Figura 29 se observa que los tratamientos presentan una ligera diferencia estadística entre sí. Según la prueba Tukey al 5% indica que el mejor tratamiento fue T7 (170°C - 90°C, 16% MD + 9% GA, 22.50 ml/min) ocupando un rango “a”, mientras que el tratamiento T1 (140°C - 70°C, 10% MD + 5% GA, 22.50 ml/min) muestra menor contenido y ocupa un rango “e”. Además, se identifica que el único factor que se mantiene constante en los dos tratamientos es el flujo de alimentación, mientras que la temperatura y la concentración son factores responsables de la degradación o conservación de los carotenos.

En la Figura 30, se muestra el diagrama de Pareto que indica que el Factor A es el que tiene mayor efecto sobre el contenido de carotenos totales, seguido de los Factores B (Concentración) y Factor C (Alimentación). De esta manera, el estudio de Aguiar et al.

(2016) concuerdan con lo antes mencionado, al reflejar en su estudio de la microencapsulación de licopeno que la temperatura influyó sobre el contenido de carotenos totales, además, que al incrementar la temperatura de entrada se conservó el contenido de estos.

### Figura 30

*Diagrama de Pareto de los Factores de Estudio Sobre el Contenido de Carotenos Totales*



Así mismo, Herrera (2018) en su estudio del secado por atomización de zanahoria, obtuvo diferencias significativas con relación a los encapsulantes, por tanto, a mayor concentración de goma arábrica logro mayor contenido de carotenos.

En la Figura 31 se observa el comportamiento de degradación de los carotenos totales cuando se trabaja con baja temperatura de entrada y concentración de encapsulantes, mientras que se obtiene un mayor contenido de estos, al utilizar un menor flujo de alimentación. Es así, como el estudio de Gonçalves et al. (2016) y Janiszewska et al. (2020) concuerdan con la presente investigación al mencionar que las temperaturas del aire de entrada entre 170 a 180°C y de 160 a 200 °C respectivamente, fueron las más adecuadas para proteger a los carotenoides durante el secado.

La conservación de los carotenos a altas temperaturas puede deberse a la formación de partículas más lisas que le permiten tener mayor protección contra la degradación de sus biocomponentes, evitando la oxidación o hidrólisis (Arrazola et al., 2014). Otra causa puede ser que, durante el proceso de secado se genera reacciones de Maillard, formando otros compuestos con propiedades antioxidantes a partir del pardeamiento no enzimático, que

dependiendo del tiempo de aplicación del tratamiento térmico los componentes podrían ser mantenidos o mejorados como consecuencia de esta reacción.

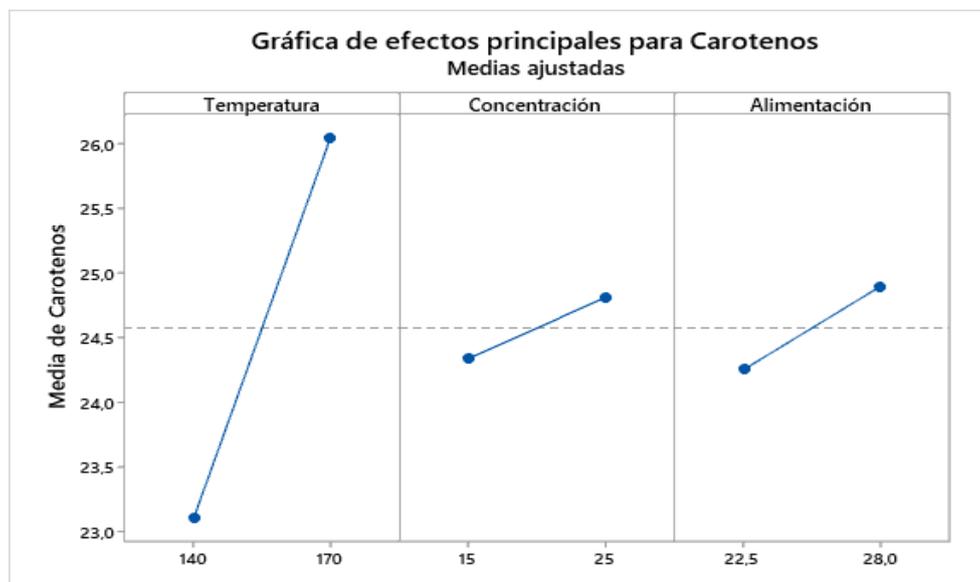
En este sentido, el aumento del contenido de carotenos totales se le atribuye al método ABTS que evalúa hasta los compuestos producidos por la reacción de Maillard y los de naturaleza hidrofílica y lipofílica (Zhou & Langrish, 2021).

De igual manera, Jorge et al. (2018) obtuvieron un aumento de los betacarotenos a altas temperaturas de secado, fenómeno que puede ser explicado por la modificación de la estructura de trans  $\beta$ -caroteno a su respectivo cis  $\beta$ -caroteno, causando una división de la molécula de  $\beta$ -caroteno en fragmentos más pequeños. Teniendo en cuenta que la forma cis resulta ser más soluble en solventes orgánicos permitiendo la extracción del  $\beta$ -caroteno durante el análisis (Bhatkar et al. 2021).

Por lo contrario, Maroof et al. (2020) obtuvieron mejor conservación de carotenos al utilizar bajas temperaturas de secado, esto puede deberse a que el incremento del aire de secado da lugar a una evaporación excesiva generando grietas en la membrana, induciendo a la degradación de biocompuestos (Chavez et al., 2022).

### Figura 31

*Efecto de los Parámetros Sobre el Contenido de Carotenos Totales*



Con relación, a la concentración de encapsulantes Toledo et al. (2019) en su estudio del secado por aspersión del extracto de cáscara de tuna morada utilizaron maltodextrina y goma arábiga como encapsulantes, donde, usaron soluciones de 10, 15, y 20% (porcentaje en

peso) de maltodextrina y de Goma Arábica (GA), obteniendo los siguientes resultados 100.5% pigmentos batafánicos, 103.5 % betaxantinas siendo las mejores condiciones usando 15 % de MD con 10% GA, Asimismo Toledo et al., (2019), en su estudio del secado por aspersión del extracto de cáscara de tuna morada utilizaron maltodextrina y goma arábica, en soluciones de 10, 15, y 20%, teniendo las mejores retenciones de biocompuestos.

En este sentido Manikam & Aida (2021), indican que los materiales de encapsulación actúan como una barrera protectora de los biocompuestos en contra de las condiciones de procesamiento. Además, Coimbra et al., (2021) mencionan que maltodextrina junto a la goma arábica tienen una buena propiedad emulsificante contribuyendo a reducir la presencia de grupos hidroxilo.

Finalmente, Araujo et al. (2020) señalan que tuvieron mayor conservación de compuestos al utilizar goma arábica y una mezcla de dos agentes encapsulantes, demostrando que el proceso de secado por atomización resulta más eficiente para lograr la conservación de diversos compuestos funcionales.

#### **4.2.3 Contenido de la Capacidad Antioxidante**

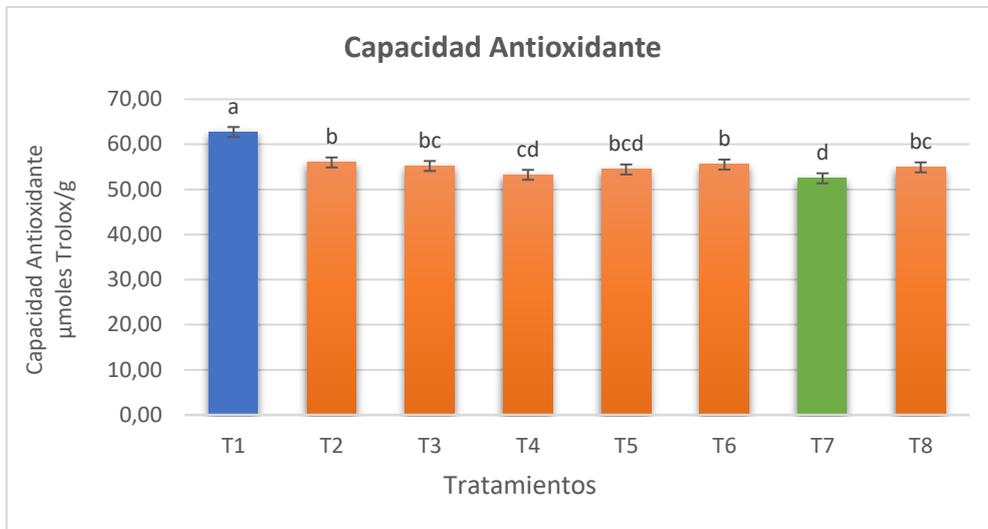
Los compuestos antioxidantes ayudan al cuerpo a eliminar los radicales libres, que son sustancias químicas que producen la oxidación en las células, alteraciones en el ADN y cambios que aceleran el envejecimiento del cuerpo, y las encargadas de causar enfermedades como el cáncer, es así, como eliminar los radicales libres otorga mayores beneficios para la salud (Ramírez et al., 2016).

Los resultados de la actividad antioxidante que se obtuvieron en esta investigación se encuentran en un rango de 52.48 hasta 62.73  $\mu$ moles Trolox/ g (Figura 32). Además, se observa que hay una ligera disminución del contenido durante el proceso de secado de 62.34 a un promedio de 55.55  $\mu$ moles Trolox/ g; obteniendo una retención de 89.10% a diferencia de Tonon et al., (2010) y Bastías et al., (2019) quienes obtuvieron 54.55% y 85.76% respectivamente.

La Figura 32 muestra que los tratamientos son estadísticamente diferentes. De acuerdo con la prueba Tukey al 5% indica que el mejor tratamiento es el T1 (140 - 70°C, 10% MD + 5% GA, 22.50 ml/min), ocupando un rango “a”, mientras que el T7 (170 – 90°C, 16% MD + 9% GA, 22.50 ml/min) presenta una disminución de la capacidad antioxidante y ocupa un rango “d”.

**Figura 32**

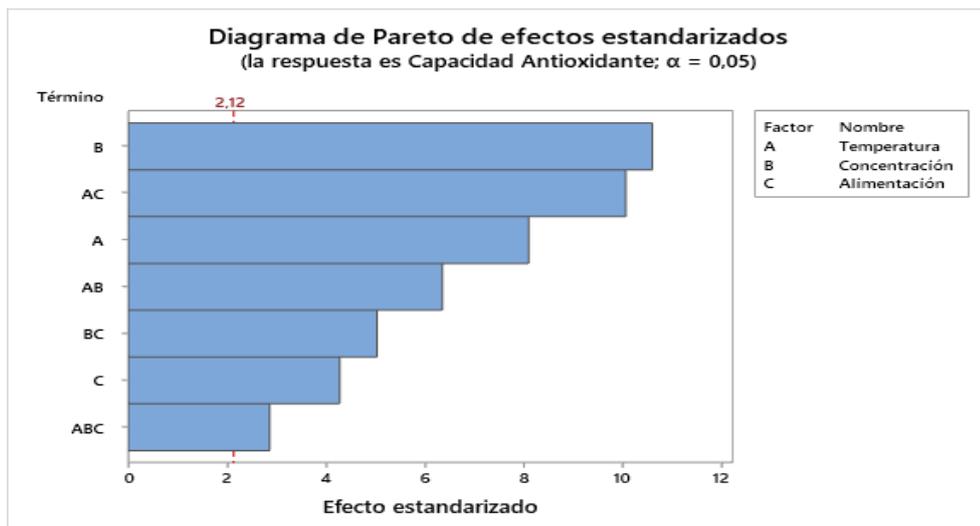
*Contenido de la Capacidad Antioxidante*



En la Figura 33, se muestra el diagrama de Pareto el cual indica que el Factor **B** (Concentración) tuvo mayor efecto sobre el contenido de la capacidad antioxidante, seguido de los Factor **A** (Temperatura) y Factor **C** (Alimentación) que influyeron mínimamente en la conservación de las propiedades antioxidantes de la uvilla.

