



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS**

**AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE  
SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD  
ANTIOXIDANTE DEL BABACO *Carica pentagona H*”.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AGROINDUSTRIAL**

**Autora: MARTÍNEZ POZO VALERIA FERNANDA**

**Director: 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**

**“EVALUACIÓN DEL FECTO DE LOS PARÁMETROS DE  
SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD  
ANTIOXIDANTE DEL BABACO *Carica pentagona H.*”.**

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**

Ing. Holguer Pineda Flores, MBA.

**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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	040179516-6		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Martínez Pozo Valeria Fernanda		
<b>DIRECCIÓN</b>	Bolívar - Carchi		
<b>EMAIL</b>	vfmartinezp@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0969624755

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO</b>	“Evaluación del efecto de los parámetros de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del babaco <i>Carica pentagona H</i> ”.
<b>AUTOR</b>	Martínez Pozo Valeria Fernanda
<b>FECHA</b>	9/11/2022
<b>PROGRAMA</b>	( X ) <b>PREGRADO</b> ( ) <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	Ingeniera Agroindustrial.
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Luis Manosalvas,MSc.

## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 9 días del mes de noviembre de 2022

Autora:



Martínez Pozo Valeria Fernanda

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por la Srta. Martínez Pozo Valeria Fernanda, con cédula de ciudadanía 040179516-6, bajo mi supervisión.



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

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero agradezco a Dios, por colmarme de bendiciones permitirme culminar una etapa muy importante en mi vida.*

*A mis padres por guiarme hacia el camino de la superación. Así mismo agradezco a mis hermanas por ser mi apoyo incondicional en cada momento.*

*A la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería Agroindustrial por abrirme sus puertas y permitirme la oportunidad de formarme a nivel profesional y personal.*

*Expreso mi más profundo agradecimiento al Ing. Armando Manosalvas, director de Tesis, cuya acertada orientación ha hecho posible cristalizar y culminar con éxito este trabajo. De igual manera, a mis estimados asesores Ing Holguer Pineda e Ing. Nicolás Pinto por sus conocimientos compartidos para culminar con éxito esta investigación.*

*También agradezco de a mi amiga y compañera Yeseenia Chancosi ya que gracias al equipo formado se culminó esta meta anhelada.*

## **DEDICATORIA**

*A Dios por la oportunidad que me ha dado de vivir y fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante esta etapa de formación académica que concluye con este trabajo.*

*De manera especial a mis amados padres Milton y Norma quienes me han enseñado el sentido de la perseverancia, responsabilidad, respeto y me han sabido instruir, guiar y apoyar hacia mi realización personal los amo.*

*A ustedes hermanas Gabriela y Anita por su cariño, compañía y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, las quiero mucho.*

*Valeria Martínez*

## CONTENIDO

Índice de tablas.....	i
Índice de figuras.....	ii
Índice de anexos.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Capítulo i.....	1
Introducción.....	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos: general y específico.....	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. Hipótesis nula.....	4
1.4.2. Hipótesis alternativa.....	4
Capítulo II.....	5
Marco teórico.....	5
2.1. Babaco.....	5
2.1.1. Generalidades.....	5
2.1.2. Origen.....	6
2.1.3. Taxonomía.....	6
2.1.4. Características morfológicas.....	6

2.1.5.	Características del fruto.....	7
2.1.6.	Características fisiológicas.....	7
2.1.7.	Composición nutricional del Babaco .....	9
2.1.8.	Variedades de Babaco .....	10
2.1.9.	Producción de Babaco en Ecuador.....	10
2.1.9.1.	Localización de la producción .....	11
2.2.	Compuestos bioactivos y propiedades funcionales del Babaco .....	11
2.2.1.	Carotenoides.....	12
2.2.1.1.	Degradación de los carotenoides.....	12
2.2.2.	Actividad antioxidante .....	13
2.3.	Microencapsulación.....	14
2.3.1.	Agentes encapsulantes .....	14
2.3.1.1.	Maltodextrinas.....	16
2.3.1.2.	Goma arábica .....	16
2.3.2.	Técnicas de microencapsulación.....	17
2.4.	Secado.....	18
2.4.1.	Secado por atomización .....	18
2.4.2.	Etapas del proceso de secado por atomización .....	19
2.4.2.1.	Atomización .....	19
2.4.2.2.	Contacto gota-aire .....	20
2.4.2.3.	Evaporación de la humedad .....	21
2.4.2.4.	Separación del producto.....	21
2.4.3.	Efectos de los parámetros de secado sobre las propiedades físicoquímicas .....	21

2.4.3.1. Temperatura del aire de entrada y salida.....	22
2.4.3.2. Concentración del agente encapsulante .....	22
2.4.3.3. Flujo de alimentación de la muestra.....	23
2.5. Secado por atomización de jugo de frutas.....	24
2.6. Psicrometría.....	24
2.6.1. Propiedades del aire seco .....	25
2.6.1.1. Calor específico del aire seco.....	25
2.6.1.2. Entalpía del aire seco .....	25
2.6.1.3. Temperatura de bulbo seco .....	25
2.6.1.4. Temperatura de bulbo húmedo.....	25
2.6.2. Propiedades del vapor de agua.....	26
2.6.2.1. Calor específico del vapor de agua .....	26
2.6.2.2. Entalpía del vapor de agua .....	26
2.6.3. Propiedades de la mezcla aire-vapor.....	26
2.6.3.1. Humedad relativa .....	26
2.6.3.2. Humedad absoluta.....	26
2.6.3.3. Humedad específica .....	26
2.6.4. Diagrama psicométrico .....	27
2.7. Balance de masa y energía .....	27
2.7.1. Evaporador .....	27
2.7.2. Atomizador.....	30
2.7.3. Rendimiento .....	33
Capítulo III.....	34
Materiales y métodos .....	34

3.1. Caracterización del área de estudio.....	34
3.2. Materiales y equipos .....	34
3.2.1. Caracterización del equipo atomizador .....	36
3.3. Métodos.....	38
3.3.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima .....	38
3.3.2. Evaluación del efecto de los parámetros de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del Babaco.....	38
3.3.2.1. Factores en estudio.....	38
3.3.2.2. Unidad experimental .....	40
3.3.2.3. Análisis estadístico.....	40
3.3.2.4. Variables de respuesta a evaluar .....	41
3.3.3. Determinación de la aceptabilidad sensorial del producto final .....	42
3.4. Manejo específico del experimento.....	42
3.4.1. Diagrama de flujo del proceso experimental.....	42
3.4.2. Descripción del proceso .....	44
3.4.3. Descripción de métodos analíticos.....	50
3.4.3.1. Determinación de humedad.....	50
3.4.3.2. Determinación de acidez titulable (%).....	51
3.4.3.3. Medida de sólidos solubles (°brix).....	52
3.4.4. Determinación de compuestos antioxidantes .....	52
3.4.4.1. Determinación de carotenoides totales.....	53
3.4.4.2. Determinación de actividad antioxidante.....	53
Capítulo IV .....	56
Resultados y discusiones.....	56

4.1. Caracterización fisicoquímica y funcional del Babaco.....	56
4.1.1. Composición fisicoquímica.....	56
4.1.2. Composición funcional .....	58
4.2. Caracterización fisicoquímica y funcional del polvo soluble .....	59
4.2.1. Humedad .....	61
4.2.2. Acidez titulable .....	64
4.2.3. Carotenos totales .....	67
4.2.4. Actividad antioxidante .....	72
4.3. Evaluación sensorial del producto en polvo.....	76
4.3.1. Color.....	77
4.3.2. Aroma.....	79
4.3.3. Sabor .....	81
4.3.4. Aceptabilidad .....	82
4.5. Rendimiento .....	84
4.6. Balance de masa energía y rendimiento.....	88
4.6.1. Evaporación.....	88
4.6.2. Atomización .....	90
Capítulo v .....	93
Conclusiones y recomendaciones .....	93
5.1. Conclusiones .....	93
5.2. Recomendaciones.....	94
Bibliografía .....	95

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del Babaco.....	6
<b>Tabla 2.</b> Índice de madurez del Babaco en relación a sólidos solubles y acidez titulable.....	8
<b>Tabla 3.</b> Contenido nutricional del Babaco.....	9
<b>Tabla 4.</b> Variedades de Babaco en Ecuador.....	10
<b>Tabla 5.</b> Características de algunos materiales de recubrimiento .....	15
<b>Tabla 6.</b> Caracterización climatológica del área de estudio .....	34
<b>Tabla 7.</b> Materiales y Equipos.....	35
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones técnicas del equipo atomizador .....	36
<b>Tabla 9.</b> Variables y métodos aplicados para la caracterización de la pulpa de Babaco .....	38
<b>Tabla 10.</b> Factores en estudio.....	39
<b>Tabla 11.</b> Combinación factorial de tratamientos .....	39
<b>Tabla 12.</b> Combinación Factorial de Tratamientos .....	40
<b>Tabla 13.</b> Esquema del ADEVA (análisis de varianza) .....	41
<b>Tabla 14.</b> Variables y métodos a evaluarse en el producto final.....	41
<b>Tabla 15.</b> Características fisicoquímicas de la materia prima.....	56
<b>Tabla 16.</b> Características funcionales del Babaco.....	58
<b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza de las propiedades fisicoquímicas y funcionales en el polvo soluble.....	60
<b>Tabla 18.</b> Análisis fisicoquímicos y funcional del polvo soluble de Babaco.....	76
<b>Tabla 19.</b> Análisis de tukey de las propiedades sensoriales del producto en polvo rehidratado.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Planta de Babaco. ....	5
<b>Figura 2.</b> Grados de madurez del Babaco. ....	8
<b>Figura 3.</b> Encapsulación de un material activo mediante secado por atomización ....	17
<b>Figura 4.</b> Etapas del proceso de secado por atomización.....	19
<b>Figura 5.</b> Tipos de flujo: flujo Co-corriente, Contracorriente y Flujo mixto .....	20
<b>Figura 6.</b> Esquema de un evaporador de simple efecto.....	27
<b>Figura 7.</b> Esquema de un sistema de secado por atomización .....	30
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo soluble de Babaco	43
<b>Figura 9.</b> Recepción de la materia prima .....	44
<b>Figura 10.</b> Selección y clasificación del Babaco.....	44
<b>Figura 11.</b> Pesado de la fruta.....	45
<b>Figura 12.</b> Lavado y desinfección de la fruta.....	45
<b>Figura 13.</b> Pelado manual del Babaco.....	46
<b>Figura 14.</b> Extracción del jugo de la fruta.....	46
<b>Figura 15.</b> Concentración del jugo de Babaco .....	47
<b>Figura 16.</b> Incorporación de los agentes en el concentrado de Babaco .....	47
<b>Figura 17.</b> Atomizado de la disolución .....	48
<b>Figura 18.</b> Pesado del polvo soluble obtenido .....	48
<b>Figura 19.</b> Empacado del polvo soluble.....	49
<b>Figura 20.</b> Almacenado del polvo soluble .....	49
<b>Figura 21.</b> Determinación de humedad .....	50
<b>Figura 22.</b> Determinación de acidez titulable .....	51
<b>Figura 23.</b> Determinación de sólidos solubles .....	52
<b>Figura 24.</b> Contenido de humedad (%) de los tratamientos .....	61
<b>Figura 25.</b> Factores e interacciones que influyen sobre el contenido de humedad....	62
<b>Figura 26.</b> Efecto de los parámetros en el contenido de humedad.....	63
<b>Figura 27.</b> % de Acidez titulable de los tratamientos .....	65
<b>Figura 28.</b> Factores e interacción que influyen sobre acidez titulable .....	66

<b>Figura 29.</b> Efecto de los parámetros sobre la acidez.....	66
<b>Figura 30.</b> Contenido de carotenos totales en cada uno de los tratamientos.....	68
<b>Figura 31.</b> Factores e interacción que influyen sobre los carotenos. ....	68
<b>Figura 32.</b> Efecto de los parámetros sobre el contenido de carotenos totales.....	69
<b>Figura 33.</b> Variación de la capacidad antioxidante de los tratamientos planteados...	72
<b>Figura 34.</b> Factores e interacciones que influyen sobre la actividad antioxidante.....	73
<b>Figura 35.</b> Efecto de los parámetros sobre la capacidad antioxidante .....	74
<b>Figura 36.</b> Perfil sensorial sobre los tratamientos .....	77
<b>Figura 37.</b> Puntuaciones del atributo color de la bebida de Babaco .....	78
<b>Figura 38.</b> Puntuaciones del atributo aroma de la bebida de Babaco .....	79
<b>Figura 39.</b> Puntuaciones del atributo sabor de la bebida de Babaco.....	81
<b>Figura 40.</b> Puntuaciones de la aceptabilidad de la bebida de Babaco.....	83
<b>Figura 41.</b> Rendimiento en % del polvo soluble de babaco.....	85
<b>Figura 42.</b> Factores e interacciones que influyen en el rendimiento del producto en polvo.....	85
<b>Figura 43.</b> Efecto de los parámetros sobre el rendimiento del producto en polvo.....	86
<b>Figura 44.</b> Balance de masa y energía de un evaporador de simple efecto.....	88
<b>Figura 45.</b> Balance de masa y energía del proceso de secado por atomizació.....	90

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultados de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del polvo soluble. ....	108
<b>Anexo 2.</b> Resultados de la prueba de diferencia significativa Tukey .....	110
<b>Anexo 3.</b> Pruebas DMS.....	112
<b>Anexo 4.</b> Ficha de evaluación sensorial.....	114
<b>Anexo 5.</b> Análisis de aceptabilidad sensorial .....	114
<b>Anexo 6.</b> Determinación de la densidad relativa .....	115
<b>Anexo 7.</b> Formulas secado por atomización .....	116
<b>Anexo 8.</b> Diagrama psicométrico .....	117

## RESUMEN

El Babaco *Carica pentagona H*, es una fruta exótica con apreciadas características organolépticas y propiedades nutricionales, como: la vitamina A, C y E, además es una fuente de antioxidantes debido a la presencia de carotenoides. Sin embargo, estos compuestos son altamente susceptibles a condiciones de procesamiento, temperatura, luz, pH, humedad y oxígeno. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de los parámetros de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del Babaco. Los factores en estudio a dos niveles fueron: temperatura del aire de secado entrada y salida (165 - 85°C, 145 - 75°C), concentración de agentes encapsulantes (5% GA - 10% MD, 8% GA - 13% MD) y flujo de alimentación (18, 26 ml/min), los cuales presentaron efectos estadísticos altamente significativos sobre las variables de respuesta evaluadas: humedad, acidez titulable, carotenos totales, actividad antioxidante y aceptabilidad sensorial. Por otra parte, los polvos de Babaco con relación a la fruta presentaron buenas características de calidad respecto a las propiedades fisicoquímicas y funcionales. La retención de carotenos totales y actividad antioxidante se debió al uso de los agentes encapsulantes resultando ser eficientes para proteger los biocompuestos evitando su oxidación y degradación térmica. Finalmente, los análisis de la evaluación sensorial presentaron buena aceptación, sin embargo, el polvo reconstituido del tratamiento uno destacó con mayor grado de aceptabilidad aludiendo su producción para diversas aplicaciones alimentarias.

*Palabras claves:* *Carica pentagona H*, parámetros, secado por atomización, agentes encapsulantes, carotenos totales, actividad antioxidante, aceptabilidad sensorial.

## **ABSTRACT**

The Babaco *Carica pentagona* H, is an exotic fruit with appreciated organoleptic characteristics and nutritional properties, such as vitamins A, C, and E, it is also a source of antioxidants due to the presence of carotenoids. However, these compounds are extremely susceptible to processing conditions, temperature, light, pH, moisture, and oxygen. Therefore, the present work aimed to evaluate the effect of spray-drying parameters on the antioxidant activity of Babaco. The factors under study at two levels were: inlet and outlet drying air temperature (165 - 85°C, 145 - 75°C), the concentration of encapsulating agents (5% GA - 10 % MD, 8% GA - 13 % MD), and feed flow (18, 26 ml/min), which presented highly significant statistical effects on the response variables evaluated: moisture, titratable acidity, total carotenoids, antioxidant activity, and sensory acceptability. On the other hand, the Babaco powders concerning the fruit presented good quality characteristics regarding the physicochemical and functional properties. The retention of total carotenoids and antioxidant activity was due to the use of encapsulating agents, which proved to be efficient in protecting the biocomposites avoiding their oxidation and thermal degradation. In conclusion, the sensory evaluation analyses presented good acceptance, however, the reconstituted powder of treatment one stood out with a higher degree of acceptability, alluding to its production for various food applications.

**Keywords:** *Carica pentagona*, parameters, spray drying, encapsulating agents, total carotenoids, antioxidant activity, sensory acceptability.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PROBLEMA

El Babaco, es una fruta exótica del de Ecuador, desde el punto de vista tecnológico y económico se constituye como una fruta con muy buenas perspectivas de desarrollo en la agroindustria por presentar apreciadas características organolépticas y cualidades nutricionales. Sin embargo, su alto contenido de agua que le hace susceptible al deterioro por reacciones químicas, microbiológicas y enzimáticas.

Frente a estos antecedentes se hace necesario promover procesos de innovación tecnológica que permitan mantener las propiedades funcionales y sensoriales de esta fruta, además tener una vida útil más prolongada e incrementar su productividad, competitividad y su consumo a largo plazo, mediante el desarrollo de nuevos productos que estimulen y faciliten su comercialización.

Actualmente en la industria alimentaria existe una gran variedad de técnicas de deshidratación de jugo de frutas, siendo el secado por atomización es el método más preferido en la producción comercial de polvo de frutas (Vivek et al., 2021) . Por otra parte, es una técnica económica que a través de una deshidratación rápida permite mantener la calidad del producto. Además, ayuda a reducir costos del transporte y protege al producto de la degradación microbiológica al reducir el contenido de humedad (Tay et al., 2022).

Sin embargo a pesar de la ventajas que presenta el secado por aspersion, numerosos estudios han cuantificado el efecto de los parámetros del proceso en cuanto su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de jugo de frutas, hallando conservación o perdida debido a su termo sensibilidad y termo plasticidad a elevadas temperaturas de secado dificultando la optimización del procesos (Shishir & Chen, 2017).

Por otra parte actualmete no hay infomres sobre el efecto de los parametos del seacado por atomozacion sobre la activiada antioxidante del Babaco.Por tanto, resulta necesario analizar los parámetros adecuados que permitan la optimización del proceso y la conservación de las propiedades de interés funcional asegurando la calidad del producto.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años la tendencia de salud y bienestar ha desencadenado el interés de mantener un estilo de vida saludable, promoviendo en la industria alimentaria el desarrollo de alimentos funcionales y la mejora de tecnología de procesamientos (Sobulska & Zbicinski, 2021).

Estudios realizados sobre los compuestos bioactivos de las frutas, los han asociado fuertemente en prevenir o tratar ciertas enfermedades no transmisibles, como cáncer, diabetes, cataratas, hipertensión, obesidad, enfermedades cardiovasculares, además poseen una función protectora frente a enfermedades neurodegenerativa y otras enfermedades relacionadas con el envejecimiento (Rivas et al., 2020).

En el Ecuador el Babaco es una fruta exótica, reconocida por sus cualidades organolépticas y nutricionales entre las que se destaca su contenido de vitamina A, C y E y en menor proporción contiene otras vitaminas del grupo B, como B6. Además, es una fuente de antioxidantes debido a la presencia de carotenoides.

La tendencia de una nutrición saludable promueve en la industria alimentaria el desarrollo de alimentos funcionales y la innovación tecnológica en el procesamiento de alimentos como el secado por atomización (Sobulska & Zbicinski, 2021). La técnica del secado por aspersión en comparación con otras técnicas es considerado superior para preservar las cualidades funcionales más representativas de las frutas, además permite obtener polvos de calidad con mayor facilidad para empacar, transportar y con mayor vida útil (Sasikumfile et al., 2020).

Es así que la microencapsulación por atomización se presenta como una alternativa para conservar y mantener las características funcionales más representativas de la pulpa de Babaco. Sin embargo, las propiedades fisicoquímicas de los polvos obtenidos mediante la técnica de secado por atomización dependen de algunas variables de proceso.

En este contexto la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los parámetros del proceso de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del Babaco. Por lo que resulta necesario identificar las condiciones óptimas de secado que permitirán resguardar los componentes de interés funcional asegurando su calidad. Además, resulta de gran interés el hecho de poder comprender y cuantificar la influencia que ejercen las variables aplicadas en la cinética de secado en las propiedades finales del material resultante.

### **1.3. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO**

#### **1.3.1. GENERAL**

Evaluar el efecto de los parámetros de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del Babaco *Carica pentagona.H.*

#### **1.3.2. ESPECÍFICOS**

- Determinar la actividad antioxidante de la materia prima.
- Evaluar el efecto de los parámetros de secado: temperatura de secado, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación sobre la actividad antioxidante del polvo soluble.
- Determinar la aceptabilidad sensorial del polvo soluble en los diferentes tratamientos.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. HIPÓTESIS NULA**

**Ho:** La temperatura de secado, la concentración de encapsulantes y el flujo de alimentación aplicados en el proceso de secado por atomización, no influyen sobre la actividad antioxidante del polvo soluble.

### **1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

**Ha:** La temperatura de secado, la concentración de encapsulantes y el flujo de alimentación aplicados en el proceso de secado por atomización, influyen sobre la actividad antioxidante del polvo soluble.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. BABACO

##### 2.1.1. GENERALIDADES

El Babaco es una fruta exótica del Ecuador, muy apreciada por los consumidores por su exquisita fragancia, agradable sabor de su pulpa, es jugoso y ligeramente ácido. Además, es considerado de óptimas características para la exportación por presentar ausencia de semillas y una cutícula delgada. (Robles et al., 2016).

El Babaco a parte de sus cualidades organolépticas, posee propiedades nutricionales como vitaminas A, C y E. Además, presenta una sustancia (papaína) que ayuda en la digestión específicamente al desdoblamiento de la proteína animal (Aldaz, 2017).

El especial sabor del Babaco hace que pueda ser consumido en fresco solo o combinado en ensaladas, como también en la preparación de deliciosos jugos, helados, yogures, mermeladas y jaleas; además resulta ser un excelente complemento en diversos platos. Por otra parte, puede procesarse para obtener concentrados, pulpas y conservas (Auquiñivin & Paucar, 2020).



Figura 1. Planta de Babaco.

### 2.1.2. ORIGEN

Según varios autores el Babaco tiene su origen en la región Central-Sur del Ecuador. De acuerdo con la clasificación más reciente realizada por Badillo (2001), el Babaco es un híbrido natural procedente del cruce entre las especies *Carica stipulata* y *Carica pubescens*, comúnmente conocidos toronche y chamburo (Robles et al., 2016).

### 2.1.3. TAXONOMÍA

**Tabla 1.** Taxonomía del Babaco

Taxonomía	
Reino	Plantae
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledonae
Orden	Parienales
Familia	Caricáceae
Genero	Vasconcellea
Especies	heilbornii

Fuente: (Simbaña, 2018)

### 2.1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Las raíces del Babaco presentan una consistencia carnosa, generalmente no alcanzan mucha profundidad (1m o menos), las raíces secundarias alcanzan de 40 - 60 cm, su sistema radicular es sensible a las enfermedades.

El tallo cilíndrico es de color verde cuando la planta es joven, cuando esta es adulta el tallo toma una tonalidad gris, el interior del tallo es fibroso y esponjoso, dependiendo de la edad de la planta puede alcanzar alturas entre 2-3 m o más, además puede llegar a medir entre 30-40 cm de diámetro basal. Las hojas se encuentran incrustadas en el

tronco de manera alterna, presentando entre cinco y seis lóbulos; nervaduras marcada, peciolo largo. Su color verde puede cambiar de tonalidad dependiendo de la fase de desarrollo.

Las flores aparecen en las axilas de las hojas, presentan forma acampada, con pétalos de color blancos, amarillentos y verdosos, su sépalo es de color verde oscuro. Las flores de Babaco son exclusivamente femeninas por tanto no presentan anteras y filamentos. Por no poseer semillas, la propagación del Babaco se realiza de forma asexual y se hace utilizando partes de plantas como brotes tiernos estacas o por injertos (Suarez, 2015).

#### **2.1.5. CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO**

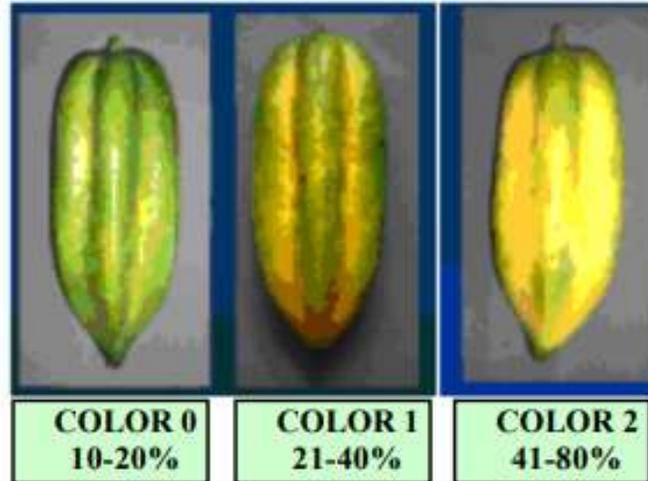
El fruto está definido como una papaya sin semillas, para su desarrollo no necesita polinización debido a que proviene de una flor unisexual, es alargado provista de una punta, tiene cinco caras y cinco aristas razón por la cual presenta una apariencia pentagonal, su pulpa presenta de 1 a 2 cm de espesor, en su interior hay una cavidad de consistencia mucilaginosa que corresponde al espacio que deberían ocupar las semillas.

Los frutos pueden alcanzar dimensiones mayores a los 30 cm de largo, pueden llegar a tener de 10 a 15 cm de diámetro, pesa alrededor de un kilo, pero dependiendo de la nutrición y manejo en el cultivo puede alcanzar de 400 gramos hasta dos o más kilos (Matamorros, 2018).

La fruta es de color verde oscuro cuando está en crecimiento, pero cerca a la maduración presenta listas amarillas definiendo su grado de cosecha, en la madurez toma el color totalmente amarillo; la pulpa es acuosa, rica en jugo de sabor agradable, es de color crema, presenta un aroma especial característico de la fruta y un bajo grado de azúcares y calorías (Suarez, 2015).

#### **2.1.6. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS**

El Babaco es considerado un fruto climatérico que continúa su proceso de maduración, después de la cosecha aumentando su tasa respiratoria y producción de etileno (Coro, 2017).



**Figura 2.** Grados de madurez del Babaco.

Fuente: NTE INEN 1998 (2005)

El índice de madurez del Babaco se clasifica de la siguiente manera:

- COLOR 0 (verde): Fruto que va del 10% al 20% de color amarillo.
- COLOR 1 (pinton): Fruto que va del 21 al 40% de color amarillo.
- COLOR 2 (madura): Fruto que va del 41 al 80% de color amarillo.

Por otra parte el índice de madurez está relacionado con el contenido de sólidos solubles y acidez titulables.

**Tabla 2.** Índice de madurez del Babaco en relación a sólidos solubles y acidez titulable

Fruta	Color	Valor	0 (verde)	1 (pintón)	2 (maduro)
Babaco	Sólidos solubles	Grados °Brix	< 5	5 - 6	> 6
	Acidez titulable	Ácido Málico	< 0,40	0,40 – 0,50	> 0,50

Fuente: NTE INEN 1998 (2005)

### 2.1.7. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL BABACO

Cada 100 g de porción comestible de la fruta en promedio contiene la siguiente proporción:

**Tabla 3.** Contenido nutricional del Babaco

<b>Componentes</b>	<b>Contenido</b>	<b>Valores diarios recomendados (Basados en una dieta de 2000 calorías)</b>
Agua	95 (g)	-
Fibra alimentaria	1,10 (g)	25 g
Lípidos	0,10-0,20 (g)	-
Potasio	165(mg)	3500 g
Proteínas	0,74 – 0,95 (g)	-
Sales minerales	0,50 – 0,70 (g)	-
Calcio	13(mg)	162 mg
Calorías	8 (mg)	-
Caroteno	0,09 (mg)	-
Fosforo	7 (mg)	125 mg
Hiero	0,30 (mg)	18 mg
Niacina	0,50 (mg)	20 mg
Riboflavina	0,02(mg)	1,7 mg
Sodio	1(mg)	2400 mg
Tianina	0,03 (mg)	-
Vitamina A	27 (mg)	5000 IU
Vitamina B1	0,02 (mg)	-
Vitamina B2	0,02 (mg)	-

Vitamina B6	0,03 (mg)	2 mg
Vitamina C	31 (mg)	60 mg
Vitamina E	0,47 (mg)	-

Fuente: (Matamorros, 2018)

### 2.1.8. VARIEDADES DE BABACO

En el Ecuador hasta el momento se han descrito entre 15 a 21 variedades y más de la mitad de estas se encuentran en la provincia de Loja (Robles et al., 2016). En la Tabla 4, se prestan algunas variedades de las cuales en el Ecuador solo la variedad pentágona (Heilborn) conocida como babaco es cultivada a nivel comercial.

**Tabla 4.** Variedades de Babaco en Ecuador

Variedades	
V. candicans (A. Gray) A.DC	V. cundinamarcensis V.M. Badillo, V. microcarpa (Jacq) A.DC
V. microcarpa (Jacq) A.DC	V. monoica (Desf.) V. M. Badillo
V. pasiflora A.DC	V. stipulata (V.M.Badillo)
V.weberbaueri (Harms) V.M. Badillo	V. x heilbornii (V.M. Badillo)
Vasconcellea x heilbornii V. M. Badillo	V. pentagona (Heilborn)

Fuente: (Coro, 2017)

### 2.1.9. PRODUCCIÓN DE BABACO EN ECUADOR

Ecuador debido a sus condiciones climáticas y agroecológicas es un país productor de una gran variedad cultivos agrícolas entre ellos el Babaco. En el país existen más de 180 hectáreas de cultivo de esta fruta en campo abierto y bajo condiciones de invernadero con una densidad de plantación de 5500 a 8000 plantas por hectárea.

Por hectárea el fruto puede tener un rendimiento promedio de 200 a 500 toneladas (Matamorros, 2018). A nivel nacional, Tungurahua ocupa el primer lugar con el 60 % de la producción con 1841 toneladas por año.

#### ***2.1.9.1. Localización de la producción***

El cultivo del babaco en Ecuador, se localiza principalmente en provincias de la sierra, las principales provincias son: Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Azuay y Loja.

En la actualidad, mediante el empleo de invernaderos se puede encontrar cultivos de Babaco en zonas de mayor altura y de alta precipitación. Esto se debe que el sistema de invernadero permiten tener un mayor control en plagas y enfermedades, permitiendo obtener frutos de buena calidad y un apreciable incremento en la producción (Coro, 2017).

## **2.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL BABACO**

Actualmente, las frutas y verduras se consideran de gran interés por su aporte de compuestos nutritivos y propiedades funcionales, los cuales tiene un efecto beneficios para la salud ya que ayudan a prevenir algunas enfermedades crónicas y degenerativas.

El Babaco es una fruta considerada como una fuente de antioxidantes debido a su contenido de vitaminas A, C y E, alto contenido de calcio, hierro potasio y magnesio, siendo considerado ideal para el sistema nervioso. Por otra parte, contiene niveles mínimos de calorías, azúcar y sodio y cero colesterol. Presenta un alto contenido en papaína que ayuda al desdoblamiento de la proteína animal, ayudando a proteger el sistema digestivo (Suarez, 2015).

Por otra parte es considerado una fuente de antioxidantes debido a la presencia de carotenoides (violaxantina, caricaxantina, criptoxantina,  $\beta$  carotenos y  $\gamma$  carotenos) siendo estos los que le otorgan el color característico a la fruta como también ayudan a contrarrestar infecciones y el estrés oxidativo (Duchitanga, 2018). Igualmente,

contiene niveles mínimos de calorías, azúcar y sodio y cero colesterol. Presenta un alto contenido en papaína que ayuda al desdoblamiento de la proteína animal, ayudando a proteger el sistema digestivo (Suarez, 2015).

### **2.2.1. CAROTENOIDES**

Los carotenoides son compuestos tetraterpenoides, presentan una estructura molecular de 40 carbonos, estudios han demostrado que su estructura es mantenida por múltiples dobles enlaces conjugados. Por otra parte, estos compuestos son difíciles de disolver en agua y susceptibles para el calor luz y oxígeno (Zhang & Li, 2020).

Asimismo, los carotenoides son pigmentos naturales y fuente de pro vitamina A ( $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina), los cuales se encuentran presentes en alimentos de origen vegetal (Eun et al., 2020). Además presentan beneficios para la salud, como actividades antioxidantes; sin embargo las personas no pueden sintetizarlos por lo que resulta necesario obtenerlos a través de alimentos vegetales (Wang et al., 2022).

Varios estudios han señalado que la ingesta de carotenoides juega un papel importante en la prevención y curación de diferentes enfermedades, incluido el cáncer, enfermedades degenerativas, cardiovasculares y degeneración muscular (Song et al., 2017).

#### ***2.2.1.1. Degradación de los carotenoides***

Los carotenoides son compuestos altamente susceptibles a reacciones de isomerización como consecuencia a la susceptibilidad química. Durante su almacenamiento y procesamiento varios factores son responsables de su degradación, exposición a altas temperaturas, la luz y el oxígeno (Eun et al., 2020).

Los tratamientos térmicos presentan efectos positivos y negativos sobre los carotenoides, esto se debe a que promueven su oxidación, pero también aumentan su biodisponibilidad. El calor siempre induce la isomerización causando la formación de compuestos de degradación como isómeros *cis*, epóxidos, productos de cadena corta

y, en algunos casos, compuestos volátiles, por lo que se recomienda trabajar a bajas temperaturas con mínimos periodos de tiempos (Arguedas et al., 2015).

Asimismo, gran parte de la bioactividad de los carotenoides puede perderse debido a la transformación de todos los isómeros- trans en isómeros -cis (Song et al., 2017). El grado de degradación depende mucho del tipo de vegetal o fruta, las condiciones de procesamiento tiempo y temperatura (Arguedas et al., 2015).

Como resultado de acciones térmicas, enzimáticas o biológicas los carotenoides pueden producir norisoprenoides ( $\beta$ -ionona,  $\beta$ -damascenona y 3-hidroxi- $\beta$ -damascona), que presentan potentes propiedades aromáticas y contribuyen al sabor de los alimentos (Ningrum et al., 2015).

Frente a lo anteriormente mencionado la retención de los carotenoides es un problema durante el almacenamiento y procesamiento. Por lo que, resulta necesario identificar las mejores condiciones de microencapsulación por atomización para su conservación.

### **2.2.2. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

La actividad antioxidante es el potencial de una sustancia para dificultar la degradación oxidativa de un sustrato. La cuantificación de la capacidad antioxidante de los alimentos y sus productos presenta gran interés para valorar la calidad de un alimento y la cantidad de antioxidantes presentes. (Londoño, 2015).