**Figura 33**

*Diagrama de Pareto de los Factores en Estudio Sobre la Capacidad Antioxidante*



De este modo, De Boñón et al. (2020), confirman lo expuesto por esta investigación al mostrar en su estudio que tuvo diferencias significativas con respecto al factor temperatura, al tener actividades antioxidantes más altas con una temperatura de 150°C. Por otro lado,

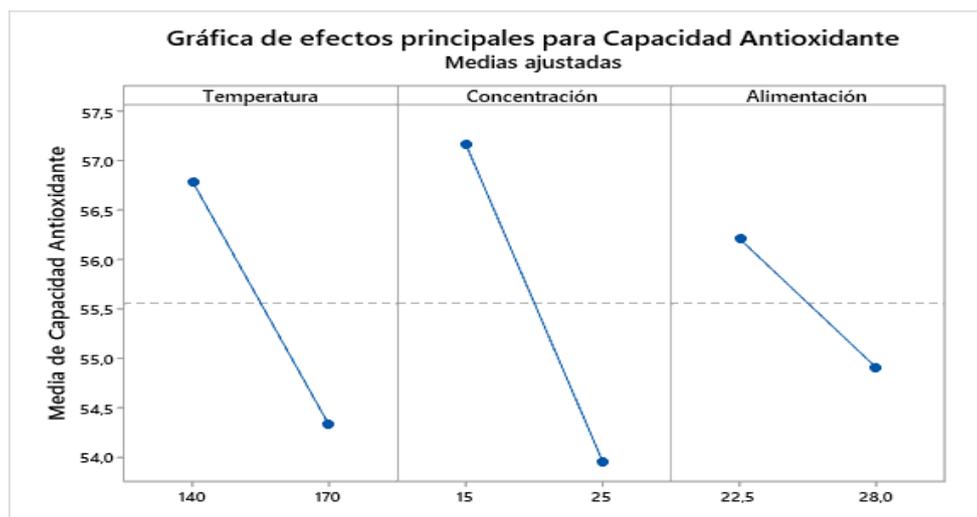
Toledo et al. (2019) en su estudio determinaron que la concentración de encapsulante fue significativamente mayor cuando utilizó 20% GA.

La Figura 34 muestra que el factor temperatura y concentración de encapsulantes presentan una diferencia altamente significativa, además, se observa que al disminuir estos factores se tiene una retención de la capacidad antioxidante, lo mismo se reflejó en los estudios de Gomes et al. (2018), Boñón et al. (2020) y Cahuaya (2017) quienes, al trabajar con temperaturas de 150, 140 y 150°C respectivamente, obtuvieron mejor captación de radicales libres.

Por lo antes mencionado, la disminución de la capacidad antioxidante se justifica porque al variar la temperatura ocasiona el rompimiento de los grupos químicos funcionales por hidrólisis, tanto en la cadena principal como en los sustituyentes laterales de los compuestos antioxidantes (Acevedo et al., 2018). Además, Rivas et al. (2020) mencionan que las altas temperaturas de secado genera una evaporación excesiva causando grietas y deformaciones en el material, al igual que causa un efecto negativo en los encapsulados, provocando que tengan superficies porosas con hendiduras, facilitando los procesos de degradación.

### Figura 34

*Efecto de los Parámetros de Secado Sobre el Contenido de la Capacidad Antioxidante*



Otra manera de explicar la disminución de la capacidad antioxidante al incrementarse la temperatura es por la degradación de la vitamina C y carotenoides, porque gran parte de la actividad antioxidante de las frutas proviene de compuestos como vitamina C, vitamina E,  $\beta$ -caroteno y polifenoles (Cárdenas & Huamán 2017).

Los resultados obtenidos también, se atribuye al uso de los encapsulantes. Donde Camacho et al. (2016), en su estudio de atomización de lulu obtuvo mejores resultados de la actividad antioxidante trabajando a una temperatura de 116°C y concentración de goma arábica del 6.5% y maltodextrina del 9%. Al igual que Araujo et al. (2020), mencionan que el uso de agentes encapsulantes con una baja temperatura de secado ayuda a proteger a la muestra del proceso de oxidación y evita el deterioro de compuestos antioxidantes.

En este sentido Lee et al., (2017), mencionan que un aumento de la concentración de maltodextrina y goma arábica que no contiene radicales libres, origina una disminución de la actividad de captación de radicales libres de ABTS. Asimismo, Gonzalez et al., (2015) indican que la retención de las propiedades antioxidantes se debe a la capacidad que tiene la maltodextrina para formar una superficie protectora sobre las partículas.

Por otro lado, a mayor flujo de alimentación se tiene menor cantidad de la capacidad antioxidante, debido a que una tasa de flujo de alimentación más alta ocasiona una transferencia de calor y masa más lenta, dificultando el secado de las gotas atomizadas (Diaz et al., 2017). De igual manera, Chamba & Quispe (2021) utilizaron flujos de alimentación de 500 y 700 ml/h, resultando óptimo el bajo flujo para obtener mejor contenido de la capacidad antioxidante, lo que concuerda con esta investigación.

**Tabla 21**

*Contenido de Humedad, Acidez, Carotenos Totales y Capacidad Antioxidante (ABTS)*

Tratamientos	Variables evaluadas			
	Humedad	Acidez	Carotenos Totales	Capacidad Antioxidante
<b>T1</b>	4.72±0.08 <b>ab</b>	0.52±0.02 <b>bc</b>	21.76±0.08 <b>e</b>	62.73±0.42 <b>a</b>
<b>T2</b>	4.84±0.04 <b>a</b>	0.56±0.01 <b>ab</b>	24.86±0.38 <b>c</b>	55.98±1.21 <b>b</b>
<b>T3</b>	4.66±0.03 <b>bc</b>	0.58±0.01 <b>a</b>	22.19±0.60 <b>e</b>	55.19±0.89 <b>bc</b>
<b>T4</b>	4.55±0.04 <b>cd</b>	0.57±0.01 <b>a</b>	23.60±0.38 <b>d</b>	53.24±0.79 <b>cd</b>
<b>T5</b>	4.48±0.01 <b>d</b>	0.52±0.01 <b>c</b>	25.96±0.18 <b>b</b>	54.42±0.54 <b>bcd</b>
<b>T6</b>	4.49±0.05 <b>d</b>	0.50±0.01 <b>c</b>	24.78±0.10 <b>c</b>	55.52±0.78 <b>b</b>
<b>T7</b>	4.62±0.07 <b>bcd</b>	0.49±0.02 <b>c</b>	27.10±0.57 <b>a</b>	52.48±0.28 <b>d</b>
<b>T8</b>	4.66±0.08 <b>bc</b>	0.51±0.02 <b>c</b>	26.03±0.06 <b>b</b>	54.89±0.62 <b>bc</b>
<b>C.V. (%)</b>	2.75	6.50	7.65	5.49

### 4.3 Rendimiento del Producto

El rendimiento del producto se obtuvo mediante la diferencia entre el peso inicial del jugo de uvilla concentrado y encapsulado que ingresa al atomizador con el peso del producto final en polvo. Se considera que el rendimiento es un indicador importante para la industria, por tanto, un mayor rendimiento significa más beneficios (Sobulska & Zbicinski, 2021).

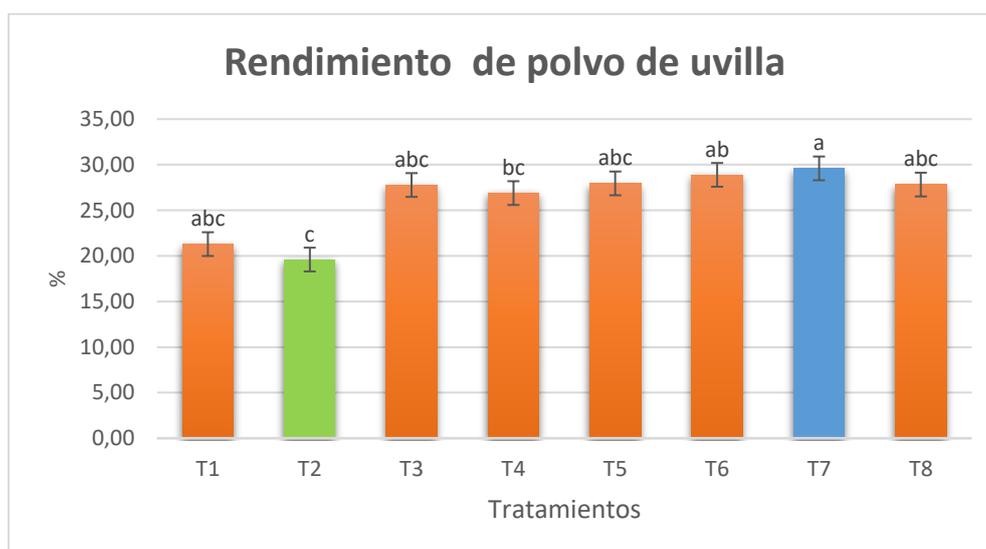
En la Figura 35 se muestran los resultados del rendimiento de las muestras de polvo soluble de uvilla, además, se aprecia que los tratamientos registran valores de rendimiento entre 19.60 a 29.60% valores que son menores a los reportados por (Aragüez et al., 2018), (Garrido et al., 2019) y (Sarabandi et al., 2019) quienes obtuvieron rendimientos de  $82\%$ ,  $70\pm 1\%$ , y  $66.47\%$  respectivamente.

De acuerdo con la prueba Tukey al 5% indica que el mejor tratamiento fue T7 ( $170^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$ , 16% MD + 9% GA, 22.50 ml/min), ocupando un rango “a”, mientras que el tratamiento T2 ( $140^{\circ}\text{C}$  -  $70^{\circ}\text{C}$ , 10% MD + 5% GA, 28 ml/min) muestran menor rendimiento del polvo final, ocupando un rango “c”.

El análisis de varianza (Anexo 21) indica que hay diferencia significativa (p-value  $<0.05$ ) para el Factor A (Temperatura) y Factor C (Alimentación), mientras que el Factor B (Concentración) presenta que no hay diferencia significativa en los tratamientos. Deduciendo que los Factores A y B influyen en el rendimiento del producto.

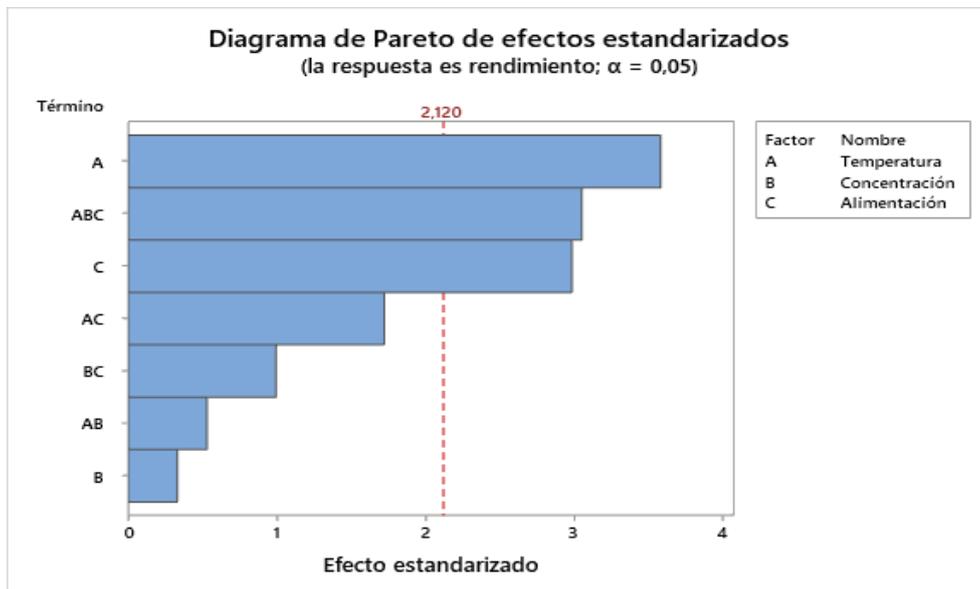
**Figura 35**

*Rendimiento del Polvo Soluble de Uvilla*



**Figura 36**

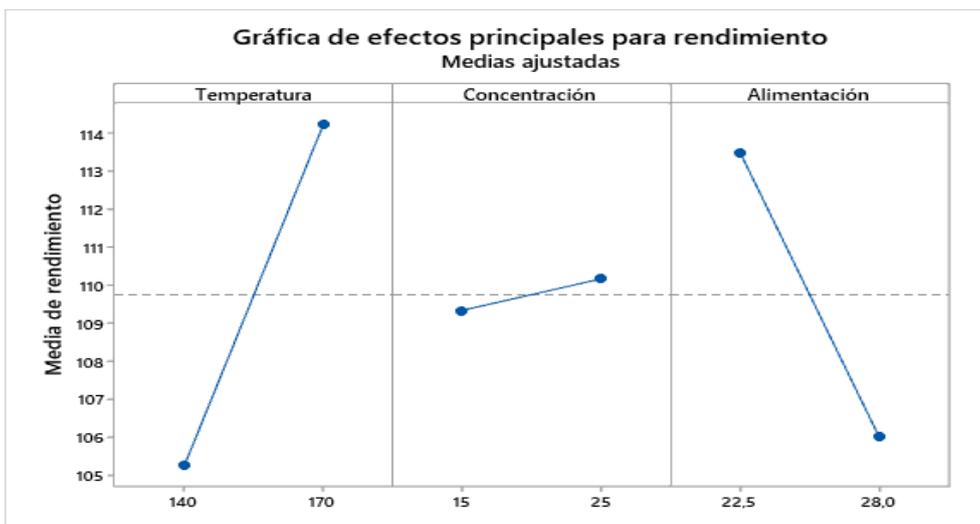
*Diagrama de Pareto Sobre el Rendimiento del Producto*



En la Figura 36, se muestra el diagrama de Pareto que indica que el Factor **A** (Temperatura) y Factor **C** (Alimentación) tienen un efecto significativo sobre el rendimiento al contrario del Factor **B** (Concentración). Aragüez et al. (2018) concuerda con esta investigación ya que reportó que los factores temperatura y encapsulantes fueron significativos para la variable de respuesta rendimiento.