Por tanto, resulta necesario identificar los términos “actividad antioxidante” y “capacidad antioxidante”, ya que tienen diferente significado: la primera ocupa de la cinética de una reacción entre un antioxidante y el radical que reduce o elimina. Mientras que la segunda, mide la eficiencia de transformación termodinámica de una sonda oxidante al reaccionar con un antioxidante (Lewoyehu & Amare, 2019).

Los métodos mayormente utilizados para la determinación de la actividad antioxidante son: (ABTS) capacidad antioxidante equivalente de Trolox, DPPH, siendo estos métodos de decoloración y (FRAP) poder antioxidante reductor férrico método de coloración.

El método ABTS incluye una amplia gama de compuestos, estos pueden ser hidrofílicos o lipofílicos. En contraste el método DPPH es más estable en comparación al método ABTS, sin embargo, este método se ha empleado mayormente debido a la variedad de compuestos con los que reacciona (Stafussa et al., 2018). Por su parte el método FRAP, presenta un aumento en la absorbancia a una longitud de onda pre señalada a medida que el antioxidante reacciona con el reactivo (Lewoyehu & Amare, 2019).

### **2.3. MICROENCAPSULACIÓN**

La microencapsulación es una técnica ampliamente aplicada en la industria alimentaria, permitiendo la preservación de compuestos activos altamente inestables a condiciones ambientales (oxígeno, luz, humedad, temperatura). La encapsulación puede considerarse una forma especial de empacar materiales sólidos, líquidos y gaseosos divididos en pequeñas partículas. Desde el punto industrial se pueden microencapsular vitaminas, aceites esenciales, sabores, antioxidantes, polifenoles, nutrientes, pigmentos y enzimas (Furuta & Neoh, 2021).

Los principales propósitos de la microencapsulación en la industria alimentaria son: 1) proteger el compuesto activo de condiciones ambientales indeseables reduciendo su degradación y prolongando su vida útil, 2) controlar la liberación del compuesto activo, 3) facilitar la manipulación del ingrediente activo gracias a la protección que brinda la matriz polimérica, 4) enmascarar sabores u olores indeseables del principio activo, 5) retener ingredientes volátiles, así como, 6) brindar mejores condiciones de almacenamiento al prevenir reacciones degradantes como deshidratación y oxidación; cualidades importantes para calificar la calidad del producto (Dadi et al., 2019; Vásquez et al., 2022).

#### **2.3.1. AGENTES ENCAPSULANTES**

Se definen como aquellos ingredientes que se pueden utilizar para dar cierta estructura a las microcapsulas. Por otra parte, con el fin de evitar dificultades que se pueden presentar durante el secado por atomización de jugos ricos en azúcar, se ha hecho

necesario la incorporación de aditivos como maltodextrina, goma arábica u otros agentes aplicando cantidades adecuadas que no excedan los límites operativos del equipo ya que podría aumentar la viscosidad, afectando negativamente el rendimiento o alteran el sabor (Jimenez-Sánchez et al., 2020).

Para la eficiencia del proceso y la estabilidad de la microcápsula es de gran importancia la apropiada elección del agente encapsulante, estos deben cumplir características como: solubilidad, propiedades emulsionantes, buena formación de película, no ser tóxicos, biodegradable, cristalinidad, y propiedades de barrera para brindar protección al ingrediente activo contra el medio ambiente (humedad, luz, oxígeno, calor), además deben ser aprobados para su uso en productos alimenticios (Marques et al., 2021).

**Tabla 5.** Características de algunos materiales de recubrimiento

<b>Material de recubrimiento</b>	<b>Características de interés</b>
Maltodextrina	Alta solubilidad en agua, formador de película, baja viscosidad.
Almidón modificado	Muy buen emulsionante
Goma arábica	Emulsionante, formador de película, alta temperatura de transición vítrea, alta solubilidad en agua.
Gelatina	Formador de película, emulsionante
Ciclo dextrina	Emulsionante, alta solubilidad en agua, adecuado para la encapsulación de sabores.
Inulina	Formador de pared a bajas temperaturas de secado.
Proteína de leche	Buen emulsionante, formador de película

**Fuente:** (Saldanha et al., 2021)

Entre los agentes encapsulantes utilizados frecuentemente en el secado por atomización se encuentran las maltodextrinas, goma arábica y los almidones, su uso se debe a que

presentan un alto peso molecular, en el material a secar ayudan a alcanzar una alta temperatura de transición vítrea (Tg), minimizan la pegajosidad superficial de los compuestos durante el proceso y mejoran las propiedades del producto final (Shishir & Chen, 2017).

#### ***2.3.1.1. Maltodextrinas***

Las maltodextrinas son un subgrupo de los carbohidratos, se obtienen por hidrólisis ácida o enzimática del almidón de maíz, se encuentran disponibles como polvos blancos, generalmente se clasifican de acuerdo al nivel equivalente de dextrosa (ED). Al momento de elegir un agente encapsulante, la maltodextrina es una opción viable por su bajo costo y efectividad; es altamente soluble en agua, presenta baja viscosidad, inodoras, incoloras, permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Saldanha et al., 2021).

La principal desventaja de la maltodextrina radica en la dificultad de formar la emulsión y la baja retención de compuestos aromáticos. Sin embargo, presenta la formación de una buena película, brindando protección contra la oxidación del ingrediente activo. Además, permite aumentar la temperatura de transición vítrea y reduce los problemas de adherencia y aglomeración del producto, mejorando su estabilidad durante el almacenamiento (Saldanha et al., 2021).

#### ***2.3.1.2. Goma Arábica***

Es un polisacárido natural exudado de la acacia, comúnmente es utilizada como un eficaz agente encapsulante, debido a su funcionalidad coloidal protectora y por sus características como: buena capacidad emulsionante, baja viscosidad en soluciones acuosas, buena eficiencia y solubilidad, forma una película protectora para sabores, colores y vitaminas, registrando una buena retención de compuestos volátiles. Por otra parte, presenta un costo elevado y disponibilidad limitada (Velásquez et al., 2018).

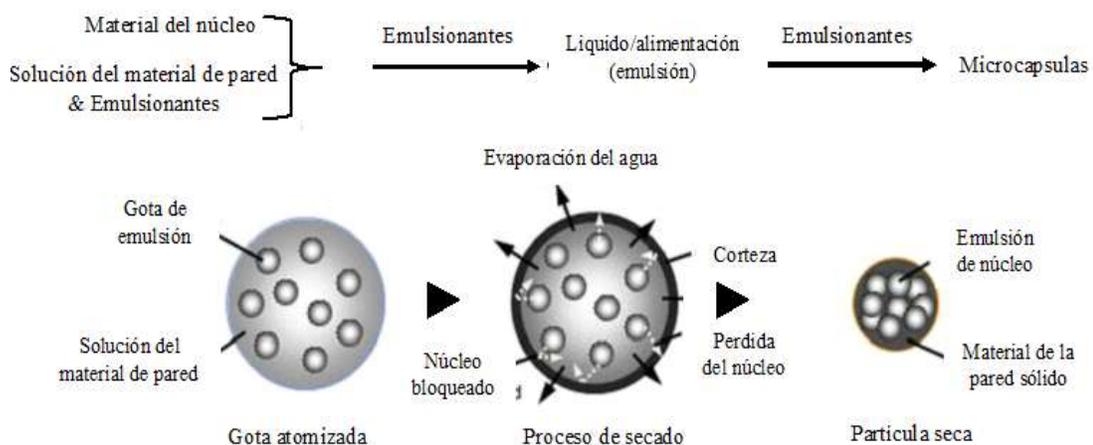
Asimismo, la goma arábica como agente encapsulantes es de 3 a 4 veces más estable que la maltodextrina, puede utilizarse en combinación con otros materiales aumentando

su eficiencia y estabilidad en la encapsulación (Eun et al., 2020).

De lo anteriormente descrito, se puede concluir que la maltodextrina y la goma arábica se pueden utilizar en forma combinada como materiales de encapsulación en el proceso de secado por aspersión, con el fin de proteger los compuesto bioactivos presentes en los alimentos, así como también, estos agentes ayudan a reducir problemas de pegajosidad del producto en las paredes de la cámara de secado al incrementar la temperatura de transición vítrea.

### 2.3.2. TÉCNICAS DE MICROENCAPSULACIÓN

Con el fin de alcanzar los objetivos de la microencapsulación, resulta necesario conocer sus diferentes técnicas, entre las más utilizadas se encuentra el secado por congelación, secado por aspersión, coacervación y extrusión (Vásquez et al., 2022).



**Figura 3.** Encapsulación de un material activo mediante secado por atomización

Fuente: (Furuta & Neoh, 2021)

La formación de las microcápsulas implica la homogenización de los materiales del núcleo (compuestos bioactivos) y los materiales de pared (polisacáridos y proteínas) creando una pared que actúa como barrera física para proteger al compuesto activo. La emulsión (material de alimentación - agentes encapsulantes), se someterá a la atomización en la cámara de secado obteniendo la preservación de ingredientes activos (Cardona et al., 2021).

Las partículas obtenidas se denominan microcápsulas, la mayoría son pequeñas esferas con diámetros que oscilan entre micrones y milímetros, su tamaño y forma depende de los materiales y métodos aplicados para prepararlas (Dadi et al., 2019).

## **2.4. SECADO**

Los alimentos frescos como frutas, verduras, granos, son ricos en agua, característica que los hace susceptibles a la degradación microbiológica. Por tanto el secado es una importante técnica muy viable que permite conservar y prolongar la vida útil de alimentos a través de la reducción del contenido de humedad por debajo de un valor crítico suprimiendo actividades de microorganismos y enzimas (Lihui et al., 2021).

### **2.4.1. SECADO POR ATOMIZACIÓN**

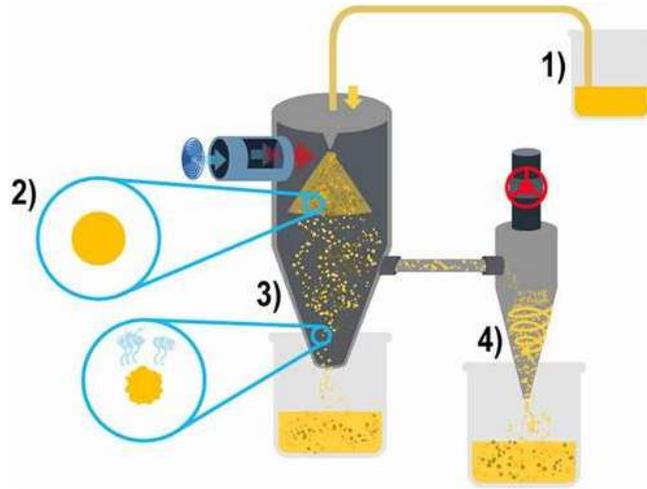
El secado por atomización es una operación unitaria continua donde una solución líquida, es atomizada dentro de una cámara de secado con una corriente de aire caliente formando gotas muy finas que por secado posterior se obtendrá partículas de polvo seco (Tay et al., 2022).

El secado por atomización es una de las técnicas más empleada en la industria alimentaria debido a la amplia disponibilidad de equipos en el mercado, costos bajos de operación, altas tasas de producción, amplia variedad de materiales encapsulantes, presenta una eficiencia de encapsulación entre el 10 al 90%, se obtiene polvos con baja actividad de agua, facilitando su transporte y almacenamiento, además facilita su manejo (Rivas et al., 2020).

Por otra parte, a pesar que esta técnica utiliza temperaturas de secado relativamente altas, la temperatura de las gotas del líquido atomizado durante el secado permanece en un nivel medio, debido al efecto de enfriamiento de la evaporación. Este hecho, en combinación con un tiempo de secado relativamente corto, permite la degradación limitada de productos termolábiles. Sin embargo, con el propósito de reducir la degradación y mejorar la calidad del producto final se debe ajustar cuidadosamente los parámetros de secado dependiendo de cada material (Yafari & Samborska, 2021).

## 2.4.2. ETAPAS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Para que un producto líquido se transforme en polvo, aplicando la técnica de secado por atomización este debe pasar por cuatro etapas de operación. En la Figura 4, se presenta un esquema de las etapas de operación durante el proceso.



**Figura 4.** Etapas del proceso de secado por atomización

Fuente:(Vásquez et al., 2022)

### 2.4.2.1. Atomización

Es la operación más importante del proceso de secado, consiste en la dispersión de una solución por medio de la energía suministrada, transformándola en pequeñas gotas dentro de un rango de tamaños.

El tipo de atomizador determina la energía requerida para formar el aerosol, la distribución de tamaño de las gotas, su trayectoria y velocidad, así como el tamaño de partícula final. La adecuada selección del atomizador depende de la naturaleza, la cantidad de alimentación y de las características deseadas del producto secado (Cal & Sollohub, 2010).

El objetivo de esta etapa es optimizar la transferencia de masa y calor entre el aire seco y el líquido logrando una eficiente evaporación. Por otra parte, cuanto mayor sea la energía suministrada, las gotas formadas serán más finas. Cuando se incrementa la

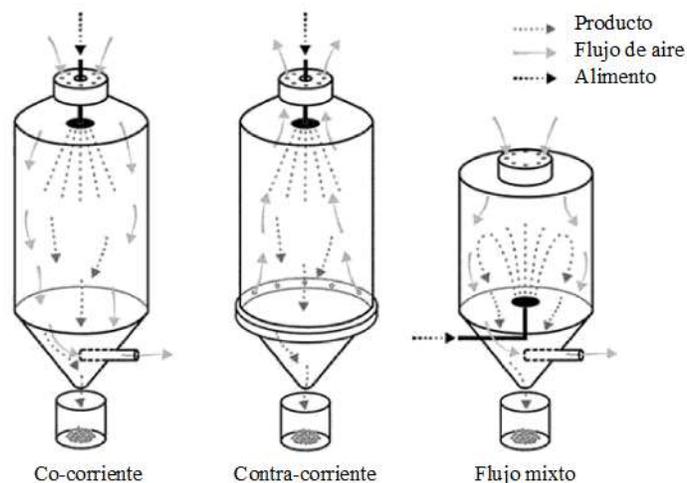
velocidad de alimentación el tamaño de las partículas formadas aumenta. Sin embargo, el tamaño de las partículas depende de las características del material de alimentación como la viscosidad (González et al., 2015).

#### 2.4.2.2. *Contacto gota-aire*

Este proceso tiene lugar en la cámara de secado e inca después de la atomización, cuando la alimentación y el medio de calentamiento entran en contacto iniciando la etapa de secado en tres pasos (Tontul & Topuz, 2017).

- 1) Energía térmica transferida del aire caliente a las gotas, produciendo la evaporación.
- 2) Debido a la evaporación la temperatura del aire decae de forma instantánea.
- 3) El aire enfriado transporta las partículas a lo largo de la cámara de secado

Selvamuthukumar et al. (2019), mencionan que según la dirección del aire de secado, el proceso se puede clasificar en tres:



**Figura 5.**Tipos de flujo: flujo Co-corriente, Contracorriente y Flujo mixto

**Fuente:** (Selvamuthukumar M, 2019)

- 1) Co-corriente, el material es asperjado en la misma dirección del flujo del aire de secado.

- 2) Contra corriente, el material es asperjado en dirección opuesta al flujo de aire de secado.
- 3) Flujo mixto, donde el material atomizado fluye en dirección opuesta como también a favor del aire de secado.

#### ***2.4.2.3. Evaporación de la humedad***

Esta etapa se produce en tres pasos y consiste en la evaporación de la humedad de las gotas (Tontul & Topuz, 2017).

- 1) Después del contacto entre las gotas y el aire, la temperatura de las gotas se pliega.
- 2) La evaporación del agua continua a temperatura y presión parcial de vapor de agua constante.
- 3) Finalmente, después de haberse formado en la superficie de la gota una costra seca, la velocidad de secado disminuye, el proceso de secado se completa cuando la temperatura del aire de secado se iguala a la temperatura de las partículas.

#### ***2.4.2.4. Separación del producto***

La separación del producto se realiza a través de un ciclón colocado fuera de la cámara de secado, permitiendo reducir pérdidas del producto a la atmósfera: la separación del producto se puede realizar primero en la base de la cámara de secado donde son recuperadas las partículas de mayor densidad, seguidamente la recuperación de finos que pasan a través del ciclón para ser separadas del aire húmedo (González et al., 2015).

### **2.4.3. EFECTOS DE LOS PARÁMETROS DE SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

En la investigación realizada por Shishir & Chen (2017), mencionan que la calidad de las propiedades de los productos en polvo depende directamente de las condiciones de secado siendo estas la temperatura del aire de secado entrada y salida, la concentración de la alimentación , el flujo de alimentación , el flujo de aire del compresor, el flujo de

aire de secado, el tipo de atomizador y la velocidad del atomizador.

La adecuada selección de los parámetros de operación para el proceso de secado por resulta ser fundamental para obtener productos de alta calidad a continuación se describen el efecto de los parámetros en estudio.

#### ***2.4.3.1. Temperatura del aire de entrada y salida***

Durante el proceso de secado por aspersión la temperatura de entrada del aire es quizá la variable que más afecta las cualidades fisicoquímicas del producto final, una alta temperatura del aire de entrada provoca una evaporación excesiva del agua permitiendo reducir el contenido de humedad de los polvos solubles de frutas (Pino et al., 2018).

Por tanto durante el proceso es de gran importancia una adecuada elección de la temperatura de secado ya que una temperatura elevada maximiza la velocidad del secado lo que ayuda a mejorar el rendimiento del polvo, pero en ocasiones puede conducir a la formación de costras sobre la superficie del producto haciendo que se dificulte la extracción de la humedad; mientras que una temperatura baja hace que el tiempo de operación aumente considerablemente (Tontul & Topuz, 2017).

La temperatura del aire de entrada (150 - 220°C) y salida (50 - 90°C), puede provocar a la degradación térmica de compuestos sensibles al calor como licopeno,  $\beta$  caroteno, antocianinas y vitamina C resultando afectadas por la degradación oxidativa, además puede afectar las propiedades organolépticas del color y sabor (Shishir & Chen, 2017).

Por otra parte la pérdida de compuestos bioactivos en un proceso de secado por aspersión puede ser debido al aumento de temperatura, esto se debe al despliegue de las proteínas en la interfaz líquido-gas de las pequeñas gotas como también se atribuye el esfuerzo cortante durante la atomización y la boquilla (Schutyser et al., 2019).

#### ***2.4.3.2. Concentración del Agente Encapsulante***

La adición de agentes encapsulantes a la alimentación líquida es uno de los factores más importantes durante el proceso de secado ya que ayudan a reducir problemas de pegajosidad y adherencia a la cámara de secado, aumentando de esta manera el

rendimiento como también la higroscopicidad del producto en polvo. Además su adecuada elección depende de las características fisicoquímicas del material a procesar (Shishir & Chen, 2017).

El incremento de la concentración de encapsulantes ayuda a disminuir el contenido de humedad de los polvos atomizados esto se lo relaciona que al incremento de la tasa de sólidos en la alimentación se reduce la cantidad de agua evaporar (Ghalegi et al., 2021; Pino et al., 2018).

La alimentación que ingresa a la cámara de secado debe estar concentrada y presentar un contenido de solidos entre 30 - 50% para que el proceso sea rápido y eficiente (Rajabi et al., 2015).

#### ***2.4.3.3. Flujo de alimentación de la muestra***

El producto final obtenido mediante secado por atomización, se ve afectado por el flujo de alimentación de la materia liquida debido a la interacción entre la temperatura el flujo de aire caliente y concentración de la solución entrante.

Durante el proceso de secado por tamización resulta importante la adecuada elección del caudal del líquido de alimentación en relación con la temperatura que se utilice en la cámara de secado, debido a que a un mayor caudal del líquido implica un corto tiempo de contacto entre las gotas asperjadas y el flujo de aire entrante, ocasionando una ineficiente transferencia de calor y una baja tasa de evaporación , demás puede provocar que parte de la muestra no se seque y no se haga polvo, quedando el material liquido quede adherido a las paredes de la cama de secado o depositado en la parte inferior (Tontul & Topuz, 2017).

Por otra parte (Caliskan, 2021) señala que un alto flujo de la alimentación liquida provoca un proceso de secado bajo asiendo aumentando la humedad del producto final y un menor consumo de energía. Por lo tanto, es necesario bajar la velocidad del flujo de alimentación e incrementar la temperatura de entrada del aire.

## **2.5. SECADO POR ATOMIZACIÓN DE JUGO DE FRUTAS**

El secado de jugo de frutas por atomización permite mantener la calidad del producto a través de una rápida deshidratación y es un proceso económico. El jugo de frutas en polvo presenta muchas ventajas en cuanto al: envasado, mejor manejo de almacenamiento y transporte, por otra parte en comparación con la fruta fresca el producto en polvo debido a la disminución del contenido de humedad permite tener una alta estabilidad y reducción del deterioro microbiológico permitiendo una vida útil más larga (Shishir & Chen, 2017). En la industria alimentaria, el secado por aspersion es el método más preferido para la producción de comercial de polvos de frutas (Vivek et al., 2021).

Según (Sobulska & Zbicinski, 2021), durante el proceso de secado por aspersion de productos ricos en azúcar y ácidos orgánicos se presentan algunas dificultades como la adherencia de las partículas a la cámara de secado y pegajosidad, esto se debe a su bajo peso molecular y baja temperatura de transición vítrea siendo la de la fructuosa 5°C, glucosa 31°C, sacarosa 62°C, ácido málico 11°C, ácido cítrico 16°C y ácido tartárico 21°C.

Frente a lo anteriormente mencionado para evitar dichos problemas se hace necesario la adición de un agente portador como es el caso de la maltodextrina y goma arábica las cuales ayudaran a aumentar la temperatura de transición vítrea y proporciona en el polvo una mayor solubilidad y menor higroscopicidad (Sobulska & Zbicinski, 2021).

## **2.6. PSICROMETRÍA**

La psicrometría abarca la determinación de las propiedades termodinámicas de la mezcla aire y vapor de agua, siendo estas de gran importancia en el secado de alimentos debido al papel que desempeñan en la remoción de la humedad (Singh & Heldman, 2014)

En un proceso de secado resulta necesario el hecho de determinar y calcular las propiedades termodinámicas ya que estas pueden afectar de manera directa el resultado

final del proceso, resultando aquí la importancia de las terminologías, lo cual permite analizar los valores de la mezcla aire - vapor de agua.

## **2.6.1. PROPIEDADES DEL AIRE SECO**

### ***2.6.1.1. Calor específico del aire seco***

Es el calor necesario que se debe suministrar al aire para aumentar su temperatura. El calor específico del aire a 1 atm puede ser utilizado en un rango de temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $60^{\circ}\text{C}$ , con una variación desde 0,997 hasta 1,022kJ/(kg K) (Singh & Heldman, 2014). Comúnmente se puede utilizar el valor medio de (1,005 kJ/(kg K).

### ***2.6.1.2. Entalpia del aire seco***

Es la cantidad de calor del aire seco, en los cálculos psicométricos para su determinación necesita de un punto de referencia siendo este la presión de 1 atmosfera y la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  (Singh & Heldman, 2014). En el (Anexo °N 7), se detalla la ecuación para realizar el cálculo de la entalpia específica.

### ***2.6.1.3. Temperatura de bulbo seco***

Es la temperatura resultante de la medición a través un sensor no modificado. Cuando la terminología es usada sin ningún sufijo, normalmente se sobreentiende que es la temperatura de bulo seco (Singh & Heldman, 2014).

### ***2.6.1.4. Temperatura de bulbo húmedo***

Es la temperatura resultante de la medición con un termómetro cubierto en un material húmedo (pañó húmedo) bulbo. Cuando este es expuesto a una corriente de aire sin saturar se genera la evaporación del agua produciendo un enfriamiento el cual depende de capacidad evaporativa del aire logrando así identificar que tan seco se encuentra el aire (Singh & Heldman, 2014).

## **2.6.2. PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA**

### ***2.6.2.1. Calor específico del vapor de agua***

Se ha identificado que el calor específico tanto del vapor saturado como el sobrecalentado perceptiblemente no varía entre el intervalo de temperaturas de  $-71^{\circ}\text{C}$  -  $-124^{\circ}\text{C}$ , permitiendo generalmente tomar un valor de 1,88 kJ (Singh & Heldman, 2014)

### ***2.6.2.2. Entalpia del vapor de agua***

La entalpia de vapor de agua saturado o sobrecalentado es expresada en (kJ/kg), para su determinación resulta necesario considerar la temperatura ambiente y la temperatura de referencia (Singh & Heldman, 2014). En el (Anexo °N 7), se detalla la ecuación para realizar el cálculo.

## **2.6.3. PROPIEDADES DE LA MEZCLA AIRE - VAPOR**

### ***2.6.3.1. Humedad relativa***

Es la relación entre la cantidad de agua presente en una muestra determinada del aire con respecto a la máxima cantidad de agua que puede contener la misma cantidad de aire saturado en condiciones de bulbo seco del aire (Singh & Heldman, 2014). A través de un diagrama psicométrico se puede determinar su valor expresado en términos de porcentaje.

### ***2.6.3.2. Humedad absoluta***

Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire seco se expresa en (g/m<sup>3</sup>) A través de un diagrama psicométrico se puede determinar su valor.

### ***2.6.3.3. Humedad específica***

El valor de la humedad específica indica la cantidad en peso de vapor de agua contenido en una libra, gramos o kilogramos de aire seco.

## 2.6.4. DIAGRAMA PSICOMÉTRICO

Con el propósito de entender el diagrama psicrométrico y realizar cálculos haciendo uso del diagrama psicrométrico resulta necesario conocer que representan las propiedades y sus respectivos valores. El diagrama psicrométrico permite identificar la relación entre muchas propiedades del aire, si al menos se conoce dos de las propiedades, con el diagrama es posible identificar todas las siguientes En el (Anexo N°7) se adjunta el diagrama psicrométrico.

## 2.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

### 2.7.1. EVAPORADOR

El proceso de evaporación es considerado como una operación unitaria en procesos agroindustriales. Singh & Heldman (2014), señalan que el balance de masa y energía en un sistema de evaporación permite determinar varias variables de operación y diseño. Dichas variables pueden ser el caudal másico, la concentración final del producto y el área del intercambiador de calor como se indica en la Figura 6.

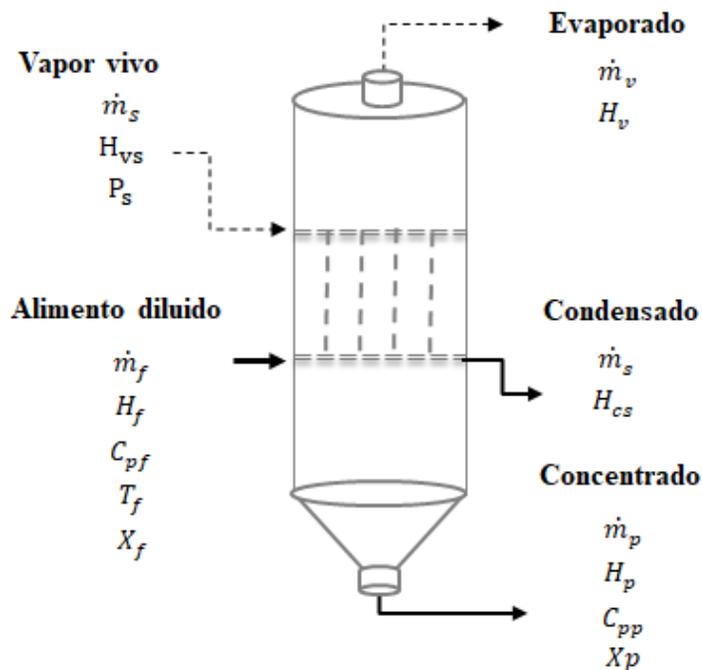


Figura 6. Esquema de un evaporador de simple efecto

• **Balance de masa**

La ecuación (1) y (2), se obtienen realizando un balance de masa en la corriente del flujo de alimentación y del producto concentrado, como también de la concentración de los sólidos.

$$\dot{m}_f = \dot{m}_v + \dot{m}_p \quad (1)$$

**Donde:**

- $\dot{m}_f$  = caudal de alimentación kg/s
- $\dot{m}_p$  = caudal masico del producto concentrado kg/s
- $\dot{m}_v$  = vapor vivo

$$\dot{m}_f * X_f = \dot{m}_p * X_p \quad (2)$$

**Donde:**

- $X_f$  = fracción de sólidos en la alimentacion
- $X_p$  = fracción de sólidos en el producto concentrado

• **Balance de energía**

La ecuación (3) se obtiene a través de un balance de entalpias en el sistema de ecuaciones:

$$\dot{m}_f H_f + \dot{m}_s H_{vs} = \dot{m}_v H_v + \dot{m}_p H_p + \dot{m}_s H_{cs} \quad (3)$$

**Donde:**

- $\dot{m}_s$  =caudal masico de vapor vivo (kg/s)
- $H_f$  =entalpía de la alimentación a la entrada del evaporador (kJ/kg)
- $H_{vs}$  =entalpía del vapor saturado a la temperatura  $T_s$  (kJ/kg)
- $H_v$  = entalpía del vapor saturado a temperatuta  $T_1$  (kJ/kg)

➤  $H_p$  =entalpía del producto a la salida del evaporador (kJ/kg)

➤  $H_{cs}$  =entalpía del líquido condensado (kJ/kg)

El temino  $\dot{m}_f H_f$  reperesnta la entalpia total asociada con los alimentos del líquido diluido,  $H_f$  esta en función a la temperatura del líquido de alimentació  $T_f$  y la fracción de los sólidos  $X_f$  . Su calculo se realiza a traves de la siguiente ecuación.

$$H_f = C_{pf}(T_f - 0^\circ C) \quad (4)$$

El calor específico se calculo mediante lo presentado en el (Anexo °N 7).

Suponiendo que se encuentra en saturacion, el termino  $\dot{m}_s H_{vs}$ , es la cantidad total de calor en el vapor . El valor de la entalpia  $H_{vs}$ , se adquiere de la tabla de vapor como entalpia de vapor saturado a temperatura de saturacion  $T_s$  dentro de la camara de evaporación.

Por otra parte el termino  $\dot{m}_v H_v$ , representa el valor de la entalpia del vapor a la salida procesos de evaporación. En la tabla de vapor se obtiene el valor de  $H_v$ , como entalpia de vapor saturado a temperatura de ebullición  $T_1$  dentro de la cámara de evaporación.

Respecto al termino  $\dot{m}_p H_p$  ,representa la entalpia total del producto concentrado. El valor de  $H_p$  se obtiene mediante el cálculo de siguiente ecuación:

$$\dot{H}_p = C_{pp}(T_1 - 0^\circ C) \quad (5)$$

Donde  $C_{pp}$ , representa el valor del calor específico del producto concentrado. Su calculo se detalla en el (Anexo °N7).

Con relación al termino  $\dot{m}_{vs} H_{cs}$ , representa la entalpia total del condensado que sale del evaporador. El caudal del flujo másico del vapor vivo que ingresa es igual al caudal másico del condensado. Como entalpia del líquido saturado a temperatura  $T_s$ , se obtiene el valor de  $H_{cs}$  ,este valor se obtiene de la tabla de vapor,

En un proceso de evaporación el rendimiento operativo se puede determinar aplicando la fórmula de economía de vapor  $E_v$ . Este es la relación entre la velocidad del flujo

másico de vapor del agua generado a partir del líquido de alimentación por unidad del flujo másico del vapor vivo consumido (Singh & Heldman, 2014). Dicho valor se obtiene a través de la siguiente ecuación.

$$E_v = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s} \quad (6)$$

Para el cálculo de la transferencia de calor, se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \dot{m}_v H_{vs} + \dot{m}_s H_{cs} \quad (7)$$

### 2.7.2. ATOMIZADOR

La técnica del secado por atomización permite transformar un alimento líquido en un polvo seco a través de la aplicación de una corriente de aire caliente. El balance de masa y energía ayuda a determinar la tasa del flujo del aire requerido en el secador por aspersion y la energía necesaria para calentar el aire de entrada (Selvamuthukumaran et al.,2019).

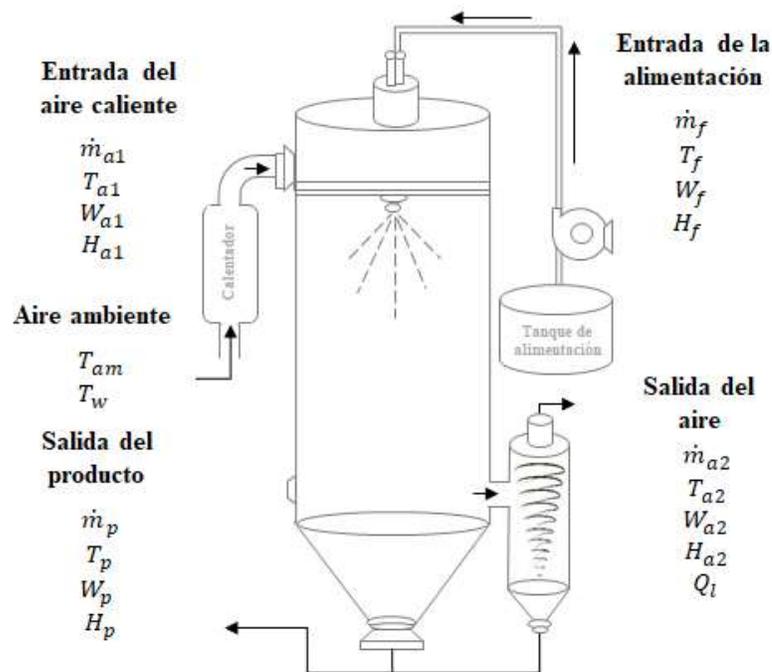


Figura 7. Esquema de un sistema de secado por atomización

En la Figura 7, se muestran las diferentes entradas y salidas de masa y energía en un secador por aspersión, permitiendo así plantear un balance de masa y energía.

- **Balance de masa**

$$\dot{m}_{ss}w_f + \dot{m}_a W_{a1} = \dot{m}_{ss}w_p + \dot{m}_a W_{a2} \quad (8)$$

**Donde:**

- $\dot{m}_{ss}$  = flujo de los sólidos secos (kg/h).
- $\dot{m}_a$  = flujo del aire caliente que ingresa al secador (kg/h).
- $w_f$  = humedad del producto a la entrada en base seca ( $kg\ H_2O/kg\ g_{sólidos}$ ).
- $w_p$  = humedad del producto a la salida en base seca ( $kg\ H_2O/kg\ g_{sólidos}$ ).
- $W_{a1}$  = humedad del aire de secado entrada-salida ( $kg\ H_2O/kg\ g_{aire\ seco}$ ).
- $w_{a2}$  = humedad del aire de secado a la salida ( $kg\ H_2O/kg\ g_{aire\ seco}$ ).