**Figura 37**

*Efecto de los Parámetros sobre el Rendimiento del Producto*



**Nota:** La gráfica representa los efectos principales expresados como media de los datos.

La Figura 37 muestra que a medida que se aumenta la temperatura y la concentración de encapsulantes se tiene un mejor rendimiento, lo contrario pasa con el flujo de alimentación a medida que se aumenta el rendimiento disminuye.

Varastegani et al. (2017) comparten la misma teoría que al trabajar con temperaturas de 110 a 130 °C y flujo de alimentación de 7 a 15 ml/h, tuvieron mayor rendimiento a una temperatura de (130°C), ya que se genera mayor eficiencia en la transferencia de calor y de masa.

Con relación, al factor concentración de encapsulantes Kim et al. (2021) observaron que el rendimiento del secado esta influenciado por las concentraciones de MD. Además, Aragüez et al. (2018) mencionan que el uso de la maltodextrina, goma arábica, celulosa cristalina y almidón ayudan a incrementar el contenido de sólidos de la muestra, ocasionando altos rendimientos y bajos costos productivos.

Asimismo, los agentes portadores (encapsulantes) ayudan a aumentar la temperatura de transición vítrea del alimento durante el proceso de secado, evitando que se den pérdidas, debido que todas las frutas tiene una baja temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) por los azúcares presentes como la glucosa, sacarosa y fructosa ( $T_g$  de 31, 62, 26°C, respectivamente), generando el principal problema de pegajosidad, que consiste en adherirse las partículas a las paredes de la cámara de secado, provocando una disminución en el rendimiento del producto final (Etzbach et al., 2020).

De acuerdo con el factor flujo de alimentación Figueroa et al. (2016) mencionan, que cuando se empleó un alto caudal observaron que se generó microcápsulas en algunos sectores del equipo los cuales no podían ser recuperados, ocasionando una disminución en el rendimiento del producto, debido a una lenta transferencia de calor y de masa, provocando aglomeraciones en el producto final. Además, la velocidad del flujo de alimentación también influye en las propiedades del producto deshidratado teniendo una relación inversa con la higroscopicidad y el rendimiento en el polvo de jugo de asai (Shishir & Chen, 2017).

Finalmente, la pérdida del rendimiento también se da por otros factores como el caudal de alimentación y el porcentaje de aspiración, mismo que conduce a una mejor tasa de separación en el ciclón, logrando una temperatura térmica más alta Maroof et al. (2020).

#### 4.4 Análisis Sensorial del Polvo Soluble de Uvilla

Mediante este análisis se conoció el grado de preferencia de las características de color, aroma y sabor de las muestras de jugo de uvilla con dos diferentes tipos de encapsulantes (maltodextrina y goma arábica, este análisis se realizó con la población de la comunidad de Santo Domingo #1, perteneciente a la parroquia Ayora del cantón Cayambe. A continuación, se da a conocer los resultados arrojados por parte de los catadores.

A continuación, en la Tabla 22, se presentan los resultados obtenidos del análisis de aceptabilidad que fueron evaluados con la prueba no paramétrica de Friedman al 5%.

**Tabla 22**

*Análisis no Paramétrico de Friedman para las Variables de Aceptabilidad Sensorial*

Variable	Valor p
Color	0.09 ns
Aroma	0.761 ns
Sabor	0.00 **
Aceptación general	0.00 **

**Nota:** \*\* altamente significativo; \*significativo; ns: no significativo.

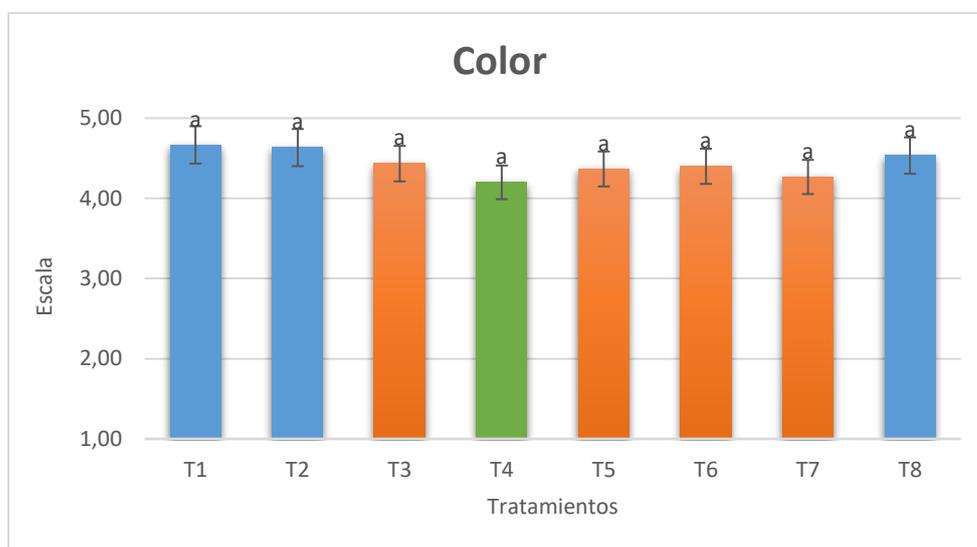
La prueba estadística no paramétrica de Friedman visualizada en la tabla anterior muestra que la variable de evaluación sensorial sabor y aceptación general presentan una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) excepto de la variable color y aroma.

##### 4.4.1 Aceptabilidad Sensorial del Color

La rehidratación del polvo de uvilla permitió tener una solución de color amarillo-anaranjado, similar al del jugo fresco, mismo que fue aceptado parte de los degustadores. Según, la prueba Tukey al 5% los tratamientos con mayor aceptabilidad fueron T1 (140-70°C, 10% MD + 5% GA, 22.5 ml/min), T2 (140-70°C, 10% MD + 5% GA, 28 ml/min) y T8 (140-70°C, 16% MD + 9% GA, 28 ml/min), mientras que el tratamiento T4 (140-70°C, 16% MD + 9% GA, 28 ml/min) presentó menor preferencia. Asimismo, los tratamientos se encontraron en un rango de 4.20 a 4.67 puntos, que corresponden a la escala hedónica interpretada como “me gusta”. Además, el análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas, por tanto, todos los tratamientos pertenecen a un rango “a”.

**Figura 38**

*Puntuación para el Color del Jugo de Uvilla*



Durante el proceso de evaporación mientras se aumentó la temperatura de concentración se observó que el jugo presentó un color más oscuro, este cambio es debido al pardeamiento no enzimático que generan las reacciones de Maillard, el cual origina melanoidinas que son pigmentos que provocan cambios en las propiedades de los alimentos (Zhou & Langrish, 2021).

Africano et al. (2015) mencionan que la coloración del fruto depende de los carotenoides y antocianinas, mismos que al degradarse originan una disminución en el color del producto. También, esta degradación se da por la maltodextrina que un polímero blanco que al mezclarse con el alimento, este pierde su color original, por tanto, se debe usar en mínimas concentraciones este material encapsulante (Sobulska & Zbicinski, 2021), siendo así, el color se considera como una variable muy importante que permite determinar la calidad de los polvos secos y la aceptabilidad de los productos terminados.

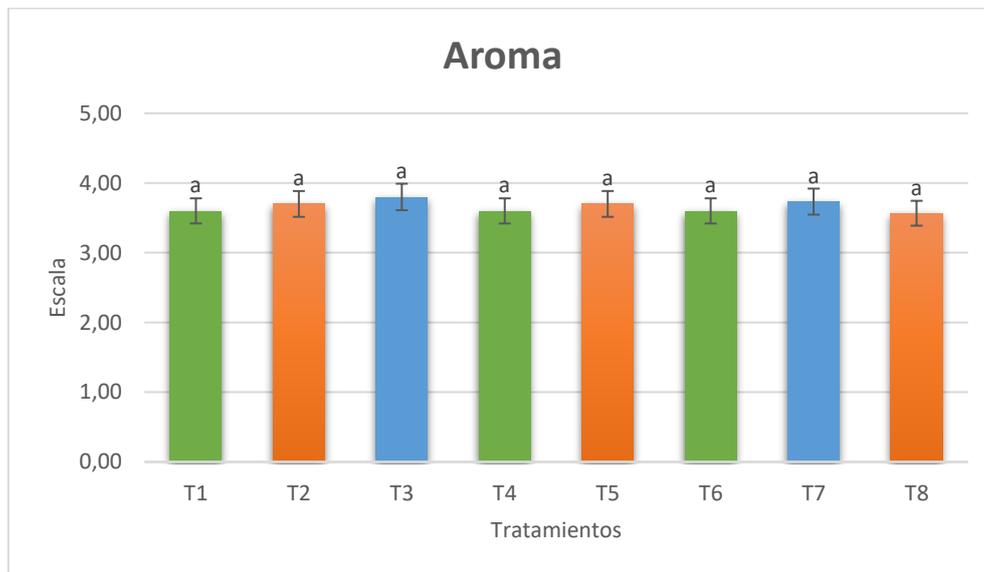
#### **4.3.2 Aceptabilidad Sensorial del Aroma**

En la Figura 39 se puede apreciar que según la prueba Tukey al 5% los tratamientos con mayor aceptabilidad fueron T3 (140-70°C, 16% MD + 9% GA, 22.5 ml/min) y T7 (170-90°C, 16% MD + 9% GA, 22.5 ml/min), mientras el T6 (170-90°C, 10% MD + 5% GA, 28 ml/min), T4 (140-70°C, 16% MD + 9% GA, 28 ml/min) y T1 (140-70°C, 10% MD + 5% GA, 22.5 ml/min) presentaron menor aceptación. Así mismo, los tratamientos se encontraron en un rango de 3.60 a 3.80 puntos, que corresponden a la escala hedónica interpretada como “ni

me gusta ni me disgusta”. Además, el análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas, por tanto, todos los tratamientos pertenecen a un rango “a”.

**Figura 39**

*Puntuación para el Aroma del Jugo de Uvilla*



Por parte de los catadores no entrenados mencionaron que el aroma de la bebida de uvilla no es característico al del jugo de la fruta, está perdida se le atribuye al proceso de evaporación ya que se percibió que la mayor parte del aroma se quedó en el agua del condensado, debido que en el proceso de evaporación se incrementa el punto de ebullición, provocando que gran parte de los compuestos aromáticos de la fruta se pierdan, al ser compuestos que toleran puntos de ebullición bajos (Petrotos & Lazarides, 2017).

Cabe mencionar, que entre los compuestos aromáticos que tiene la uvilla están; hexanal, 2-metilpropanol, 2-hidroxibutanoato de etilo, octanoato de etilo y 3-hidroxibutanoato de butilo siendo este último el que presenta una nota olfativa más característica del fruto, y si se da una degradación de este compuesto el producto tendrá poca similitud con relación a la fruta fresca (Garcia et al., 2014). Por lo tanto, De Souza et al. (2020) mencionan que la pérdida de estos compuestos se da en las etapas iniciales del secado, al generar una estructura porosa abierta en los alimentos causando el ingreso de oxígeno y por ende su oxidación.