- **Balance de energía**

El balance de energía permite ver los cambios energéticos que se producen en un sistema, ya que es una relación de la energía que entra con la que sale suponiendo condición adiabática  $Q_L$ .

$$\dot{m}_f H_f + \dot{m}_a H_{a1} = \dot{m}_p H_p + \dot{m}_a H_{a2} + Q_L \quad (9)$$

**Donde:**

- $H_f$  = entalpía del producto a la entrada (kJ/kg)
- $H_p$  = entalpía del producto a la salida (kJ/kg)
- $H_{a1}$  = 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)
- La entalpía del aire de secado  $H_a$  se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$H_a = C_s(T_p - T_o) + w\lambda \quad (10)$$

**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:

$$H_p = C_{pp}(T_p - T_o) + wC_{pw}(T_p - T_o) \quad (11)$$

**Donde:**

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

Respecto a la tasa de evaporación  $E_{va}$ , el valor se puede obtener a través de la absorción de humedad por el aire seco utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{va} = \dot{m}_a(W_{a2} - W_{a1}) \quad (9)$$

Con relación a la potencia y energía necesaria para calentar el aire de entrada hasta alcanzar la temperatura del aire de secado requerida se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m}_a C_p \Delta T = \dot{m}_a (C_{pa} + C_v W_{a1})(T_{a1} - T_{bs}) \quad (10)$$

**Donde:**

- $C_p$  = calor específico del aire de entrada a presión constante (kJ/ [kg K])

- $(C_{pa})$  = calor específico del aire seco a la entrada a presión constante (kJ/ [kg K])
- $C_v$  = calor específico del vapor de agua a presión constante (kJ/ [kg K])
- $T_{a1}$  = temperatura del aire de sacado (K)
- $T_{bs}$  = temperatura del aire de entrada (K) Finalmente la eficiencia térmica ( $\eta_{global}$ ), mide el rendimiento de un secado por atomización, por lo que está definida como la fracción del calor total usado en el proceso de atomización, su valor se puede determinar mediante la siguiente ecuación.

$$\eta_{global} = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_b} * 100 \quad (11)$$

**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)

**2.7.3. RENDIMIENTO**

El rendimiento del proceso es considerado un factor importante, ya que un alto rendimiento de proceso permite establecer una relación costo beneficio que determina la viabilidad del secado por aspersion (Kankanit et al., 2018). Tras el proceso de secado por atomización el rendimiento se determinó a partir del peso de polvo obtenido, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Rendimiento(\%) = \frac{P}{PT} * 100 \quad (12)$$

**Donde:**

- $(P)$  = masa del polvo obtenido (g)
- $(PT)$  = masa de la mezcla de alimentación (jugo + agente encapsulaste) (g)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se desarrolló, en el Laboratorio de Bio-Procesos de la carrera de Agroindustrias, las Unidades Edu-productivas de la Universidad Técnica del Norte y en el laboratorio de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), ubicado en el sector Cutuglagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha. En la Tabla 6, se detalla la caracterización del área de estudio.

**Tabla 6.** Caracterización climatológica del área de estudio

Ubicación		
	Unidades Eduproductivas	INIAP
Provincia	Imbabura	Pichincha
Cantón:	Ibarra	Mejía
Parroquia:	El Sagrario	Cutuglagua
Condiciones climatológicas		
Temperatura:	17.7°C	18.0°C
Altitud:	2250 m.s.n.m	3050 m.s.n.m
HR promedio:	73%	76%

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrologuía (INAMHI,2020).

#### 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

El babaco se adquirió en la parroquia Los Andes cantón Bolívar, fue seleccionada en un estado de madurez nivel 2 de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (ITE INEN 1998:2005), concerniente a los requisitos del babaco para su comercialización y

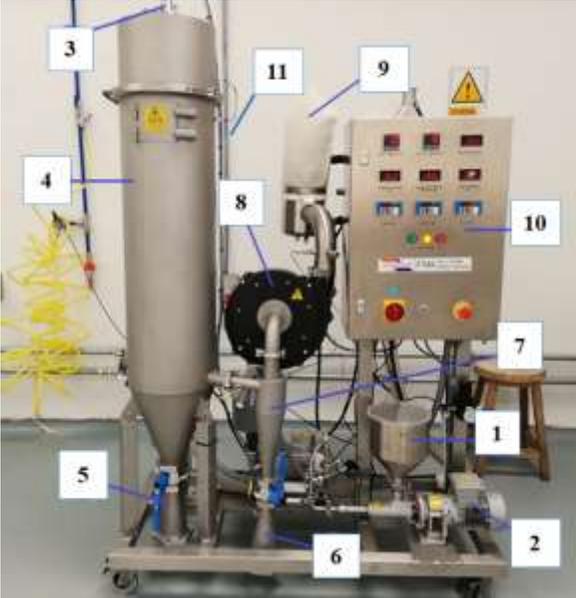
consumo en fresco. Luego fue sometida a una serie de acondicionamientos para llevarla al proceso de atomización.

**Tabla 7.** Materiales y Equipos

<b>Materia prima</b>	<b>Utensilios</b>	<b>Equipos</b>	<b>Insumos / Reactivos</b>
➤ Babaco	➤ Olla de acero inoxidable	➤ Extractor de jugos Oster modelo FPSTJE317R	➤ Maltodextrina
	➤ Cuchillo de acero inoxidable	➤ Refrigeradora	➤ Goma arábica
	➤ Jarra plástica de 1,5 litros	➤ Evaporador de película ascendente ARMFIELD FT22	➤ Hidróxido de Sodio (0,1 N)
	➤ Lienzo textil	➤ Atomizador ARMFIELD FT80	➤ Fenolftaleína (1%)
	➤ Fundas Ziploc	➤ Balanza analítica	➤ Agua destilada
	➤ Papel aluminio	➤ Balanza infrarroja	
		➤ Selladora al vacío Freshpack Pro	
		➤ Refractómetro digital ABBE modelo WYA-2S	
		➤ Estufa de secado modelo LSISB2VE655	

### 3.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO ATOMIZADOR

**Tabla 8.** Especificaciones técnicas del equipo atomizador

Esquema	Especificaciones técnicas	Parámetros
	Calentador de aire eléctrico	4,5 kW
	Temperatura del aire de secado	50 – 250 °C
	Tasas de evaporación	1,5 – 3 L/h
	Flujo de aire (ventiladores de velocidad variable)	Hasta 30 scfm (ft <sup>3</sup> estándar/min)
	Tiempos de residencia en la cámara	Hasta 9 s
	Alimentación líquida (bomba de cavidad progresiva de velocidad variable)	7 L/h
	Boquillas de atomización	2 fluidos
	Tamaño de partícula	20 – 120 micrones

El equipo atomizador es de marca ARMFIELD FT81, en la Tabla 8, se describen las especificaciones técnicas, las mismas que permiten utilizarlo para la preparación de café en polvo, jugo de frutas, leche, entre otros.

El equipo consta de un panel de control (10), donde se establecen las condiciones del proceso de secado como la temperatura de entrada - salida, flujo de alimentación y la velocidad de los ventiladores, además en este se puede monitorear el nivel de la humedad relativa y las presiones de alimentación del ciclón en la cámara de secado (ARMFIELD, 2016).

Antes de iniciar el proceso de secado, se debe establecer la temperatura del aire de secado entrada y salida, una vez estable este parámetro se inicia el proceso de secado depositando la solución a secar en la tolva de alimentación (1), a través de una bomba (2), se impulsa el líquido pasando por un conjunto de tuberías y accesorios, hasta la boquilla atomizadora de dos fluidos (3), con una fina aspersion el producto ingresa a la cámara de secado (4).

El calentador del aire y la cámara de secado proveen la temperatura requerida para calentar la corriente de aire de secado (11), dicha corriente esta forzada por el ventilador permitiendo que el aire caliente circule a través del dispersor distribuyéndose uniformemente alrededor de las gotas asperjadas, provocando la evaporación instantánea de la humedad en relación al tamaño de la gota. Un ventilador centrifugo (8) proporciona control sobre el flujo de aire de entrada logrando una temperatura de entrada constante, un segundo ventilador extra el aire de la cámara de secado pasando por la tubería de interconexión hasta el ciclón donde se separa el polvo del aire.

El aire separado escapa hacia el exterior pasando a través de un filtro de bolsa de cinco micrones (9), donde se retiene un pequeño porcentaje de polvo eliminando a la atmosfera un aire limpio sin necesidad de aplicar un tratamiento adicional. Finalmente se realiza la recolección del producto seco. Existen dos puntos de recolección del polvo atomizado, uno se encuentra en la parte inferior de la cámara de secado (5), y el otro en la parte inferior del separador del ciclón (6). Esto permite que el polvo de diferentes tamaños sea recolectado simultáneamente por separado.

### 3.3. MÉTODOS

#### 3.3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Previo al desarrollo del experimento, se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional en la materia prima, en la Tabla 9, se detallan los análisis y métodos.

**Tabla 9.** Variables y métodos aplicados para la caracterización de la pulpa de Babaco

Características	Análisis	Unidad	Métodos
Físicos	Humedad	%	AOAC Official Methods 925.10
	Sólidos Solubles	(°Brix)	AOAC Official Methods 932.12
	Acidez Titulable	(%)	AOAC Official Methods 950.07
Funcionales	Carotenos Totales	$\mu\text{g } \beta \text{ caroteno/g}$	Espectrofotómetro, (Sze & Indrawati, 2012)
	Actividad Antioxidante	$\mu\text{mol Trolox/g}$	ABTS/Espectrofotómetro (Re et al., 1999)

Los análisis descritos se realizaron con el propósito de estandarizar las muestras de la materia prima. La fruta se clasificó en un estado de madurez nivel dos de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (ITE INEN 2005).

#### 3.3.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL BABACO.

##### 3.3.2.1. Factores en estudio.

En la presente investigación se planteó tres factores de estudio a dos niveles diferentes, cuales se detalla en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Factores en estudio

<b>Factor A</b> <b>Temperatura de entrada y salida</b>	<b>Factor</b> <b>Concentración de encapsulantes</b>	<b>Factor C</b> <b>Flujo de alimentación</b>
A1: 145°C - 75°C	B1: 5%GA + 10%MD	C1: 18 ml/min
A2: 165°C - 85°C	B2: 8%GA + 13%MD	C2: 26 ml/min

Los datos obtenidos en la experimentación permitieron realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo Factorial A x B x C. Las muestras se tomaron aleatoriamente permitiendo evaluar las unidades experimentales.

En la Tabla 11, se describe la estructura del diseño experimental que se llevó a cabo, detallando cada uno de los tratamientos y las combinaciones con los factores de estudio.

**Tabla 11.** Combinación factorial de tratamientos

<b>Tratamientos</b>	<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>	<b>Factor C</b>	<b>Combinaciones</b>
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Encapsulante (%)</b>	<b>Flujo ml/min</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

Con la finalidad de asegurar la interpretación de los datos cada tratamiento se realizó con tres repeticiones, obteniendo un total de 24 unidades experimentales. Los datos obtenidos se expresaron en unidades correspondiente a cada variable evaluada. En la Tabla 12, se presentan las características del experimento.

**Tabla 12.** *Combinación factorial de tratamientos*

Tratamientos	Ocho (8)
Repeticiones	Tres (3)
Unidades experimentales	Veinticuatro (24)

### **3.3.2.2. Unidad experimental**

Cada unidad experimental a evaluar fue de 750 ml entre jugo de babaco concentrado y mezcla de encapsulantes (maltodextrina y goma arábica).

### **3.3.2.3. Análisis estadístico**

El análisis de varianza se realizó para cada una de las variables de respuesta. En el caso determinarse diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5% y en caso de encontrar diferencia significativa entre factores se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%.

Las variables no paramétricas (color, sabor, aroma y aceptabilidad) se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Friedman al 5%.

Para el análisis de los datos obtenidos de forma experimental se aplicó un análisis estadístico (ADEVA), detallado en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Esquema del ADEVA (análisis de varianza)

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	23
tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
Interacción (A x B)	1
Interacción (A x C)	1
Interacción (B x C)	1
Interacción (A x B x C)	1
Error experimental	16

#### 3.3.2.4. Variables de respuesta a evaluar

Las variables evaluadas en el (polvo soluble de babaco) se determinó, según los métodos presentados en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Variables y métodos a evaluarse en el producto final

<b>Características</b>	<b>Análisis</b>	<b>Unidad</b>	<b>Métodos</b>
Físicos químicos	Humedad	%	AOAC Official Methods 925. 10
	Acidez Titulable	(%)	AOAC Official Methods 950.07

	Carotenos totales	$\mu\text{g } \beta$ caroteno/g	INIAP:Espectrofotómetro, (Sze & Indrawati, 2012)
Funcionales	Actividad Antioxidante	$\mu\text{mol Trolox/g}$	INIAP Método ABTS, (Re et al., 1999)

Las variables evaluadas detalladas en Tabla 14, permitieron evaluar el grado de afectación que presentan de los factores como temperatura de secado (Entrada-Salida), concentración de encapsulantes (Maltodextrina/Goma arábica) y flujo de alimentación sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del babaco.

### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD SENSORIAL DEL PRODUCTO FINAL**

El polvo seco por aspersión (5 g) se reconstituyó con 10 ml de agua potable de agua. Las muestras codificadas se sirvieron a un panel de degustación no entrenado de 30 miembros.

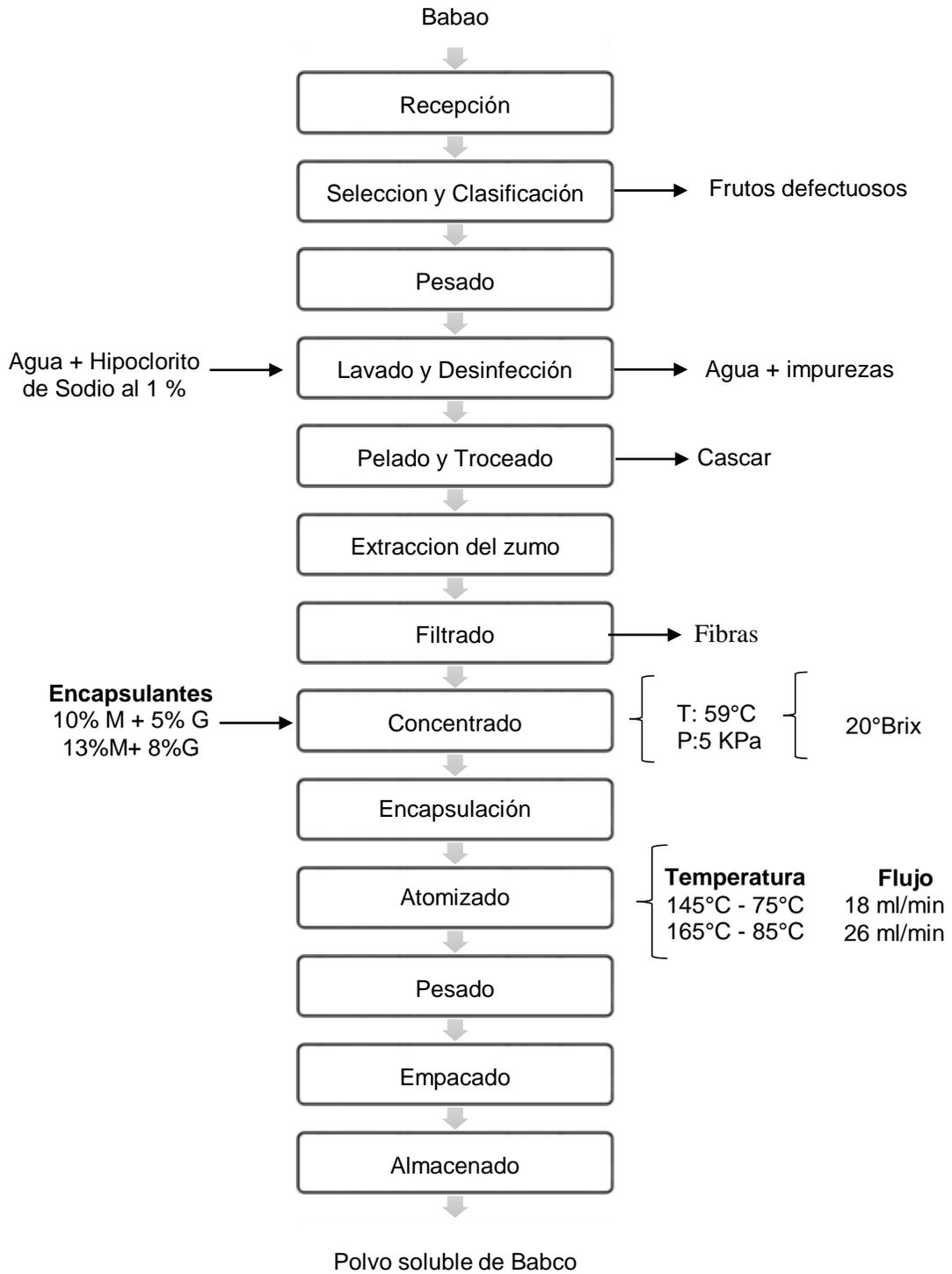
La evaluación se realizó utilizando una planilla con escala hedónica de 5 puntos, que va desde “me disgusta mucho (1)” a “me gusta mucho (5)” (Anexo N° 4), donde los panelistas evaluaron los atributos sensoriales: color, aroma, sabor y aceptabilidad general.

Para el análisis de los datos y determinar cuáles muestras tuvieron mayor grado de aceptabilidad se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman al 5%.

## **3.4. MANEJO ESPECIFICO DEL EXPERIMENTO**

### **3.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO EXPERIMENTA**

En la Figura 8, se detalla el proceso que se aplicó la obtención de polvo soluble de Babaco.



**Figura 8.** Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo soluble de Babaco

### 3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

#### ➤ **Recepción**

El Babaco proveniente de la parroquia Los Andes de la provincia del Carchi, se recepto en cajas de cartón. Además, se revisó que las frutas no presenten daños a causa del transportela. Para que la fruta alcance el estado de madurez requerido fue almacenada en un lugar fresco.



**Figura 9.** Recepción de la materia prima

#### ➤ **Selección y Clasificación**

Se seleccionó los frutos que no presentaran daños y se encuentren en estado de madurez requerido, nivel 2 según lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2005).



**Figura 10.** Selección y clasificación del Babaco

➤ **Pesado**

Con el propósito de determinar la cantidad de materia prima con la que se inicia el proceso, con la ayuda de una balanza se pesó los frutos.



**Figura 11.** Pesado de la fruta

➤ **Lavado y Desinfección**

Con el objetivo de eliminar el polvo adherido y materiales extraños como también reducir la contaminación causada por microorganismos, se lavó los frutos con abundante agua potable y se desinfectó mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1.0% durante 10 minutos. Los Babacos lavados se colocaron a escurrir hasta su posterior proceso.



**Figura 12.** Lavado y desinfección de la fruta

➤ **Pelado y troceado**

Con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable se procedió a realizar el pelado con el mayor cuidado retirando la corteza y semillas del fruto. Una vez pelado los frutos se realizó el troceado con la finalidad de reducir el tamaño y facilitar el proceso de extracción.



**Figura 13.** Pelado manual del Babaco

➤ **Extracción y filtrado del jugo**

Con la ayuda de un extractor de jugos, se realizó la extracción del jugo. El jugo se filtró con un lienzo textil, separando el jugo de partes fibrosas de la pulpa. Esto se lo realizo con el fin de facilitar su concentración y evitar problemas de adherencia en las paredes del evaporador. El jugo clarificado se almaceno en condiciones de refrigeración hasta su posterior uso.



**Figura 14.** Extracción del jumo de la fruta

### ➤ **Concentrado del jugo**

Para elevar la concentración de sólidos solubles del jugo de Babaco, se realizó la concentración en un evaporador de película ascendente FT22 Armfiel. En el equipo se trabajó en condiciones de vacío a temperaturas entre 59°C- 60°C, obteniendo una concentración de 20 °Brix.



**Figura 15.** Concentración del jugo de Babaco

### ➤ **Adición de Encapsulantes**

El proceso de encapsulación se realizó a temperatura ambiente. Se utilizó 745 ml de jugo de Babaco concentrado a 20 °Brix, se le añadió los agentes encapsulantes: goma arábica y maltodextrina a dos proporciones diferentes en relación a cada tratamiento (5% GA-10% MD, 8% GA-13% MD), obteniendo disoluciones promedio entre 32 y 34 °Brix respectivamente.



**Figura 16.** Incorporación de los agentes en el concentrado de Babaco

➤ **Atomizado**

Se utilizó un secador por atomización FT80 Armfield, aplicando aire caliente. En el equipo se estableció la temperatura de entrada y salida del aire, se esperó hasta que el equipo estabilice las temperaturas. Una vez estabilizado se colocó las muestras en la tolva de alimentación. Posterior a ello se estableció la presión del aire de pulverización (2.2 bar) y la velocidad del flujo de alimentación (18 y 26 ml/min), estas condiciones varían según el tratamiento experimental.



**Figura 17.** Atomizado de la disolución

➤ **Pesado**

Después de obtener el polvo de Babaco se procedió a registrar el peso de la muestra para determinar la relación jugo / producto y el rendimiento.



**Figura 18.** Pesado del polvo soluble obtenido

➤ **Empacado**

Las muestras de polvo obtenido se empacaron en fundadas ziploc, se recubrieron con papel aluminio para dar estabilidad al producto frente a factores ambientales y posteriormente se empaco al vacío. Además, las muestras fueron etiquetadas según el tratamiento correspondiente.



**Figura 19.** Empacado del polvo soluble

➤ **Almacenado**

Finalmente, las muestras fueron almacenadas en un desecador con gel sílice hasta su posterior análisis.



**Figura 20.** Almacenado del polvo soluble

### 3.4.3. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS

La caracterización físico química y funcional tanto de la fruta de Babaco como del polvo soluble, se realizó por triplicado según la metodología correspondiente, los resultados obtenidos se presentaron con valores promedio y su desviación estándar.

#### 3.4.3.1. Determinación de humedad

Se realizó mediante el método A.O.A.C.925.10. Esta técnica se basa en el secado de alimentos en estufa a 150°C. Se inició lavando los crisoles con agua destilada, se los seco en una estufa a 105° C por 8 horas, posterior a este tiempo se sacaron los crisoles y se colocaron en un desecador y una vez fríos se registró su peso.

En los crisoles secos se pesó de 1 a 2 gramos de muestra, se llevó a la estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante con intervalos de medida cada dos horas, se sacó los crisoles con la muestra y se colocaron en un desecado, se dejó durante quince minutos. Transcurrido el tiempo establecido se realizó el pesaje del crisol determinando así el porcentaje de humedad.



Figura 21. Determinación de humedad

#### Cálculos:

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{(P_o - P) - (P_f - P)}{(P_o - P)} * 100 \quad (13)$$

**Donde:**

- % H: porcentaje de humedad
- Po: peso del crisol + muestra
- Pf: peso del crisol + muestra seca
- P: peso del crisol vacío (g)

**3.4.3.2. Determinación de acidez titulable (%)**

Se determinó de acuerdo al método descrito por la AOAC 950.07, se determina por neutralización de Na OH 0.1 N y fenolftaleína como indicador. En primer lugar, se tomó 5 g de muestra y se adiciono 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitación, posteriormente se adiciona (3 - 4) gotas de fenolftaleína al 1% como indicador. Se tituló la solución con hidróxido de sodio 0,1 N agitando cuidadosamente hasta el cambio de color a rosa. Los resultados se expresaron en porcentaje (%) de ácido málico.



**Figura 22.** Determinación de acidez titulable

**Cálculos:**

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%Acidez = \frac{V_{ALC}}{V_M} = 0,1x F_{AC}x100 \quad (14)$$

**Donde:**

- $V_{ACL}$  = Volumen de NaOH usado en ml.

- $V_M$  = Volumen de la muestra (jugo) en ml.
- $F_{AC}$  = Factor del ácido málico (0,067).

#### **3.4.3.3. Medida de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix)**

Los sólidos solubles se determinaron utilizando el método refractométrico de acuerdo AOAC 932.12. El primer paso fue su calibrado utilizando agua destilada, obteniendo así el cero de la escala. A continuación, se coloca una pequeña cantidad de muestra líquida en el prisma del refractómetro, dirigimos el refractómetro a una fuente de luz, mediante el regulador ocular graduamos la luz de acuerdo a la necesidad. Posteriormente se observó la lectura donde el valor está ubicado en la escala graduada que se encuentra entre el área clara y el área oscura, el equipo registro automáticamente la lectura de los resultados correspondientes al porcentaje (%) en sacarosa de la muestra y la concentración se expresa en grados  $^{\circ}$ Brix a una temperatura de 20°C.



**Figura 23.** Determinación de sólidos solubles

#### **3.4.4. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES**

Los análisis de las propiedades antioxidantes se realizaron en base a los protocolos establecidos en los laboratorios de la Estación Experimental Santa Catalina (Departamento Nutrición y Calidad) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIAP.

#### 3.4.4.1. Determinación de carotenoides totales

La determinación de carotenoides se realizó en ausencia de luz y oxígeno en base al método presentado por (Sze & Indrawati, 2012). Se inició pesando entre 0.6-1 g de muestra en un Erlenmeyer cubierto con papel aluminio para prevenir el ingreso de luz, para la extracción, se adiciona 50 ml de la solución de extractora (50% Hexano, 25% Etanol, 25 % de Acetona y 01% de Butilhidroxitolueno, BHT; p/v) y 5 g de cloruro de calcio. La mezcla se agito durante 20 minutos en un baño a 4 °C, seguidamente se agrega 15 ml de agua destilada agitar por 10 minutos. La mezcla obtenida se coloca en un embudo de separación obteniéndose una fase acuosa y una fase orgánica, la fase orgánica se afora a 50 ml con solución extractora y se realiza la medición en el espectrofotómetro en una longitud de onda de 450 nm.

El resultado de la absorción se realiza empleando la ecuación 4 para determinar la cantidad de carotenoides en µg de β caroteno/g en base seca. (4)

(15)

$$\text{Carotenoides totales}(\mu\text{g/g}) = \frac{A * V * 10^{-3} \left(\frac{L}{ml}\right) * 536,89 \left(\frac{g}{mol} - g\right) * 10^6}{\epsilon * \left(\frac{L}{mol * cm}\right) * b(cm) * P(g)}$$

#### Donde:

- A: absorbancia
- V: volumen total (ml)
- $\epsilon$ : coeficiente de extracción molar
- b: ancho de celda (1cm)
- p: peso muestra (g)

#### 3.4.4.2. Determinación de la actividad antioxidante

La capacidad antioxidante se analizó según el método: ABTS\*+, en el procedimiento se utilizará el extracto elaborado.

### **Método ABTS+**

Es un método indirecto que permite medir la habilidad del antioxidante para estabilizar el catión radical ABTS. Dicha estabilidad provoca disminución de la absorbancia del catión radical.

El radical catión ABTS\*+ una vez generado por medio de enzimas (peroxidasa, mioglobina) o químicamente (dióxido de manganes, per sulfato de potasio), presenta las características con máximo de absorción a 414, 645, 734, y 815 nm, el que, frente a un agente antioxidante donador de electrones. Este método se basa en la decoloración del radical catión ABTS\*+(color azul-verde) la absorbancia se determina espectrofotométricamente y se expresa como capacidad antioxidante equivalente de Trolox (Re et al., 1999).

### **Preparación de reactivos**

- **Solución Stock de ABTS (7mM).** - Pesar 0.00960g de ABTS, diluir en agua ultrapura y aforar a un volumen de 25 ml. Almacenar la solución a temperatura de 4°C.
- **Solución de Persulfato de Potasio  $K_2S_2O_8$  (2,45mM).** - Pesar 0,01655g de  $K_2S_2O_8$ , diluir en agua ultrapura y aforar a 25 ml. Almacenar la solución a temperatura de 4°C.
- **Solución activa de ABTS\*+.** -Mezclar en proporción 1:1 la solución ABTS (7mM) con la solución de persulfato de potasio (2,5 mM), dejar reposar durante 16 horas. Posteriormente la solución se filtró con papel filtro Whatman 0,4 y envasar en un frasco ámbar. La solución se mantiene estable 24 horas.
- **Solución de Trabajo ABTS\*+.** -En un frasco ámbar diluir la solución activa de ABTS + con buffer fosfato hasta obtener una lectura de absorbancia de  $1,1 \pm 0,01$  a una longitud de onda de 734 nm.

**Preparación de la curva de calibración:**

Para analizar la capacidad antioxidante, en un tubo de ensayo de 15 ml se coloca 200  $\mu\text{L}$  de la muestra, se adiciona 3,8 ml de la solución de trabajo ABSTS\*+. Agitar hasta obtener una solución homogénea y dejarla reposar durante 45 min. La determinación se realiza en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 734 nm. La determinación de la absorción neta de la muestra se obtiene en base a su interpolación en una curva de calibración previamente elaborada con un estándar Trolox de 0 - 800  $\mu\text{M}$  Trolox/L. Los resultados se obtienen en  $\mu\text{M}$  Trolox/g de la muestra seca.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente capítulo se presenta los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica y funcional de la materia prima, como también los resultados en cuanto al efecto de los parámetros del proceso de secado por atomización sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del Babaco (*Carica Pentagona H.*), asimismo, se presentan los resultados en cuanto al análisis de aceptabilidad sensorial del polvo soluble de Babaco.

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL BABACO

Con el propósito de identificar y analizar el efecto de los parámetros aplicados en el proceso de sacado por atomización sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del Babaco, se realizó su caracterización. La fruta fue seleccionada en un estado de madurez nivel dos.

##### 4.1.1. COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA

Previo a realizar el proceso de evaporación y atomización. Se analizó el contenido inicial de las propiedades fisicoquímicas del jugo en el jugo de Babaco. En la Tabla 15, se detallan los resultados.

**Tabla 15.** Características fisicoquímicas de la materia prima

Variable	Unidad	Resultado
Humedad	%	92,17 ± 0,13
Acidez titulable	% de ác. Málico	0,57 ± 0,00
Sólidos solubles	°Brix	6,50 ± 0,10

Por medio de los resultados se identifica que el agua es el principal componente de la pulpa de Babaco representando el 92,17% de humedad, este resultado no cumple con lo especificado en la (ITN INEN 1998:2005) quien establece un rango de humedad entre el 85-90%. Sin embargo, Auquiñivin & Paucar.(2020) obtuvieron un valor superior con una humedad de 94,05%. El incremento del contenido de humedad en las muestras de la frutas se puede atribuir al exceso de humedad relativa en el suelo Jara.(2018).

Con relación a la acidez titulable en base a ácido Málico y de sólidos solubles se obtuvo como resultado 0,57% y 6,50 respectivamente. Los resultados fueron casi similares a los reportados por Auquiñivin & Paucar (2020), quienes en su investigación reportaron una acidez de 0,60 % y 5,57 de sólidos solubles. La variación en cuanto a los valores de solidos solubles y acidez titulable se la relaciona en base al estado de madurez de la fruta. Es decir, a medida que la fruta va madurando se incrementa el contenido de azucares, ácidos orgánicos, sales y compuestos soluble en agua. Así mismo Durante la maduración, se presentan varios cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales que determinan la calidad de la fruta (Kasunmala et al., 2020).

Según (ITN INEN 1998:2005), indica que cuando los frutos de Babaco está completamente amarillo el contenido de solidos solubles es mayor a 6,00 °Brix , considerando que el estado de madurez de la fruta se aprecia visualmente por el color externo de la fruta y por el contenido de solidos solubles. Por otra parte, los frutos con una cantidad  $> 0,50$  % de ácido Málico son considerados como maduros y si presentan valores entre 0,40 y 0,50% de ácido málico, son considerados como frutos pintones.

Con los resultados obtenidos en cuanto a solidos solubles y acidez titulable, se determina que la fruta cumplió con lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana (ITE INEN 1998:2005), concerniente a los requisitos del Babaco para su comercialización y consumo en fresco.

#### 4.1.2. COMPOSICIÓN FUNCIONAL

En la Tabla 16, se presenta los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades funcionales del Babaco.

**Tabla 16.** Características funcionales del Babaco

Variable	Unidad	Resultado
Carotenos Totales	$\mu\text{g } \beta \text{ caroteno/g}$	$14,35 \pm 0,16$
Actividad Antioxidante	$\mu\text{mol Trolox/g}$	$73,52 \pm 0,25$

**Nota:** Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad (Santa Catalina - INIAP).

En cuanto al contenido de carotenos se obtuvo como resultado  $14,35 \mu\text{g } \beta \text{ caroteno/g}$ , en base seca, el resultado obtenido es poco superior al obtenido por Vargas et al.(2021), en pulpa de cocona presentando un valor de  $11,40 \mu\text{g } \beta \text{ caroteno/g}$ . Sin embargo, estos resultados determinan que estas frutas son fuente de este antioxidante. Juscamaita et al.(2017), menciona que la variabilidad del contenido de carotenoides está directamente influenciado por el clima, parte de la planta, estado de madurez, cosecha, pos cosecha, procesamiento almacenamiento como también del tipo de fruta.

En cuanto al contenido de actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS+ se obtuvo como resultado  $73,52 \mu\text{moles Trolox/g}$  en base seca, el resultado obtenido es superior al reportado por Pozo (2021), quien obtuvo  $56,06 \mu\text{moles Trolox/g}$ .

A pesar que en las dos investigaciones se utilizó la fruta en un mismo estado de madurez nivel 2, los resultados presentaron contraste. Esto puede deberse a lo expuesto por Boussaa et al.(2020) quienes mencionan que el perfil antioxidante de los frutos está directamente influenciada por las condiciones ambientales, intensidad de la luz, altitud, temperatura, tipo de suelo, así como, el agua y el estado nutricional siendo estos los factores más influyentes para sintetizar los compuestos bioactivos (Boussaa et al., 2020).

Los resultados obtenidos permiten identificar que el Babaco es una fuente natural en compuestos antioxidantes. Según la base generada a través del análisis infométrico científico internacional sobre la capacidad antioxidante en matrices vegetales el Babaco se encuentra dentro de los 45 frutos recomendados para el consumo humano presenta mayor actividad antioxidante ante el ovo, borojo y mora de casitilla los cuales presentan valores de 46,63, 50,07 y 55,55  $\mu\text{moles Trolox/g}$  (Zurita, 2021).

Según Beltrán et al.(2015), una ingesta diaria de 716,40 mg de RE (retinol) ayuda a prevenir ciertas enfermedades en el ser humano como el cáncer y neurodegenerativas.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL POLVO SOLUBLE**

En el desarrollo experimental, para evaluar el efecto de los parámetros aplicados en el proceso de secado por atomización, se realizó el análisis de varianza de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las muestras del polvo soluble de Babaco, en la Tabla 17, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a las variables evaluadas: humedad, acidez, carotenos totales y capacidad antioxidante.

El análisis estadístico establece que existe diferencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) tanto en los tratamientos como en el factor **A** (Temperatura de secado entrada - salida), factor **B** (Concentración - encapsulantes) y factor **C** (Flujo - alimentación) sobre las todas las variables a excepción del contenido de humedad el flujo de alimentación estadísticamente no presento efecto significativo.

Con relación a la interacción: **AB** (Temperatura de secado entrada-salida vs Concentración-encapsulantes), presento diferencia estadística altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) sobre las variables de acidez y contenido de carotenoides, mientras que para el porcentaje de humedad y actividad antioxidante no es significativo.