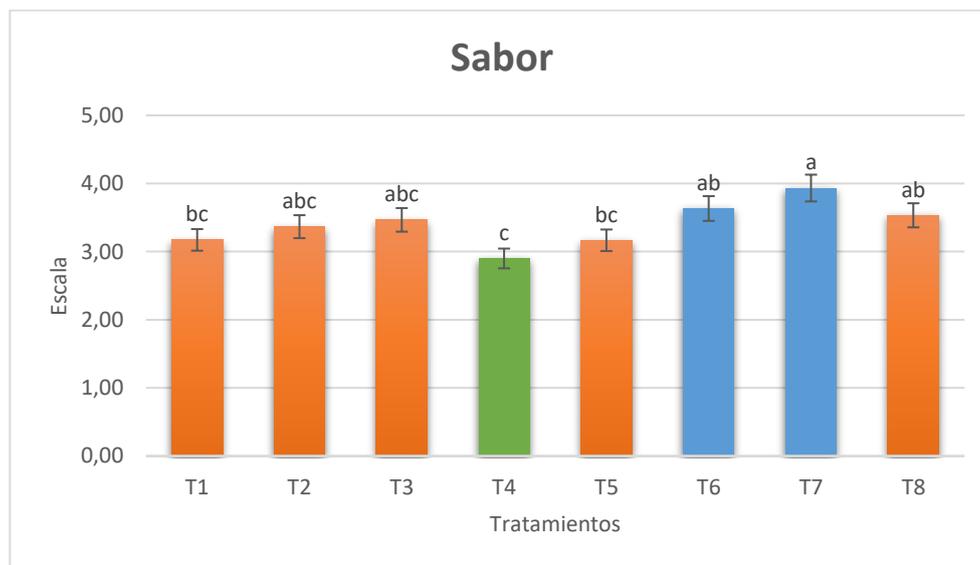
En contexto, Maroof et al. (2020), señalan que los agentes encapsulantes actúan como protectores de los compuestos termolábiles de los alimentos, al crear una capa externa que cubre al producto y protege de los parámetros de secado, evitando el contacto entre el producto y el aire de secado, permitiendo conservar el aroma y sabor del producto procesado.

### 4.3.3 Aceptabilidad Sensorial del Sabor

En la Figura 40 se puede apreciar que según la prueba Tukey al 5% los tratamientos con mayor aceptabilidad por parte de los degustadores fueron T7 (170-90°C; 16% MD + 9% GA; 22.5 ml/min) y T6 (170-90°C, 10% MD + 5% GA, 28 ml/min), mientras el T4 (140-70°C; 16% MD + 9% GA; 22.5 ml/min), mostró menor preferencia en cuanto al sabor del jugo. Así mismo, los tratamientos se encontraron en un rango de 2.90 a 3.93 puntos, que corresponden a la escala hedónica interpretada como “ni me gusta ni me disgusta”. Además, el análisis de varianza indica que hay diferencias significativas, por tanto, todos los tratamientos no pertenecen al mismo rango.

**Figura 40**

*Puntuaciones para el Sabor del Jugo de Uvilla*



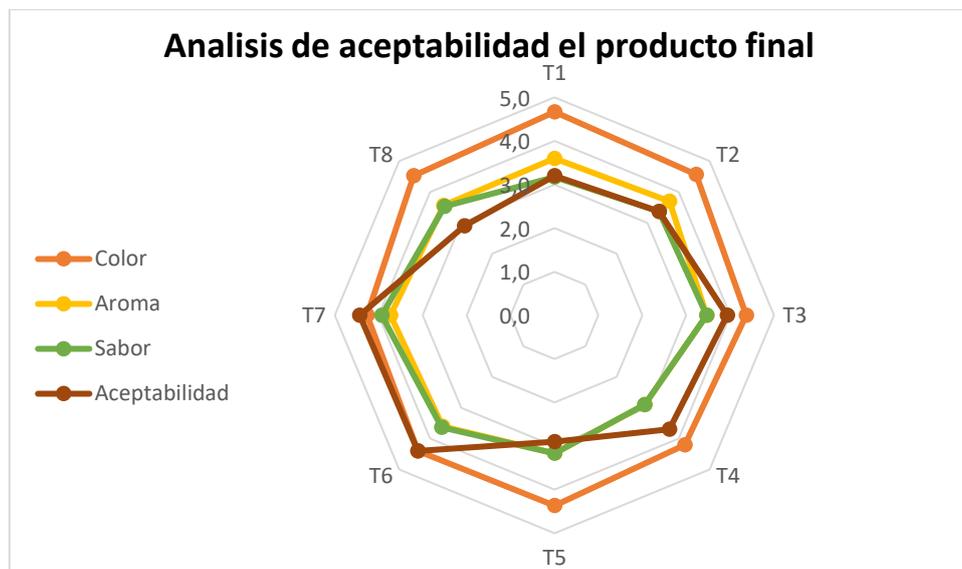
Por parte de los catadores no entrenados, se obtuvo una observación en la cual mencionaron que el sabor de la bebida del polvo rehidratado fue poco similar a la de un jugo de uvilla fresca, sin embargo, notaron un sabor dulce, que se le atribuye al empleo de la maltodextrina, que es un polímero con sabor ligero pero dulce, utilizado como azúcar artificial (Coimbra et al., 2021).

Por otro lado, Zhou & Langrish (2021) mencionan que la pérdida del sabor se da por la exposición de los productos a distintos tratamientos térmicos, en este caso, el jugo pasó por el proceso de evaporación en el cual se trabajó a una temperatura de 56°C y por el atomizador utilizando altas temperaturas, que provocaron una degradación en las propiedades del alimento.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el sabor es uno de los atributos y criterios de calidad más importantes que afecta al momento de tener una información cualitativa como cuantitativa, por ende, se considera que utilizar agentes encapsulantes como maltodextrina y goma rábica ayudan a conservar propiedades organolépticas como color y sabor, al cubrir la muestra evitando la oxidación de la misma (Araujo et al., 2020).

**Figura 41**

*Análisis Sensorial del Jugo de Uvilla*



La Figura 41, indica un gráfico de Telaraña, en el cual se observa la aceptación sensorial de cada atributo. De acuerdo con la prueba de Tukey al 5% el tratamiento que presentó mayor puntuación fue T7 (170 - 90°C; 16% MD + 9% GA; 22.5 ml/min) al observar que todas las variables (color, aroma y sabor) se encuentra en una escala de 4 a 5, que corresponden a la escala hedónica interpretada como “me gusta y me gusta mucho” respectivamente, mientras que el T5 (170 - 90°C; 10% MD + 5% GA; 22.5 ml/min) muestra que la variable aroma y sabor se encuentran en una escala 3, interpretado como “ni me gusta ni me disgusta”.

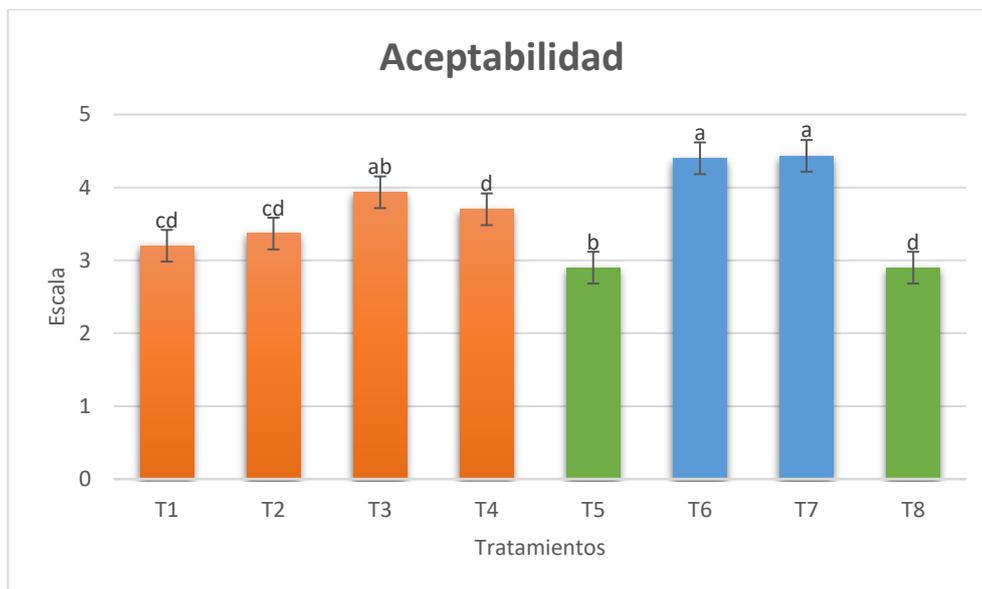
#### **4.3.4 Análisis de Aceptación del Producto**

En la Figura 42 se puede apreciar que según la prueba Tukey al 5% los tratamientos con mayor aceptabilidad por parte de los degustadores fueron T7 (170-90°C; 16% MD + 9% GA; 22.50 ml/min) y T6 (170-90°C; 10% MD + 5% GA; 28 ml/min), mientras el T5 (170-90°C; 10% MD + 5% GA; 22.50 ml/min) y T8 (170-90°C; 16% MD + 9% GA; 28 ml/min) mostraron menor preferencia en cuento a la aceptabilidad. Asimismo, los tratamientos se

encontraron en un rango de 2.90 a 3.93, que corresponden a la escala hedónica interpretada como “ni me gusta ni me disgusta y me gusta”, mencionando que la bebida tenía características organolépticas muy cercanas al jugo de uvilla. Además, el análisis de varianza indica que hay diferencias significativas, por tanto, todos los tratamientos no pertenecen al mismo rango.

**Figura 42**

*Puntuaciones de la Aceptabilidad del Jugo de Uvilla*



Según Aragón & Pino (2019), mencionan que evaluar la aceptación de un producto resulta importante para la determinación de la calidad de los alimentos, mismos que van a hacer consumidos por el hombre.

Cabe señalar, que para realizar un análisis de aceptabilidad de un producto hay que tener en cuenta ciertos factores como la edad, el sexo y el horario para la evaluación sensorial. Es así, como Severiano (2019) menciona que el sabor percibido cambia en función de la edad, además que el horario adecuado para realizar la evaluación es a media mañana entre las 10:00-13:00 horas, que es un horario en el cual el catador está saciado, pero no lleno y tampoco tiene hambre.

En la Tabla 23 se muestra el resumen de las puntuaciones del análisis sensorial de los parámetros color, aroma, sabor y aceptación general del jugo de uvilla.

**Tabla 23**

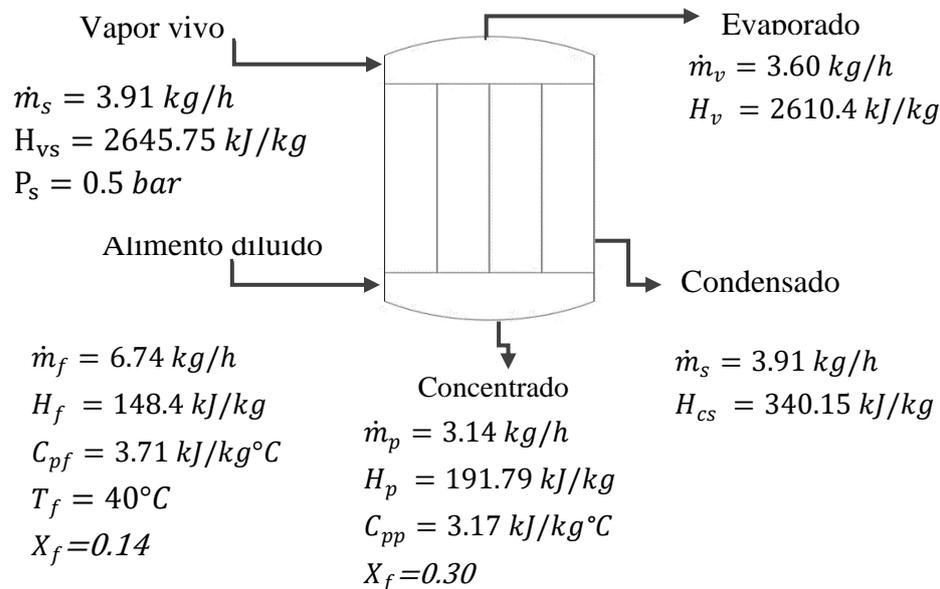
*Resultados de los Atributos Sensoriales del Jugo de Uvilla*

Tratamientos	Color	Aroma	Sabor	Aceptación general
T1	4.67±0.55 a	3.60±0.62 a	3.20±0.76 bc	3.20±0.76 cd
T2	4.63±0.49 a	3.70±0.46 a	3.37±0.61 abc	3.37±0.61 cd
T3	4.43±0.62 a	3.80±0.61 a	3.47±0.85 abc	3.93±0.74 ab
T4	4.20±0.71 a	3.60±0.67 a	2.90±0.80 c	3.70±0.46 d
T5	4.37±0.76 a	3.70±0.70 a	3.17±0.91 bc	2.90±0.80 b
T6	4.40±0.72 a	3.60±0.67 a	3.63±0.66 ab	4.40±0.77 a
T7	4.27±0.64 a	3.73±0.58 a	3.93±0.74 a	4.43±0.62 a
T8	4.53±0.68 a	3.57±0.56 a	3.53±0.90 ab	2.90±0.80 d