Respecto a la interacción **AC** (Temperatura de secado entrada-salida vs Flujo-alimentación), no presenta diferencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) en ninguna de las variables.

Mientras que la interacción **BC** (Concentración - encapsulantes vs flujo - alimentación) presento diferencia estadística altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) únicamente sobre la variable acidez.

**Tabla 17.** Análisis de varianza de las propiedades fisicoquímicas y funcionales en el polvo soluble

Fuente de variación	Humedad	Acidez	Carotenos Totales	Actividad Antioxidantes
	F valor	F valor	F valor	F valor
Tratamientos	4,90**	450,90**	91,10**	4224,83**
Temperatura (A)	18,39**	2062,23**	369,60**	2395,02**
Concentración (B)	13,97**	344,05**	167,78**	2834,92**
Flujo-Alimentación (C)	0,00 ns	242,23**	65,60**	1666,72**
Interacción AB	0,35 ns	158,80**	33,67**	164,67**
Interacción AC	0,12 ns	3,68 ns	0,22ns	370,51**
Interacción BC	0,11 ns	269,50**	0,18ns	1,07 ns
Interacción ABC	1,37 ns	76,41**	0,65 ns	583,91**
CV(%)	2,66	3,43	6,53	5,15

**Nota:** \*: significativo ( $p < 0,05$ ); \*\*: altamente significativo ( $p < 0,01$ ); ns: no significativa, CV (%) Coeficiente de variación

Con respecto a la interacción ABC (Temperatura vs Concentración-Encapsulantes vs Flujo-Alimentación) muestra alta significancia ( $p \leq 0,01$ ) sobre las variables acidez y actividad antioxidante.

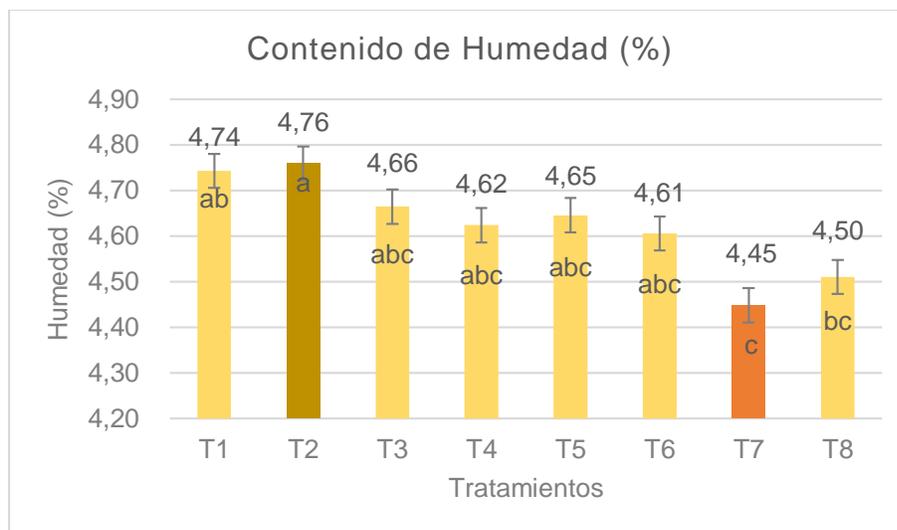
Los resultados registraron variaciones altamente significativas en las variables (humedad, acidez titulable, actividad antioxidante y carotenos totales). Por tanto, se

realizó la prueba Tukey al 5 % con su respectiva desviación estándar (Anexo °N 2), así como también, la prueba de diferencia mínima significativa DMS (Anexo °N 3). Además, en la Tabla 16, se presenta los valores del coeficiente de variación (CV%) presentando valores entre 2,66% y 6,53 % indicando confiabilidad sobre los datos.

#### 4.2.1. HUMEDAD

El contenido de humedad en los polvos de frutas es uno de los aspectos de calidad más esenciales ya que permite mejorar la estabilidad microbiológica, reduce la tasa de degradación durante el almacenamiento y ofrece una vida de anaquel más prolongada (Kankanit et al., 2018).

El valor del contenido de humedad del polvo soluble de Babaco de los tratamientos establecidos en la presente investigación, se presentan en la Figura 24.



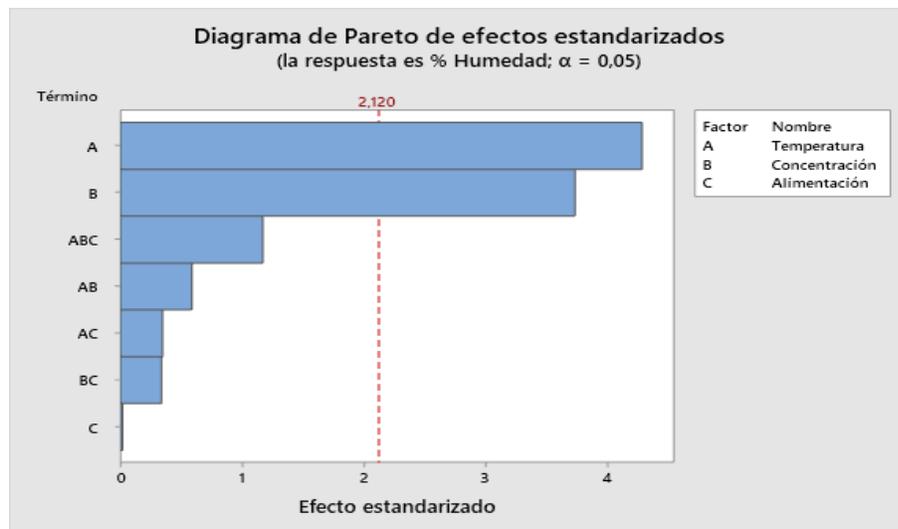
**Figura 24.** Contenido de humedad (%) de los tratamientos

Los resultados variaron entre 4,45 % a 4,76% dependiendo de la temperatura de secado entrada – salida y concentración de encapsulantes. Con relación al contenido de humedad de la fruta se aprecia que existe una notable reducción pasando de 92,17% a 4,62% en polvo soluble, ofreciendo de esta manera una excelente estabilidad y una vida útil más prolongada.

La prueba Tukey determino que el mejor tratamiento es el T7 (165°C - 85°C, 8% GA- 13% MD y 18 ml/min), presentando un bajo contenido de humedad por tanto se ubican en el rango (c) con un valor de 4,45%, mientras que el tratamiento T2 (145°C - 75°C, 5% GA - 10% MD y 26 ml/min), registro el valor más alto ubicándose en el rango (a) con un valor de 4,76%.

Se han reportado resultados similares por (Gong et al., 2018) y (Vivek et al., 2021) en el polvo de jugo de fresa y sohiong con valores de 4,52% - 4,92% y 3,15% - 4,50% respectivamente.

Según la normativa técnica ecuatoriana (ITE INEN 2471: 2015), los polvos para ser considerados microbiológicamente seguros y estables durante su almacenamiento debe presentar un rango máximo de humeado del 6%, por tanto, los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de este rango establecido. Por otra parte el contenido de humedad de los polvos se encuentra dentro del rango aceptable para la producción industrial de jugo de frutas en polvo por atomización (Nishad et al., 2017).

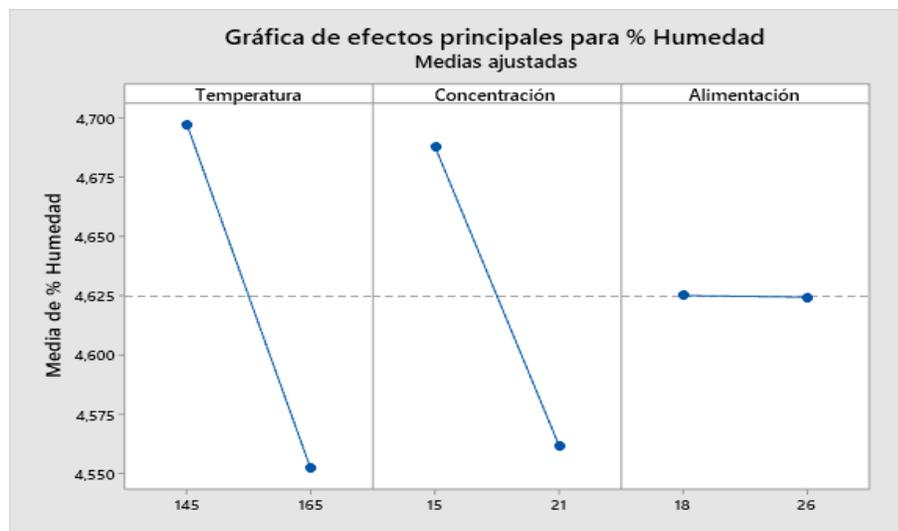


**Figura 25.** Factores e interacciones que influyen sobre el contenido de humedad

La Figura 25, indica la magnitud de los efectos de los factores en estudio sobre el contenido de humedad del polvo soluble de Babaco. Donde se aprecia que el factor A (Temperatura de secado entra - salida) y el factor B (Concentración - encapsulantes)

influyen significativamente sobre la humedad del producto, sin embargo, el factor A presenta mayor efecto. El efecto de la temperatura y concentración de encapsulantes aplicados durante el proceso de secado son directamente proporcional a la humedad del producto, es decir que a medida que estos se incrementan disminuye el contenido de humedad del polvo obtenido.

La Figura 26, muestra los efectos principales sobre el contenido de humedad, disminuyendo significativa con el aumentar la temperatura de secado entrada - salida, y concentración de encapsulantes, mientras que el flujo de la alimentación no presenta ningún efecto. Estudios sobre el efecto de parámetros de secado por atomización reportan resultados similares, donde el contenido de humedad disminuye a medida que se incrementó la temperatura de secado y concentración de encapsulante.



**Figura 26.** Efecto de los parámetros en el contenido de humedad

Con relación al factor temperatura, resultados similares fueron reportados en la investigación realizada por Castañón et al.(2020) sobre el jugo de naranja reportando que el contenido de humedad del polvo aumenta a una temperatura de 120°C, mientras que a una temperatura de 160°C se obtuvo una mayor reducción. Una alta temperatura de secado produce una mayor fuerza impulsora para la eliminación de agua en forma de vapor, obteniendo el polvo del jugo de frutas con menor contenido de humedad,

permitiendo que las partículas del polvo se hidraten y solubilizan de forma más rápida en el agua (Arepally & Goswami, 2019).

Con respecto a la concentración de encapsulantes resultados similares observaron (Arrazola et al., 2014), en muestras de berenjena, donde el contenido de humedad disminuyó a medida que aumentó la concentración de maltodextrina (10,15 y 20%) obteniendo una humedad entre el 4 y 8%.

En investigaciones realizadas la disminución del contenido de humedad a mayor concentración de encapsulantes lo relacionan al incremento de la tasa de sólidos en la alimentación reduciendo de esta manera la cantidad de agua evaporar (Ghalegi et al., 2021; Pino et al., 2018).

Por otra parte un estudio realizado por Caliskan.(2021) reporta que los polvos producidos con goma arábica (GA) presentaron mayores contenidos de humedad en comparación con los polvos producidos con maltodextrina (MD), esto es debido a que la (GA) tiene alta y fácil capacidad de retención de agua del ambiente.

Finalmente en cuanto al flujo de alimentación en esta investigación no se notó ningún efecto sobre esta variable, sin embargo, en investigaciones realizadas señalan que el aumento de la tasa de flujo de alimentación ofrece un tiempo corto de contacto entre la alimentación y el aire de secado provocando que la transferencia de calor sea menos eficiente, dando como resultado una menor evaporación de agua (Shishir & Chen, 2017).

#### **4.2.2. ACIDEZ TITULABLE**

La acidez es un parámetro relacionado con la estabilidad del jugo de frutas ya que ayuda la disminución de acción microbiana, además, juega un papel importante en la percepción de la calidad de la fruta debido a los perfiles de ácidos orgánicos determinando en el jugo sabor, frescura o deterioro, siendo esencial por su contribución a los atributos sensoriales (Castañón et al., 2020).

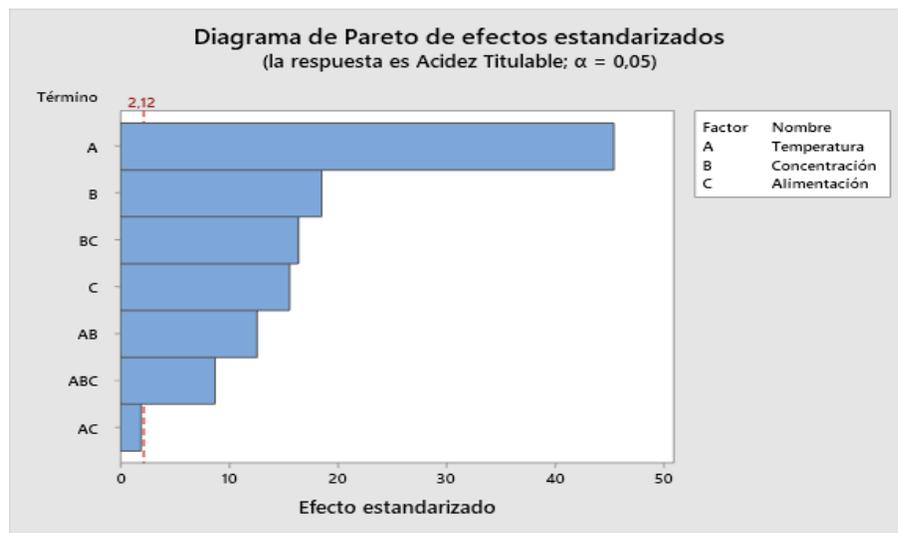


**Figura 27.** % de Acidez titulable de los tratamientos

En la Figura 27, se puede observar los valores del contenido de ácidos de los diferentes tratamientos presentando leves variaciones con valores que oscilan entre 0,42% y 0,46 % Ac. Málico. Estos valores con respecto al porcentaje de acidez del jugo de la fruta representan una disminución de 22,81%, este valor es inferior al reportado por Cortes et al. (2012) quienes obtuvieron una disminución del 26%, en el polvo de jugo de caña.

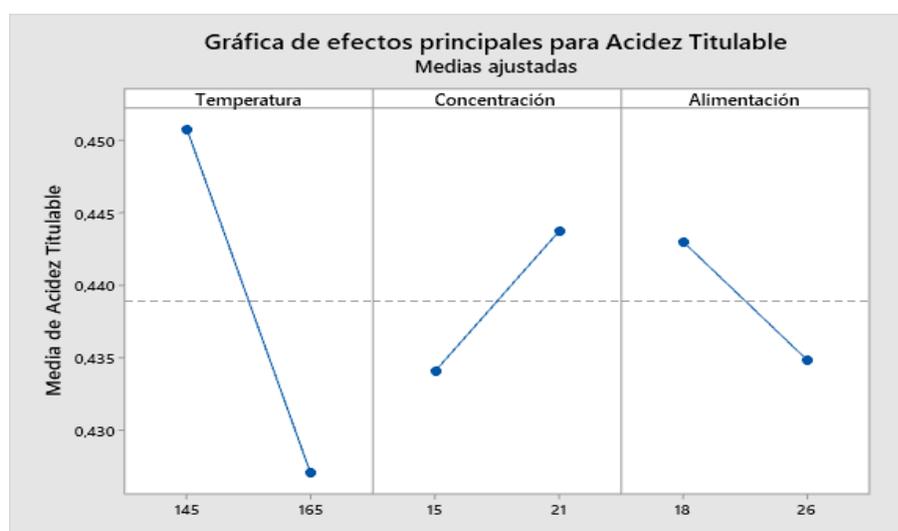
La prueba de comparación Tukey al 5%, determinó como mejor tratamiento al T4 (145°C -75°C, 8% GA - 13%MD y 26 ml/min). Por tanto, se ubica en el rango (a), con un valor de 0,46% Ac. Málico. Por otra parte, el tratamiento T6 (165°C-85°C, 5%GA-10%MD y 26 ml/min) registro el valor más bajo con 0,42% Ac. Málico ubicándose en el rango (e).

La Figura 28, registra el análisis de Pareto de los factores, donde se observa que el factor A (temperatura de secado entrada - salida), el factor B (Concentración - encapsulantes), factor C (Flujo - alimentación) y las interacciones BC, AB, AC y ABC, estadísticamente muestra diferencia significativa sobre el porcentaje de acidez. Sin embargo, se aprecia que la temperatura de secado es el factor que mayormente influye.



**Figura 28.** Factores e interacción que influyen sobre acidez titulable

En la Figura 29, se puede apreciar la magnitud del efecto de los parámetros y las interacciones, apreciando que el incremento de la temperatura de secado y el flujo de alimentación provocan que el contenido de acidez disminuya, por otra parte, a medida que se incrementa la concentración de encapsulantes el porcentaje de acidez presenta mayor conservación. A diferencia de la temperatura el incremento de la concentración de encapsulantes y flujo de alimentación prestan un leve efecto sobre la disminución de la acidez, siendo la temperatura el factor que mayormente afecta su retención.



**Figura 29.** Efecto de los parámetros sobre la acidez

Con respecto al factor temperatura el contenido de acidez se ve afectado disminuyendo su contenido. Esto se atribuye a la degradación de ácidos orgánicos al ser sometidos a tratamientos térmicos con altas temperaturas (Castañón et al.,2020). Por otra parte la disminución del contenido de acidez puede estar relacionada por la degradación de los azúcares como glucosa y fructuosa, ya que la fructuosa se descompone a altas temperaturas (Naddaf et al., 2012).