**Nota:** Letras diferentes en una misma columna presentan diferencias estadísticas, según Friedman ( $p > 0,05$ )

## 4.6 Balance de Masa y Energía

### 4.4.1 Evaporador



- **Balance de Masa:**

$$\dot{m}_f = \dot{m}_p + \dot{m}_v$$

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_f * x_f}{x_p} = \frac{6.74 \frac{kg}{h} * 0,14}{0,30} = 3.14 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_v = 6.74 \frac{kg}{h} - 3.14 \frac{kg}{h} = 3.6 \frac{kg}{h}$$

- **Balance de Energía:**

$$\dot{m}_s H_{vs} + \dot{m}_f H_f = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_s H_{cs} + \dot{m}_p H_p$$

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{m}_p H_p + \dot{m}_v H_v - \dot{m}_f H_f}{H_{vs} - H_{cs}}$$

$$\dot{m}_s = \frac{3.60 \frac{kg}{h} * 2610.4 \frac{kJ}{kg} + 3.14 \frac{kg}{h} * 191.79 \frac{kJ}{kg} - 6.74 \frac{kg}{h} * 148.4 \frac{kJ}{kg}}{2645.75 \frac{kJ}{kg} - 340.15 \frac{kJ}{kg}}$$

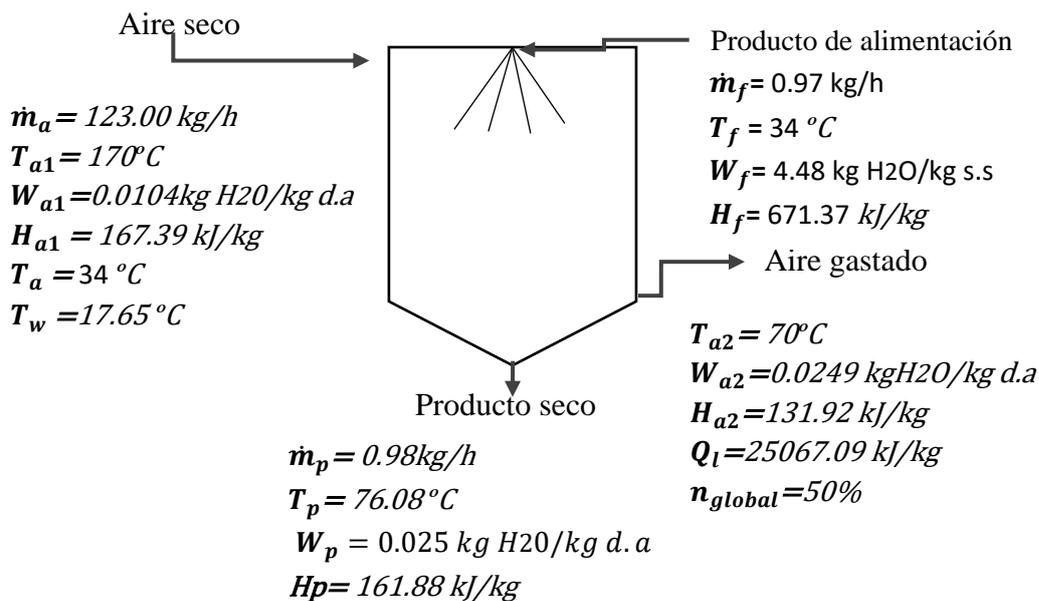
$$\dot{m}_s = 3.91 \frac{kg}{h}$$

- **Economía de Vapor:**

$$E_v = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s} = \frac{3.60 \frac{kg}{h}}{3.99 \frac{kg}{h}} = 0,92$$

En el evaporador por cada kilogramo de vapor vivo, se evapora 0,92 kg de agua de jugo de uvilla. Los cálculos detallados de los balances se pueden observar en el Anexo 28.

#### 4.4.2 Atomizador



- **Balance de Masa:**

$$\dot{m}_a W_{a1} + \dot{m}_f w_f = \dot{m}_a W_{a2} + \dot{m}_p w_p$$

$$W_{a2} = \frac{\dot{m}_p w_p - \dot{m}_a W_{a1} + \dot{m}_f w_f}{\dot{m}_a}$$

$$W_{a2} = 0.098 \frac{kg}{h} * 0.025 \frac{kg H_2O}{kg d.a} - 123.006 \frac{kg d.a}{h} * 0.0104 \frac{kg H_2O}{kg s.s} + 0.97 \frac{kg}{h} * 4.48 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

$$W_{a2} = 0,0249 \frac{kg H_2O}{kg d.a}$$

- **Balance de Energía:**

$$\dot{m}_f H_f + \dot{m}_a H_{a1} = \dot{m}_p H_p + \dot{m}_a H_{a2} + Q_L$$

$$Q_L = \dot{m}_f h_f + \dot{m}_a H_{a1} - \dot{m}_p H_p - \dot{m}_a H_{a2}$$

$$Q_L = 0,098 \frac{kg}{h} * 671.37 \frac{kJ}{kg} + 112.00 \frac{kg}{h} * 167.39 \frac{kJ}{kg} - 0,97 \frac{kg}{h} * 161.88 \frac{kJ}{kg} - 123.00 \frac{kg}{h} * 131.92 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_L = 2430.29 \frac{kJ}{kg}$$

- **Cálculo de Eficiencia Global:**

$$n_{global} = \left[ \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\% = \left[ \frac{140 - 70}{140 - 0} \right] * 100\%$$

$$n_{global} = 50\%$$

Los cálculos del balance de materia y energía en el atomizador dieron como resultados una pérdida de calor de 2430.29 kJ/ h y una eficiencia térmica del 50 %. Los cálculos detallados del balance de materia y energía se pueden observar en el Anexo 29.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La uvilla *Physalis peruviana* constituyó una fuente importante de carotenoides con alta capacidad antioxidante, encontrándose dentro de los cincuenta alimentos con mayor contenido de carotenos totales según la base de datos Phenol Explorer.
- Los factores temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación tuvieron efectos significativos sobre la retención de la actividad antioxidante y carotenos totales, permitiendo conservar el 89.10% y 84.93%, respectivamente con relación a la fruta fresca.
- El tratamiento que tuvo mayor aceptabilidad sensorial fue el T7 (170°C - 90°C; 16% MD + 9% GA; 22.50 ml/min), el cual presenta un bajo contenido de capacidad antioxidante, correspondiente a los parámetros de mayor temperatura, concentración de encapsulantes y bajo flujo de alimentación.
- Los parámetros de secado por atomización (temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación) influyeron sobre la actividad antioxidante y el contenido de carotenos totales del polvo soluble de uvilla, por tanto, se aceptó la hipótesis alternativa planteada en la investigación.

#### 5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar el proceso de secado por atomización utilizando mayores rangos de temperaturas y diferentes proporciones de encapsulantes a fin de evaluar el comportamiento que estos generan frente a los compuestos bioactivos.
- Evaluar en el polvo soluble el efecto que tienen los parámetros de secado sobre las propiedades físicas del polvo, siendo la humectabilidad, solubilidad y pegajosidad.
- Realizar una comparación con los agentes encapsulantes utilizados en esta investigación y con distintos materiales, a modo de determinar la eficiencia en la retención de compuestos bioactivos.

## BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, B., Montiel, M., & Avanza, J. (2018). Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina. *S. Cielo*, 1(8), 1–3.
- Africano, K., Almanza, P., & Balaguera, H. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno (*Prunus persica* L.) Batsh. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161–172. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754>
- Aguiar, J., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 58, 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>
- Anandharamakrishnan, C., & Padma Ishwarya, S. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation* (John Wiley).
- Aragüez, Y., & Pino, J. (2019). Conservación de un saborizante de jugo deshidratado de naranja con maltodextrina secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 29(3), 1–5. <https://www.revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/67>
- Aragüez, Y., Pinto, J., Rodríguez, I., & Roncal, E. (2018). Influencia del Contenido de Maltodextrina-Goma Arabiga y la Temperatura del Airde de Entada en el Proceso de Atomización de Jugo Concentrado de Naranja. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3), 27–31.
- Araujo, H. C. S., Jesus, M. S., Leite Neta, M. T. S., Gualberto, N. C., Matos, C. M. S., Rajan, M., Rajkumar, G., Nogueira, J. P., & Narain, N. (2020). Effect of maltodextrin and gum arabic on antioxidant activity and phytochemical profiles of spray-dried powders of sapota (*Manilkara zapota*) fruit juice. *Drying Technology*, 39(3), 392–404. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1839487>
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 191–200. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>

- Asik, S., Atbakan Kalkan, T., & Topuz, A. (2021). Optimization of spray drying condition and wall material composition for myrtle extract powder using response surface methodology. *Drying Technology*, 39(12), 1869–1882.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914077>
- Bastías-Montes, J. M., Choque-Chávez, M. C., Alarcón-Enos, J., Quevedo-León, R., Muñoz-Fariña, O., & Vidal-San-martín, C. (2019). Effect of spray drying at 150, 160, and 170 °c on the physical and chemical properties of maqui extract (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(1), 144–152.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000100144>
- Baysan, U., Elmas, F., & Koç, M. (2019). The effect of spray drying conditions on physicochemical properties of encapsulated propolis powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13024>
- Bhatkar, N. S., Shirkole, S. S., Mujumdar, A. S., & Thorat, B. N. (2021). Drying of tomatoes and tomato processing waste: a critical review of the quality aspects. *Drying Technology*, 39(11), 1720–1744. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1910832>
- Boñón, C., Vejarano, R., & Salas, F. (2020). Effect of tunnel drying, freeze-drying and spray-drying on antioxidant activity and phenolic compounds of huacatay. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, July, 27–31*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.223>
- Cabascango, O. (2019). *Evaluación del efecto de tres métodos de secado sobre la actividad antioxidante y fenoles totales de la uvilla Physalis peruviana L.* [Título de pregrado, Universidad Tecnica del Norte].
- Cadena, D. (2020). *Evaluación del método de conservación de atmósferas controladas sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de la uvilla Physalis peruviana L. con cáliz durante su almacenamiento.* [Título de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Cahuaya Rivera, G. M. (2018). *Efecto Del Secado Por Aspersion En El Contenido De Vitamina C, Capacidad Antioxidante Y Características Fisicoquímicas De Jugo De Naranja.* [Título de Pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perul].
- Çalışkan Koç, G. (2021). Physicochemical, reconstitution, and morphological properties of

- red pepper juice (*Capsicum annuum* L.) powder. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 4011–4023. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04864-x>
- Camacho, M., Martínez, N., & Martínez, J. (2017). *Optimización de la atomización de lulo (Salanum quitoense L), en función del rendimiento, la higroscopicidad y la actividad antioxidante del producto*. [Título de posgrado, Universidad Politécnica de Valencia].
- Cardenas, P., & Huaman, M. (2015). *Evaluación de tipo de encapsulante y temperatura de aire de secado por atomización en el contenido de ácido ascórbico, carotenos totales y capacidad antioxidante de Tumbo (Passiflora mollisoma L.)*. [Título pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perú].
- Cardoso, G., Puzhi, M., & Zhinín, S. (2016). Simulación de los Procesos Psicrométricos Simulation of Psychrometric Processes. *Facultad de Ciencias Químicas*, 13, 25–39. <http://www.vpclima.upv.es/psicro.htm>
- Castañón Rodríguez, J. F., Uresti-Marín, R. M., Soto Gómez, M. G., Santiago-Adame, R., & Ortiz-Basurto, R. I. (2020). Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *CYTA - Journal of Food*, 18(1), 195–202. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>
- Chamba, Y., & Quispe, S. (2021). *Desarrollo de un microencapsulado a base de orégano (Origanum Vulgare, L.) mediante secado por aspersion*. [Título de pregrado, Universidad Técnica del Cotopaxi].
- Chancosi, M. (2017). *Evaluación del efecto de la Temperatura del Almacenamiento sobre el Contenido de Acido Ascórbico y Propiedades nutraceuticas de la uvilla Physalis peruviana L, Con Caliz*. [Título pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Chavez-Salazar, A., Ruiz-Urbano, D. A., Rojas-Sánchez, J. C., & Castellanos-Galeano, F. J. (2022). Evaluation of a functional beverage obtained by spray drying. *Food Engineering*, 24(1–2022). <https://doi.org/10.25100/iyf.24i1.10582>
- Choque Delgado, G. T., Cruz Morales, N. X., Villa Gómez, K. Y., & da Silva Cunha Tamashiro, W. M. (2021). Antioxidant, Antiproliferative, and Immunomodulatory Activities in Peruvian Fruits. *Food Reviews International*, 00(00), 1–20. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1902345>

- Coimbra, P. P. S., Cardoso, F. de S. N., & Gonçalves, É. C. B. de A. (2021). Spray-drying wall materials: relationship with bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *61*(17), 2809–2826. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1786354>
- Conde, C. G., Tovar, C. T., & Méndez, G. L. (2021). Actividad antioxidante del extracto etanólico de *Capsicum baccatum* L. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, *40*(1), 54-57.  
[https://www.revistaavft.com/images/revistas/2021/avft\\_1\\_2021/10\\_actividad\\_antioxidante.pdf](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2021/avft_1_2021/10_actividad_antioxidante.pdf)
- Cortes Rodríguez, M., Ciro Velasquéz, H., Rodríguez, E., & Largo, E. (2012). Secado Por Aspersión De Concentrado De Caña Panelera : Una Tecnología Apropriada Para. *Vitae*, *19*(1), 51–53.
- Costa, D. A., Macedo, W., Silva, G. H., Lopes, L. S., & Jaimes, E. H. L. (2019). Aplicación y efecto antioxidante del ácido gálico sobre la calidad de semillas de trigo Application and effect antioxidant of gallic acid on the quality of wheat seeds. *Revista de Ciências Agrárias*, *42*(1), 22–29. <https://doi.org/10.19084/RCA18184>
- de Souza, M. M. B., Santos, A. M. P., Converti, A., & Maciel, M. I. S. (2020). Optimisation of umbu juice spray drying, and physicochemical, microbiological and sensory evaluation of atomised powder. *Journal of Microencapsulation*, *37*(3), 230–241. <https://doi.org/10.1080/02652048.2020.1720031>
- Díaz, R. (2018). *Evaluación de compuestos bioactivos en pulpa atomizada y pulpa congelada de Mauritiella aculeata*. [Título de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Díaz, Y. L., Torres-Valenzuela, L. S., Serna-Jiménez, J. A., & Sotelo, L. I. (2017). Encapsulation effect on spray drying of yellow pitahaya biocomponents of functional interest | Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Informacion Tecnológica*, *28*(6), 23–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>
- Etzbach, L., Meinert, M., Faber, T., Klein, C., Schieber, A., & Weber, F. (2020). Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray

- drying. *Current Research in Food Science*, 3(November 2019), 73–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.03.002>
- Etzbach, L., Pfeiffer, A., Weber, F., & Schieber, A. (2018). Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSn. *Food Chemistry*, 245(October 2017), 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120>
- Figueroa, P. M., Ceballos, M. A., & Hurtado, A. M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora. *Rev. Colomb. Quim.*, 45(2), 39–47.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.57481>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2018). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 40.  
<https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>
- Fuentes, A., Fernández, I., & García, E. (2017). *Propiedades tecnológicas de las algas*. [Título de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia].
- Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12), 1800–1831.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>
- Gallón Bedoya, M., Eraso Grisales, S. K., & Cortés Rodríguez, M. (2021). Avances tecnológicos en el proceso de transformación de la uchuva: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), 7–18. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5019>
- García, M. C., Peña, C., & Brito, B. (2014). *Desarrollo tecnologico para el fortalecimiento del manejo poscosecha de la Uchuva*.  
<http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Garrido Makinistian, F., Sette, P., Gallo, L., Bucalá, V., & Salvatori, D. (2019). Optimized aqueous extracts of maqui (*Aristotelia chilensis*) suitable for powder production. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3553–3560. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03840-4>
- Ghalegi Ghalenoe, M., Dehnad, D., & Jafari, S. M. (2021). Physicochemical and nutritional properties of pomegranate juice powder produced by spray drying. *Drying Technology*,

39(12), 1941–1949. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1934691>

Gomes, W. F., França, F. R. M., Denadai, M., Andrade, J. K. S., da Silva Oliveira, E. M., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Narain, N. (2018). Effect of freeze- and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(6), 2095–2102. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3124-z>

Gonçalves, A., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2016). Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends in Food Science and Technology*, *51*, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.001>

Gonzalez, S., Hernández, A., & Gonzalez, H. M. (2015). Guanábana en polvo secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Universitaria*.

Guevara-Collazos, A. J., Villagran-Munar, E. A., Velásquez-Ayala, F. A., & González-Velandia, K. D. (2019). Evaluation of the postharvest behavior of cape gooseberry from conventional and agroecological production systems. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, *10*(6), 1273–1285.

Guiné, R. P. F., Gonçalves, F. J. A., Oliveira, S. F., & Correia, P. M. R. (2020). Evaluation of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Bioaccessibility in *Physalis Peruviana* L. *International Journal of Fruit Science*, *20*(S2), S470–S490. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741056>

Hernández-Guiance, S. N., Marino, L., Isern, D. M., Coria, I. D., & Irurzun, I. (2019). Flavonoides: aplicaciones medicinales e industriales. *Invenio*, *22*(40), 11–27.

Herrera, S. L. (2018). *Efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina c y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (Cyphomandra betacea de solanum betaceum)*. [Título de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Hosseini, A., Jafari, S. M., Mirzaei, H., Asghari, A., & Akhavan, S. (2017). Application of image processing to assess emulsion stability and emulsification properties of Arabic gum. *Carbohydrate Polymers*, *126*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.020>

INEN. (2010). *NTE INEN 2471. Mezclas en polvo para preparar refrescos o bebidas*

*instantáneas. Requisitos.* [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_2471.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_2471.pdf)

ITIS. (2020). *Sistema Integrado de Información Taxonómica.*

<https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt#null>

Janiszewska-Turak, E. (2017). Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. *Food Research International*, 99, 891–901.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.001>

Janiszewska-Turak, E., Walczak, M., Rybak, K., Pobiega, K., Gniewosz, M., Woźniak, Ł., & Witrowa-Rajchert, D. (2020). Influence of Fermentation Beetroot Juice Process on the Physico-Chemical Properties of Spray Dried Powder. *Drying Technology*, 27(3).

<https://doi.org/10.3390/molecules27031008>

Jorge, A., Sauer Leal, E., Sequinel, R., Sequinel, T., Kubaski, E. T., & Tebcherani, S. M. (2018). Changes in the composition of tomato powder (*Lycopersicon esculentum* Mill) resulting from different drying methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(5), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13595>

Kim, J. H., Kim, J. H., & Eun, J. B. (2021). Optimization of spray drying process of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) juice powder using nondigestible maltodextrin by response surface methodology (RSM). *Journal of Food Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04917-1>

Lee, C. G., Ahmed, M., Jiang, G. H., & Eun, J. B. (2017). Color, bioactive compounds and morphological characteristics of encapsulated Asian pear juice powder during spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2717–2727.

<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2708-3>

Leong, S. Y., & Oey, I. (2012). Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 133(4), 1577–1587.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.052>

Llerena, W., Samaniego, I., Milton, R., & Brito, B. (2014). *Caracterización fisicoquímica y funcional de seis frutas tropicales y andinas ecuatorianas.* 22(2).

<http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>

Loachamín, T. N. (2016). *Determinar los parámetros adecuados que afectan el*

agrietamiento de uvilla ( *Physalis peruviana* L. ) [[Título de pregrado, Universidad Cental del Ecuador]]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10070/1/T-UCE-0004-83.pdf>

- Londoño, J. L. (2012). *Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad PARTE III / PART III*. 129–162.
- López, H., Zumalacárregui, L., & Pérez, O. (2017). Simulación de los procesos de extracción de  $\beta$ -caroteno natural, astaxantina, biodiesel y glicerol a partir de *Dunaliella salina*. *Ingeniería UC*, 24(2)(1), 321–240.
- Lopez M, B. E., Carvajal De P, L. M., & Millan C, L. (2015). Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión. *Vitae*, 16(3), 287–296.
- Lucas Aguirre, J. C. (2017). *Optimización del proceso de secado por aspersión para la obtención de polvo de coco*. [Título de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Málaga, R., Guevara, A., & Araujo, M. (2013). Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante TT - Effect of golden berry (*Physalis peruviana* L.) puree process on bioactive compounds and antioxidant capacity. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(2), 162–174. [file:///sciELO.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000200009&lang=pt%5Cnhttp://www.sciELO.org.pe/pdf/rsqp/v79n2/a09v79n2.pdf](file:///sciELO.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200009&lang=pt%5Cnhttp://www.sciELO.org.pe/pdf/rsqp/v79n2/a09v79n2.pdf)
- Maroof, K., Lee, R. F. S., Siow, L. F., & Gan, S. H. (2020). Microencapsulation of propolis by spray drying: A review. *Drying Technology*, 40(6), 1083–1102. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1850470>
- Moreno-Miranda, C., Moreno-Miranda, R., Pilamala-Rosales, A., Molina, J., & Cerda-Mejia, L. (2019). El sector hortofrutícola de Ecuador: principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de uvilla (*Physalis peruviana* L). *Ciencia y Agroicultura*, 16(1), 31–51. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n1.2019.8809>
- Moreno-Vicente, C., & Basanta-Regodesebes, E. (2019). *Manual del cultivo de uvilla (Physalis peruviana)*. [https://humana-ecuador.org/wp-content/uploads/2021/09/Manual-de-Uvilla\\_Final.pdf](https://humana-ecuador.org/wp-content/uploads/2021/09/Manual-de-Uvilla_Final.pdf)

- Mukthar, V., Cañetas, T., Peraza, G., & Acereto, P. (2016). *Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas* (M.E. Ramír).
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7).  
<https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Nanda, V., Majid, I., & Thakur, M. (2019). *Drying of Acid and Sugar Rich Foods*. En *Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries*. 30–69.  
<https://doi.org/10.1201/9780429055133-2>
- Navarro-González, I., & Periago, M. J. (2018). Estimación teórica de la ingesta diaria de carotenoides en los escolares españoles (3-9 años). *Rev. Esp. Nutr. Comunitaria*, 24(3), 3–9.
- Ogrodowska, D., Tańska, M., Brandt, W., & Czaplicki, S. (2019). The influence of emulsion drying on the fatty acid composition, bioactive compounds content and oxidative stability of encapsulated bio-oils. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 949–959.  
<https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1676316>
- Páez, M., Ochoa, C., & Fernández, A. (2017). Spray drying operating conditions of yeast extract: effect on physical properties. *Agronomía Colombiana*, 602–615.
- Palacios, L. (2020). *Secado por aspersión de mieles de caña como base para la obtención de productos instantaneos de panela*. [Título de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Petrotos, K. B., & Lazarides, H. N. (2017). Osmotic concentration of liquid foods. *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00222-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00222-3)
- Ramírez, J., García, C., Vizcaíno, J., Murga, H., & Rueda, S. (2016). ¿Qué son y para qué sirven los antioxidantes? *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de La Universidad Veracruzana*, 25(2), 2.
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rivas, J. C., Cabral, L. M. C., & Rocha-Leão, M. H. (2020). Stability of Bioactive

Compounds of Microencapsulated Mango and Passion Fruit Mixed Pulp. *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), S94–S110.

<https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1707746>

Sarabandi, K., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S., & Mohammadi, A. (2019). Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>

Selvamuthukumar, M., Tranchant, C., & Shi, J. (2019). Spraying Drying: Concept, Application and Its Recent Advances in Food Processing. *En Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries*, 1–29.

Serna-Cock, L., Torres-León, C., & Ayala-Aponte, A. (2015). Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) como fuente de ingredientes funcionales. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 41–50.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200006>

Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? What is and how is the sensory evaluation used? *INTERdisciplina*, 7(19), 47–68.

Shaaruddin, S., Mahmood, Z., Ismail, H., Mohd Ghazali, H., Hamzah, M. Y., & Muhammad, K. (2019). Stability of  $\beta$ -carotene in carrot powder and sugar confection as affected by resistant maltodextrin and octenyl succinate anhydride (OSA) starches. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3461–3470. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03832-4>

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49–67.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

Singh, P., & Heldman, D. (2014). *Introduction to Food Engineering* (Fifth). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2011-0-06101-X>

Sobulska, M., & Zbicinski, I. (2021). Advances in spray drying of sugar-rich products.

*Drying Technology*, 39(12), 1774–1799.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1832513>

- Stavra, K., Plati, F., Pavlidou, E., & Paraskevopoulou, A. (2021). Characterization of lemon juice powders produced by different drying techniques and carrier materials. *Drying Technology*, 40(9), 1923–1934. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1894168>
- Tafur, M. (2019). *Determinación de parámetros tecnológicos para el atomizado de pulpa de mango (Mangifera indica) con agua de coco (Cocos nucifera) edulcorado con estevia*. [Título de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
- Tangarife, D. P. C., Arias, L. P. P., & Zapata, A. M. O. (2021). Technological aspects of the microencapsulation bioactive food compounds by spray-drying. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–21. [https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22\\_NUM1\\_ART:1899](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM1_ART:1899)
- Tchabo, W., Ma, Y., Kaptso, G. K., Kwaw, E., Chen, R. W., Xiao, L., Osae, R., Wu, M., & Farooq, M. (2019). Process Analysis of Mulberry (*Morus alba*) Leaf Extract Encapsulation: Effects of Spray Drying Conditions on Bioactive Encapsulated Powder Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 12(1), 122–146. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2194-2>
- Toledo-Madrid, K. I., Gallardo-Velázquez, T. G., Terrazas-Valencia, F., & Osorio-Revilla, G. I. (2019). Spray drying microencapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) peel extract and storage stability of bioactive compounds. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(12), 958–968. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i12.2046>
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>
- Varastegani, B., Zzaman, W., Harivaindaran, K. V., Yang, T. A., Abdullah, W. N. W., Lee, L. K., & Easa, A. M. (2017). Efecto de los agentes portadores en las propiedades químicas y la evaluación sensorial de *Nigella sativa* atomizada. *CYTA - Journal of Food*, 15(3), 448–456. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1297960>
- Vega, J. C. D. la, Cañarejo, M. A., Cabascango, O. N., & Lara, M. V. (2019). Deshidratado de *Physalis peruviana* L. en dos Estados de Madurez y su Efecto sobre el Contenido de Polifenoles Totales, Capacidad Antioxidante, Carotenos, Color y Ácido Ascórbico. *Información Tecnológica*, 30(5), 91–100. <https://doi.org/10.4067/s0718->

07642019000500091

- Velásquez-Barreto, F., Riveros, A., & Ruíz, A. (2018). The use of encapsulating improves the retention of ascorbic acid in atomized *Physalis peruviana* L. juice: Study of retention and modeling of hygroscopic behavior. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 535–542.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.09>
- Zambrano, L. (2016). *Comparación de la capacidad antioxidante de 10 cultivos ancestrales andinos con sus respectivos concentrados de fibra dietética total para su uso como aditivo funcional en la Industria de Alimentos*. [Título de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
- Zárate-Martínez, W. (2018). *Effect of phenolic acids in tomato plants ( Lycopersicon esculentum Mill .) inoculated with Clavibacter michiganensis*. 20, 4367–4379.
- Zevallos, D. R. R. (2018). Preliminary qualitative fitochemical study and quantification of flavonoids and tannins of ethanolic ext. *Rev Soc Quím Perú*, 84(2).  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v84n2/a02v84n2.pdf>
- Zhou, Z., & Langrish, T. (2021). A review of Maillard reactions in spray dryers. *Journal of Food Engineering*, 305(December 2020), 110615.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110615>

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados del Contenido de Humedad (%)

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	4.74	4.79	4.63	4.72	0.08
T2	A1B1C2	4.89	4.80	4.84	4.84	0.04
T3	A1B2C1	4.64	4.70	4.65	4.66	0.03
T4	A1B2C2	4.59	4.55	4.50	4.55	0.04
T5	A2B1C1	4.49	4.48	4.47	4.48	0.01
T6	A2B1C2	4.48	4.44	4.54	4.49	0.05
T7	A2B2C1	4.64	4.69	4.54	4.62	0.07
T8	A2B2C2	4.58	4.64	4.75	4.66	0.08

### Anexo 2. Análisis de Varianza para Humedad (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	0.1040	0.1040	30.04	0.000
Concentración	1	0.0006	0.0006	0.17	0.683
Alimentación	1	0.0008	0.0008	0.24	0.634
Interacciones de 2 términos	3	0.1841	0.0613	17.73	0.000
A*B	1	0.1666	0.1666	48.13	0.000
A*C	1	0.0004	0.0004	0.12	0.733
B*C	1	0.0170	0.0170	4.93	0.341
Interacciones de 3 términos	1	0.0266	0.0266	7.70	0.014
A*B*C	1	0.0266	0.0266	7.70	0.014
Error	16	0.0554	0.0034		
Total	23	0.3716			

### Anexo 3. Prueba de Tukey Humedad (%) 4. Prueba DMS Factor A

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	3	4.84	A
T1	3	4.72	A B
T3	3	4.66	B C
T8	3	4.65	B C
T7	3	4.62	B C D
T4	3	4.54	C D
T6	3	4.48	D
T5	3	4.48	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Temperatura	N	Media	Agrupación
a1	12	4.69	A
a2	12	4.56	B

### Anexo

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 5. Resultados de Acidez titulable

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	0.55	0.51	0.51	0.52	0.02
T2	A1B1C2	0.55	0.56	0.57	0.56	0.01
T3	A1B2C1	0.58	0.57	0.57	0.58	0.01
T4	A1B2C2	0.58	0.57	0.58	0.57	0.01
T5	A2B1C1	0.51	0.53	0.52	0.52	0.01
T6	A2B1C2	0.49	0.51	0.51	0.50	0.01
T7	A2B2C1	0.47	0.50	0.49	0.49	0.02
T8	A2B2C2	0.49	0.52	0.51	0.51	0.02

### Anexo 6. Análisis De Varianza para Acidez Titulable

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	0.0175	0.0175	48.39	0.000
Concentración	1	0.0004	0.0004	1.35	0.262
Alimentación	1	0.0000	0.0000	0.11	0.749
Interacciones de 2 términos	3	0.0035	0.0011	3.23	0.050
A*B	1	0.0034	0.0034	9.58	0.007
A*C	1	0.0000	0.0000	0.01	0.913
B*C	1	0.0000	0.0000	0.11	0.749
Interacciones de 3 términos	1	0.0000	0.0000	0.10	0.755
A*B*C	1	0.0000	0.0000	0.10	0.004
Error	16	0.0579	0.0036		
Total	23	0.2739			

### Anexo 7. Prueba de Tukey para Acidez

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3	3	0.58	A
T4	3	0.57	A
T2	3	0.56	A B
T1	3	0.52	B C
T5	3	0.52	C
T8	3	0.50	C
T6	3	0.50	C
T7	3	0.48	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

### Anexo 8. Prueba DMS Factor A

Temperatura	N	Media	Agrupación
a1	12	0.56	A
a2	12	0.50	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 9. Resultados del Contenido de Carotenoides Totales

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	21.68	21.75	21.84	21.76	0.08
T2	A1B1C2	24.42	25.05	25.10	24.86	0.38
T3	A1B2C1	22.13	21.62	22.82	22.19	0.60
T4	A1B2C2	23.94	23.19	23.65	23.60	0.38
T5	A2B1C1	25.76	26.10	26.02	25.96	0.18
T6	A2B1C2	24.90	24.72	24.72	24.78	0.10
T7	A2B2C1	26.74	27.76	26.81	27.10	0.57
T8	A2B2C2	25.98	26.01	26.09	26.03	0.06

### Anexo 10. Análisis de Varianza para Carotenoides Totales

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	78.63	11.23	68.54	0.00
Temperatura	1	52.25	52.25	318.83	0.00
Concentración	1	1.35	1.35	8.25	0.01
Alimentación	1	2.50	2.50	15.29	0.00
Interacciones de 2 términos	3	20.80	6.93	42.31	0.00
A*B	1	4.72	4.72	28.83	0.00
A*C	1	15.48	15.48	94.46	0.00
B*C	1	0.59	0.59	3.63	0.07
Interacciones de 3 términos	1	1.71	1.71	10.47	0.00
A*B*C	1	1.71	1.71	10.47	0.00
Error	16	2.62	0.16		
Total	23	81.25			

### Anexo 11. Prueba de Tukey para Carotenoides

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T7	3	27.10	A
T8	3	26.02	B
T5	3	25.96	B
T2	3	24.85	C
T6	3	24.78	C
T4	3	23.59	D
T3	3	22.19	E
T1	3	21.75	E

Las medias que no comparten una letra son

### Anexo 12. Prueba DMS para Factor A

significativamente diferentes.

Temperatura	N	Media	Agrupación
a2	12	26.05	A
a1	12	23.09	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 13. Prueba DMS para Factor B**

Concentración	N	Media	Agrupación
b2	12	24.81	A
b1	12	24.33	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 14. Prueba DMS para Factor C**

Alimentación	N	Media	Agrupación
c2	12	24.89	A
c1	12	24.25	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 15. Resultados del Contenido de la Capacidad Antioxidante**

Tratamientos	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación Estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	63.10	62.28	62.82	62.73	0.42
T2	A1B1C2	54.62	56.92	56.41	55.98	1.21
T3	A1B2C1	55.36	55.99	54.23	55.19	0.89
T4	A1B2C2	52.33	53.66	53.72	53.24	0.79
T5	A2B1C1	53.85	54.49	54.93	54.42	0.54
T6	A2B1C2	54.98	55.16	56.42	55.52	0.78
T7	A2B2C1	52.18	52.73	52.52	52.48	0.28
T8	A2B2C2	55.26	54.18	55.23	54.89	0.62

**Anexo 16. Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	205.12	29.30	53.11	0.00
Temperatura	1	36.25	36.25	65.71	0.00
Concentración	1	62.02	62.02	112.40	0.00
Alimentación	1	10.12	10.12	18.35	0.00
Interacciones de 2 términos	3	92.20	30.73	55.70	0.00
A*B	1	22.27	22.27	40.37	0.00
A*C	1	55.96	55.96	101.42	0.00
B*C	1	13.97	13.97	25.32	0.00
Interacciones de 3 términos	1	4.51	4.51	8.19	0.01
A*B*C	1	4.51	4.51	8.19	0.01
Error	16	8.82	0.55		
Total	23	213.95			

**Anexo 17.** Prueba de Tukey para Capacidad Antioxidante

**Anexo 18.** Prueba DMS para Factor A

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T1	3	62.73	A
T2	3	55.98	B
T6	3	55.52	B
T3	3	53.19	B C
T8	3	54.89	B C
T5	3	54.42	B C D
T4	3	53.23	C D
T7	3	52.47	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

a1	12	55.75	A
a2	12	54.32	B

**Anexo 19.** Prueba DMS para Factor B

Concentración	N	Media	Agrupación
b1	12	57.16	A
b2	12	53.94	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 20.** Prueba DMS para Factor C

Alimentación	N	Media	Agrupación
c1	12	56.20	A
c2	12	54.90	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 21.** Análisis de Varianza para Rendimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1341.17	191.59	4.62	0.005
Lineal	3	827.67	275.88	6.65	0.004
Temperatura	1	486.00	486.00	11.72	0.003
Concentración	1	4.17	4.16	0.10	0.755
Alimentación	1	337.50	337.50	8.14	0.012
Interacciones de 2 términos	3	160.83	53.61	1.29	0.311
A*B	1	10.67	10.66	0.26	0.619
A*C	1	112.67	112.66	2.72	0.119
B*C	1	37.50	37.50	0.90	0.356
Interacciones de 3 términos	1	352.67	352.66	8.51	0.010
A*B*C	1	352.67	352.66	8.51	0.010
Error	16	663.33	41.45		
Total	23	1946.50			

### Anexo 22. Prueba de Tukey para Rendimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T7	3	222.00	A
T6	3	216.67	A B
T1	3	214.00	A B C
T5	3	209.67	A B C
T8	3	208.67	A B C
T3	3	208.33	A B C
T4	3	201.67	B C
T2	3	197.00	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Anexo 23. Prueba DMS para Factor A

Temperatura	N	Media	Agrupación
a2	12	214.25	A
a1	12	205.25	B

### Anexo 25. Prueba Tukey Color

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T1	30	4.66	A
T2	30	4.63	A
T8	30	4.56	A
T3	30	4.43	A
T6	30	4.40	A
T5	30	4.36	A
T7	30	4.26	A
T4	30	4.20	A

### Anexo 27. Prueba Tukey Sabor

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T7	30	3.93	A
T6	30	3.63	A B
T4	30	3.53	A B
T3	30	3.43	A B C
T2	30	3.36	A B C

### Anexo 24. Prueba DMS para Factor C

Alimentación	N	Media	Agrupación
c1	12	213.5	A
c2	12	206.0	B

### Anexo 26. Prueba Tukey Aroma

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3	30	3.80	A
T7	30	3.73	A
T5	30	3.70	A
T2	30	3.70	A
T8	30	3.60	A
T6	30	3.60	A
T4	30	3.60	A
T1	30	3.60	A

T1	30	3.20	B	C
T5	30	3.16	B	C
T8	30	2.90		C

## Anexo 28. Balance de Masa y Energía del Evaporador

### BALANCE DE MASA

Entrada = Salida

$$\dot{m}f = miv + mp \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

v = volumen del jugo de uvilla a evaporar; v = 4l = 0.004 m<sup>3</sup>

t = tiempo de evaporación; t = 70 min = 0.67 h

$\rho$  = densidad del producto de alimentación;  $\rho = 1130 \frac{kg}{m^3}$

$$\dot{m}f = \frac{\rho v}{t} = \frac{1130 \frac{kg}{m^3} * 0.004 m^3}{0.67 h} = 6.74 \frac{kg}{h} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Cálculo de entalpías:

$$(50 \text{ kPa}) \quad Hvs = 2645.75 \frac{kJ}{kg}$$

$$Hcs = 340.15 \frac{kJ}{kg}$$

$$(60.5^\circ\text{C}) \quad Hv = 2610.47 \frac{kJ}{kg}$$

Calores específicos:

$$C_{pf} = 0.84 + 3.34(0.86); \quad C_{pf} = 3.71 \frac{kJ}{kg^\circ\text{C}}$$

$$C_{pp} = 0.84 + 3.34(0.70); \quad C_{pf} = 3.17 \frac{kJ}{kg^\circ\text{C}}$$

Entalpía de sólidos:

$$Hf = C_{pf} (Tf - To) = 3.71 \frac{kJ}{kg^\circ\text{C}} (40 - 0)^\circ\text{C} = 148.4 \frac{kJ}{kg}$$

$$Hp = C_{pp} (T_1 - To) = 3.17 \frac{kJ}{kg^\circ\text{C}} (60.5 - 0)^\circ\text{C} = 191.79 \frac{kJ}{kg}$$

Cálculo del flujo másico del concentrado:

$$\dot{m}fxf = \dot{m}pxp$$

$$\dot{m}p = \frac{\dot{m}fxf}{xp} = \frac{6.74 \frac{kg}{h} * 0.14}{0.30} = 3.14 \frac{kg}{h}$$

Cálculo del flujo másico del evaporador

$$\dot{m}f = \dot{m}v + \dot{m}p \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$\dot{m}v = 6.74 \frac{kg}{h} - 3.14 \frac{kg}{h} = 3.60 \frac{kg}{h}$$

## BALANCE DE ENERGÍA

Cálculo del flujo másico del vapor:

$$\dot{m}_s H_{vs} + \dot{m}_f H_f = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_s H_{cs} + \dot{m}_p H_p \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{m}_p H_p + \dot{m}_v H_v - \dot{m}_f H_f}{H_{vs} - H_{cs}}$$

$$\dot{m}_s = \frac{3.60 \frac{kg}{h} * 2610.4 \frac{kJ}{kg} + 3.14 \frac{kg}{h} * 257.56 \frac{kJ}{kg} - 6.74 \frac{kg}{h} * 148.4 \frac{kJ}{kg}}{2645.75 \frac{kJ}{kg} - 340.15 \frac{kJ}{kg}} = 3.91 \frac{kg}{h}$$

Economía de vapor:

$$Ev = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s} = \frac{3.60 \text{ kg}}{3.91 \text{ h}} = 0,92 \quad (\text{Ecuación 17})$$

Pérdidas en el evaporador:

$$q = \dot{m}_s (H_{vs} - H_{cs}); = 3.91 \frac{kg}{h} (2645.75 - 340.15) \frac{kJ}{kg}$$

$$q = 9014.89 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Ecuación 18})$$

**Anexo 29.** Balance de Masa y Energía del Atomizador

## BALANCE DE MASA

Entrada = Salida

$$\dot{m}aWa_1 + \dot{m}fw_f = \dot{m}aWa_2 + \dot{m}pw_p \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

**Flujo másico del aire**

$$ma = \frac{muvilla * (w_f - w_p) * (Cpw * \Delta T_p + hfg)}{t * ns * Cpa * \Delta Ta}$$

Donde:

$muvilla$  = Masa de uvilla a secar

$muvilla = \rho uvilla * vuvilla$

$muvilla = 1130 \frac{kg}{m^3} * 0,0005m^3$ ;  **$muvilla = 0.57kg$**

$w_f - w_p$  = Humedad inicial y final de la uvilla

$t$  = Tiempo de secado

Partiendo del flujo de alimentación de 22.5 ml/min cuando se atomiza 750 ml de jugo de uvilla concentrado = **0.58 h**

$Cpw$  = Calor específico del vapor de agua

$\Delta T_p$  = Cambio de temperatura de la uvilla en el secador

$T_f = 34 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_p$  = Temperatura de secado (cámara) = Diferencia de temperatura media logarítmica (MLDT)

$$MLDT = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} \quad \text{(Ecuación 21)}$$

Dónde:

$\Delta T_{max}$  = Diferencia entre la gota y el aire de entrada

$\Delta T_{min}$  = Diferencia de temperatura entre la gota y el aire de salida

Reemplazando datos en la ecuación 21:

$$MLDT = \frac{(140 - 34) - (70 - 34)}{\ln\left(\frac{140 - 34}{70 - 34}\right)};$$

$$MLDT = T_p = 65.42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$hfg$  = Entalpía de vapor de agua

$Cpa$  = Calor específico del aire atmosférico

$\Delta T_a$  = Cambio de temperatura del aire del secador

$$\Delta T_a = (T_{a1} - T_{a2}); \Delta T_a = (140 \text{ }^\circ\text{C} - 70 \text{ }^\circ\text{C}); \Delta T_a = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dónde:

$T_{a1}$  = Temperatura de entrada a la cámara de secado

$T_{a2}$  = Temperatura de salida a la cámara de secado

$n_s$  = Eficiencia térmica global

$$n_{global} = \left[ \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \right] * 100\%; n_{global} = \left[ \frac{140 - 70}{140 - 0} \right] * 100\%;$$

$$n_{global} = 50\%$$

Reemplazamos los datos en la Ecuación 19, tenemos:

$$\dot{m}_a = \frac{0.57 \text{ kg} * (4.48 - 0.025) \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.s}} * (1.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * 31.42 \text{ K} + 2372 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{0.58 \text{ h} * 0.5 * 1.010 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * 70 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m}_a = 123.006 \frac{\text{kg d.a}}{\text{h}}$$

**Humedad absoluta del aire que entra a la cámara de secado** (Tabla psicrométrica)

$T_a = 34 \text{ }^\circ\text{C}$

b) RH% = 25%

$$W_{a1} = 0,0104 \frac{\text{kg}_2\text{O}}{\text{kg d.a}}$$

**Flujo másico de alimentación**

$$\dot{m}_f = \frac{\rho v}{t}; \dot{m}_p = \frac{1130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0005 \text{ m}^3}{0.58 \text{ h}}; \dot{m}_f = 0,97 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

**Flujo másico del producto seco**

$$\dot{m}_p = \frac{\rho v}{t}; \dot{m}_p = \frac{570 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0001 \text{ m}^3}{0.58 \text{ h}}$$

$$\dot{m}_p = 0,098 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

**Humedad del producto de alimentación y seco**

$$w_f = 4.48 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

$$w_p = 0,025 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 19, tenemos:

$$W_{a2} = \frac{mpwp - maW_{a1} + mfW_f}{ma}$$

$$W_{a2} = 0.098 \frac{kg}{h} * 0,025 \frac{kg H_2O}{kg d.a} - 123.006 \frac{kg d.a}{h} * 0.0104 \frac{kg H_2O}{kg s.s} + 0.97 \frac{kg}{h} * 4.48 \frac{kg H_2O}{kg s.s}$$

$$W_{a2} = 0,0249 \frac{kg H_2O}{kg d.a}$$

### BALANCE DE ENERGÍA

$$\dot{m}fH_f + \dot{m}aH_{a1} = \dot{m}pH_p + \dot{m}aH_{a2} + Q_L \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\text{Entalpía del aire (Ha)} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$H_{a1} = Cpa_1(T_{a1} - T_o) + W_1\lambda$$

$$H_{a2} = Cpa_2(T_{a2} - T_o) + W_2\lambda \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

Calor específico del aire de entrada

$$Cpa_1 = 1.005 + 1.88W_{a1}; Cpa_1 = 1.005 + 1.88 \left( 0.0104 \frac{kg H_2O}{kg a.s} \right)$$

$$Cpa_1 = 1.02 \frac{KJ}{Kg * K}$$

Calor específico del aire de salida

$$Cpa_2 = 1.005 + 1.88W_{a2}; Cpa_2 = 1.005 + 1.88 \left( 0.0249 \frac{kg H_2O}{kg a.s} \right)$$

$$Cpa_2 = 1.05 \frac{KJ}{Kg * K}$$

Calor latente del aire y producto

$$I(17.65^\circ C) = 2459.44 \frac{KJ}{Kg}$$

$$I(65.42^\circ C) = 2346.24 \frac{KJ}{Kg}$$



Los valores se obtienen de la interpolación y de la resta de Hv y Hc

Reemplazamos los datos en Ecuación 23

$$Ha_1 = 1.02 \frac{KJ}{Kg * K} (140 - 0) K + 0.0104 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s} * 2459.44 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Ha_1 = 167.39 \frac{KJ}{Kg}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 24

$$Ha_2 = 1.05 \frac{KJ}{Kg * K} (70 - 0) K + 0.0249 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s} * 2346.24 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Ha_2 = 131.92 \frac{KJ}{Kg}$$

### Entalpía del producto de alimentación y en polvo

(Ecuación 25)

$$H_f = Cp_f(T_f - T_o) + w_f Cp_w(Tp_1 - T_o)$$

(Ecuación 26)

$$H_p = Cp_p(T_p - T_o) + w_p Cp_w(Tp_2 - T_o)$$

Donde:

Calor específico del producto.

$$Cp_f = 0.837 + 3.349Xw_1; Cp_f = 0.837 + 3.349(0.056)$$

$$Cp_f = 1.02 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$$

$$Cp_p = 0.837 + 3.349Xw_2; Cp_p = 0.837 + 3.349(0.46)$$

$$Cp_p = 2.37 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$$

Calor específico del agua

$$Cp_w = 4.18 \frac{kJ}{kg H_2O * ^\circ C}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 25

$$H_f = 1.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} (34 - 0)^\circ\text{C} + 4.48 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{Kg s.s}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg H}_2\text{O} * ^\circ\text{C}} (34 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_f = 671.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 26

$$H_p = 2.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} (65.42 - 0)^\circ\text{C} + 0.025 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{Kg s.s}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg H}_2\text{O} * ^\circ\text{C}} (65.42 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_p = 161.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 22

$$Q_L = mfhf + maHa1 - mpHp - maHa2$$

$$Q_L = 0,098 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 671.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 112.00 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 167.39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0,97 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 161.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 123.00 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 131.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_L = 2430.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**Cálculo de eficiencia global:**

$$n_{global} = \left[ \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_o} \right] * 100\%$$

$$n_{global} = \left[ \frac{140 - 70}{140 - 0} \right] * 100\%$$

$$n_{global} = 50\%$$

**Anexo 30. Propiedades del Vapor Saturado**

Temp., $T$ °C	Pres. sat., $P_{sat}$ kPa	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, $kJ/kg$			Entalpía, $kJ/kg$			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líquido sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líquido sat., $u_f$	Evaporación, $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líquido sat., $h_f$	Evaporación, $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líquido sat., $s_f$	Evaporación, $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265

Fuente: (Singh & Heldman, 2014)

**Anexo 31. Ficha de Evaluación de Aceptabilidad Sensorial**



**ANÁLISIS SENSORIAL DEL POLVO SOLUBLE DE UVILLA**



<p><b>INSTRUCCIONES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Para la apreciación de cada una de las muestras, tómesese el tiempo necesario.</li> <li>-La evaluación será en base a la escala indicada.</li> <li>-Tomar en cuenta la codificación de cada una de las muestras.</li> <li>-Antes de evaluar cada muestra beber agua, para evitar que haya combinación con las muestras anteriormente ingeridas.</li> <li>-Para la puntuación coloque el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra.</li> </ul>
-----------------------------	---

**UNIVERSIDAD  
TECNICA  
DEL NORTE**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

Género; Hombre \_\_\_\_\_ Mujer \_\_\_\_\_ Edad; \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Escala de evaluación para las variables de color, aroma y sabor;

Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

<b>VARIABLES</b>	<b>MUESTRAS</b>
------------------	-----------------

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Color</b>								
<b>Aroma</b>								
<b>Sabor</b>								

**PRUEBA DE ACEPTABILIDAD**

De acuerdo con la escala anteriormente presentada, calificar cada muestra según su criterio de aceptabilidad,

MUESTRAS							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

**Anexo 32. Registro Fotográfico del Análisis Físicoquímicos**

**Humedad**



**Acidez**



**Anexo 33. Registro Fotográfico de la Catación del Polvo Soluble de Uvilla**