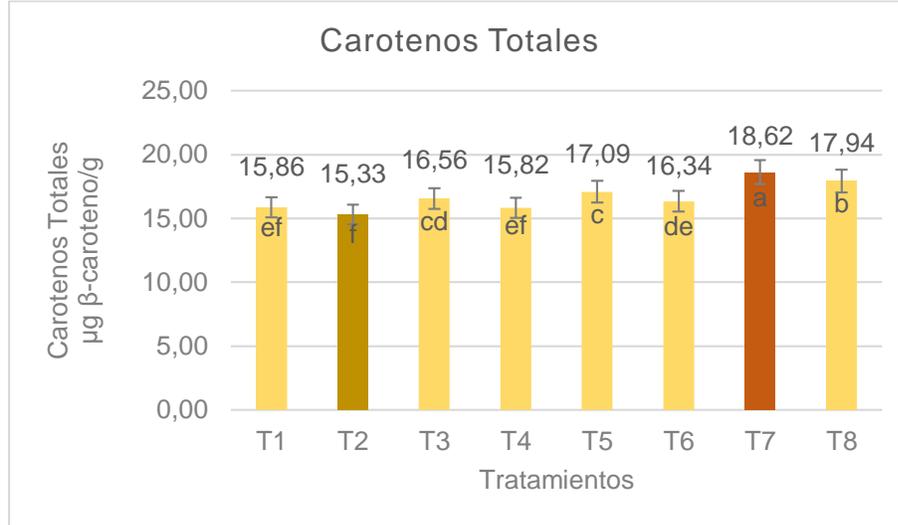
En relación a la concentración de encapsulantes, se presenta mayor retención de acidez a mayor concentración. La conservación se debe a la acción protectora de los agentes encapsulantes protegiendo los ácidos orgánicos al ser estos expuestos a altas temperaturas (Sobulska & Zbicinski, 2021).

Sin embargo se han reportado un efecto diferente en la microencapsulación de pulpa de papaya utilizando maltodextrina como agente portador, donde el contenido de acidez disminuye a medida que se incrementa la concentración del agente encapsulante, esto se debe que al incrementar el contenido de sólidos se genera la disminución de acidez (Gomes et al., 2018).

#### **4.2.3. CAROTENOS TOTALES**

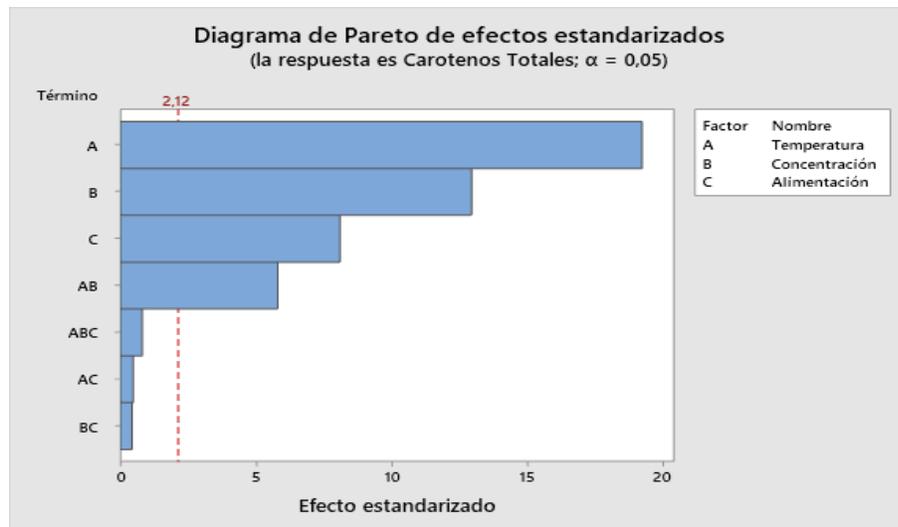
Los carotenoides son uno de los grupos más grandes de colorantes naturales disponibles en la naturaleza, sin embargo son susceptibles a la exposición de temperatura, luz y oxígeno (Shaaruddin et al., 2019).

En la Figura 30, se registra los valores obtenidos de los diferentes tratamientos los cuales se encuentran en un rango entre 15,33  $\mu\text{g } \beta$  caroteno/g hasta 18,62  $\mu\text{g } \beta$  caroteno/g, estos resultados presentan una mejora del 14,06 % en el contenido de carotenos totales en comparación con el jugo de Babaco.



**Figura 30.** Contenido de carotenos totales en cada uno de los tratamientos

La prueba de comparación Tukey 5%, registro que el tratamiento que presenta el valor más alto de contenido de carotenoides al T7 (165 °C - 85°C, 8% GA, 13% MD, 18 ml/min). Por tanto, se ubican en el rango (a), con un valor de 18,62 µg β caroteno/g. Por otra parte, el tratamiento T2 (145 °C – 75 °C, 5% GA, 10% MD, 26 ml/min), registro el valor más bajo de carotenoides, ubicándose en el rango (f) con un valor de 15,33 µg β caroteno/g.

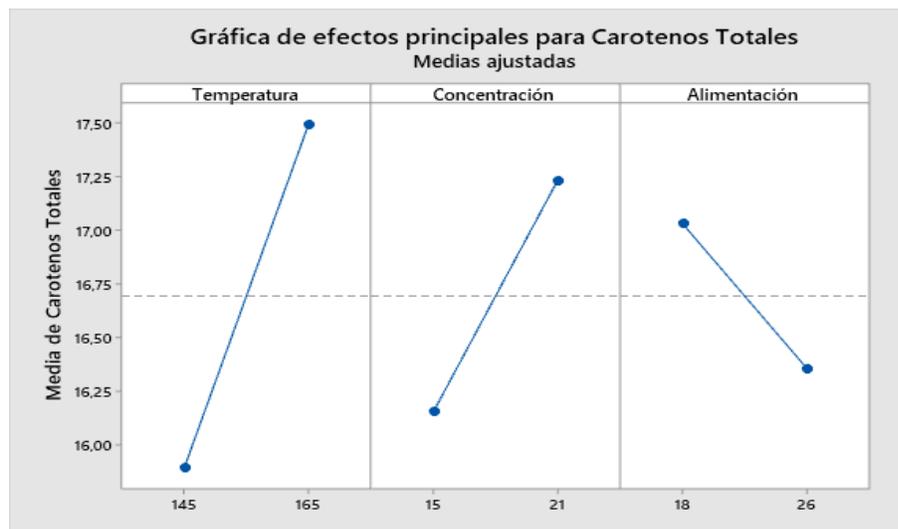


**Figura 31.** Factores e interacción que influyen sobre los carotenos.

El análisis mostrado en la Figura 31, indica que el factor A (temperatura de secado entrada - salida), factor B (Concentración - encapsulantes), factor C (Flujo - alimentación) y la interacción AB (Temperatura vs Contracción - encapsulantes), presentan gran magnitud de efecto sobre el contenido de carotenos totales presentes en el polvo soluble de Babaco de los diferentes tratamientos. Es evidente que el factor temperatura y concentración de encapsulantes presentan mayor magnitud de efecto sobre esta variable.

En un proceso de secado por atomización la temperatura del aire de entrada es el parámetro que presenta mayor efecto significativo sobre la degradación los de  $\beta$ -carotenos en el polvo soluble (Khalilian & Mohebbi, 2016). Esto se debe la influencia de la temperatura sobre la oxidación de los pigmentos (Gomes et al., 2018).

Por otra parte Saldanha et al.(2021) en su investigación sobre la microencapsulación por atomización de licopeno, señalan que los agentes encapsulantes presenta gran efecto significativo sobre la protección a este compuesto, tanto durante el proceso de secado como durante el almacenamiento.



**Figura 32.** Efecto de los parámetros sobre el contenido de carotenos totales

En la Figura 32, se observa que la concentración más alta de carotenos se obtiene en rangos más altos de temperatura de secado y concentración de encapsulantes. Este

hecho es sorprendente, porque la literatura reporta que los incrementos de temperatura tienden a provocar la degradación de los carotenos. Esto se puede explicar por la técnica de buen encapsulado de jugo de Babaco con goma arábica y maltodextrina, desempeñaron un papel protector logrando proteger los carotenoides de la degradación. Además, a menor flujo de alimentación se obtiene mayor conservación de carotenos.

Respecto al incremento de la temperatura de secado efectos similares fueron reportados en un estudio realizado por Garrido et al.(2020) resultando se favorable el aumento de la temperatura de entrada para la recuperación de compuestos bioactivos. Esto se lo atribuyen a que en proceso de secado por aspersión se produce un menor tiempo de resistencia de las gotas y a mayor temperatura la cinética de secado es más rápida.

Yajing & Lv (2019) manifiesta que el oxígeno y las temperaturas de procesamiento son considerados como los factores clave para la degradación de compuestos bioactivos. Sin embargo, en el proceso de secado por aspersión la exposición a alta temperatura de entrada, son de corta duración aumentando la fuerza motriz para la transferencia de masa, facilitando la evaporación y volatilización del agua, por lo que la degradación provocada por el calor podría considerarse insignificante en comparación con otros procesos térmicos.

Por otra parte, la mayor conservación de carotenos a mayor temperatura se le puede atribuir a la posibilidad que durante el proceso de secado se generó la reacción de Maillard originando la formación de melanoidinas compuestos oscuros causantes del pardeamiento no enzimático. Este fenómeno se ve favorecido a mayores temperaturas permitiendo mantener o mejorar los compuestos antioxidantes (Shofinita & Langrish, 2016).

Asimismo, la razón de la mejora de los carotenos a mayor temperatura se la puede relacionar al hecho de que el tratamiento térmico conduce al proceso de isomerización de la forma todo trans a todo cis  $\beta$ - caroteno, siendo dominantes los isómeros - cis. Además, la forma cis es más soluble en solventes orgánicos aumentando su extracción durante el análisis (Bhatkar et al., 2021).

En un estudio sobre los parámetros del proceso de por aspersión informaron que una temperatura de secado de entrada más alta conduce a una velocidad de secado inicial más alta y se producen partículas más grandes con cascaras delgadas. En esta condición, el componente interno de las partículas puede estar protegido por la cubierta externa y así se logra mayor contenido de bioactivos. Sin embargo esta discrepancia podría atribuirse a las diferencias en el tipo de agente portador, la cantidad del agente, el componente bioactivos microencapsulado y el rango de otros parámetros operativos involucrados en el proceso (Yousefi et al., 2014).

Sin embargo, en otras investigaciones se han reportado efectos diferentes encontrando mayor conservación de carotenos a bajas temperaturas de secado manifestado que la degradación de estos compuestos se debe a su alta sensibilidad a altas temperaturas provocando la reacción de oxidación (Bednarska & Janiszewska, 2020).

Con relación a la concentración de encapsulantes en la investigación realizada por Shaaruddin et al.(2019) sobre la estabilidad del  $\beta$  - caroteno en polvo de zanahoria utilizando como agente encapsulante maltodextrina, obtuvieron una retención del 48,2% y 44,8% esto lo relacionan con las características emulsionantes de los encapsulantes por su alto peso molecular permitiendo que estos formen una película gruesa en la interface compuesto/agua, dificultando la coalescencia de las gotas y aumentando la estabilidad de la emulsión a través del impedimento estático.

En el secado por aspersión de jugo de umbu Souza et al.(2020) indican que el incremento de la concentración de maltodextrina (14 – 26 %) les permitió conservar el 57,65 – 67,40 % de carotenos, es resultado lo relacionan a la capacidad de la maltodextrina para sellar y retener el material activo.

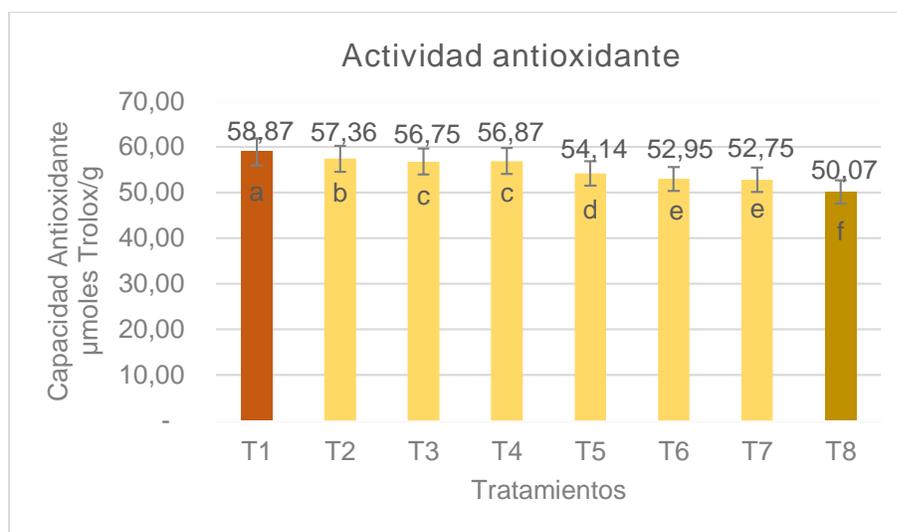
Asimismo, Suhag & Nanda.(2015) en la encapsulación de miel de abeja indican que el aumento de maltodextrina provoca un incremento en la retención compuestos bioactivos, porque actúa como material de pared evitando el daño oxidativo debido a la oxidación e hidrólisis.

#### 4.2.4. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes, son considerados compuestos bioactivos debido a sus cuantiosos beneficios para la salud, además juegan un papel fundamental en el enranciamiento oxidativo en muchos alimentos (Boussaa et al., 2020).

Los resultados de la evaluación mediante ensayos (ABTS+) sobre los polvos solubles de Babaco se muestran en la Figura 33, los valores obtenidos de los diferentes tratamientos variaron entre 50,0 a 58.90  $\mu$ moles Trolox/g, estos valores con relación al jugo de Babaco representan un porcentaje promedio de 74,76% de conservación.

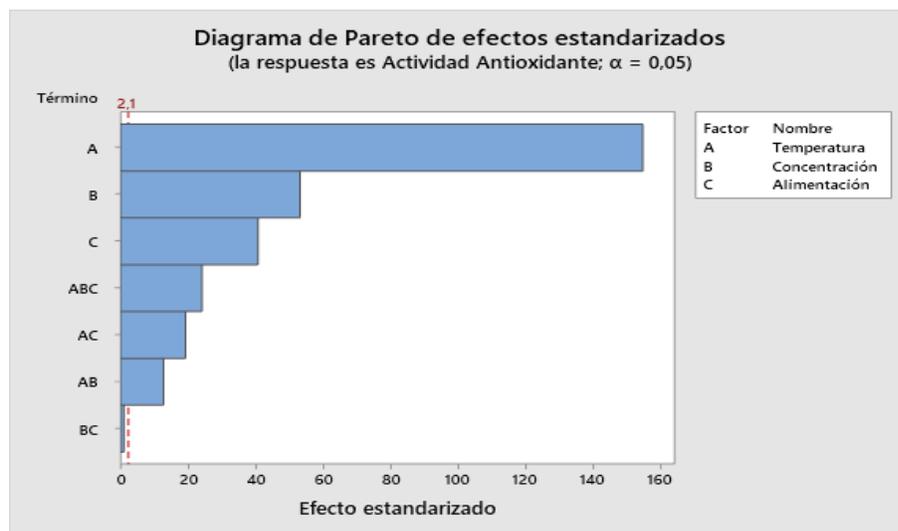
Además los valores obtenidos presentan un leve contraste sobre los reportados por Leyva et al.( 2021) en polvo de fresa quien obtuvo valores entre 50,07 hasta 58,90  $\mu$ moles Trolox/g.



**Figura 33.** Variación de la capacidad antioxidante de los tratamientos planteados

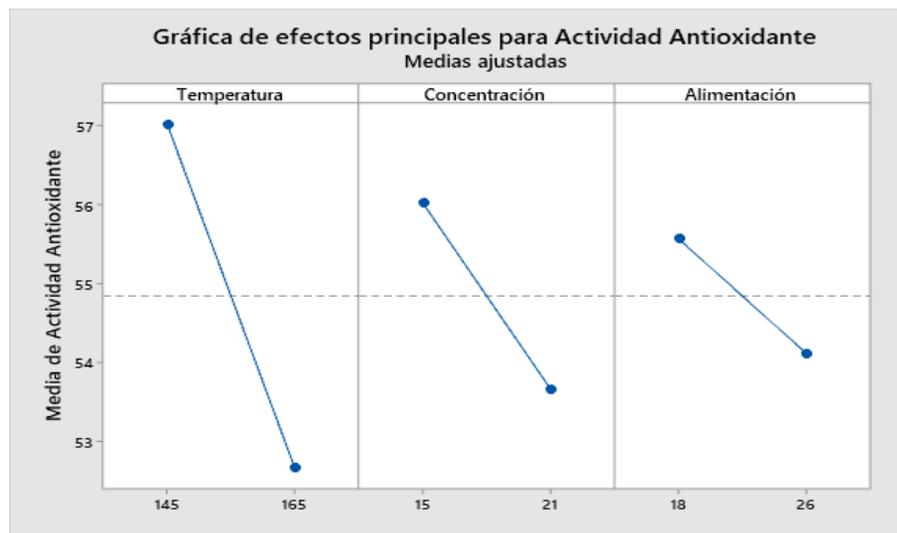
Mediante la prueba de comparación Tukey al 5%, con relación a los demás tratamientos se determinó que el tratamiento T1 (145 °C – 75 °C, 5% GA-10% MD, 18 ml/min), registro el valor más alto en el contenido de actividad antioxidante. Por tanto, se ubica en el rango (a) con un valor de 82,33  $\mu$ moles Trolox/g. Por otra parte, el tratamiento T7 (165 °C – 85 °C, 8% GA - 13% MD, 26 ml/min), registro el valor más bajo de actividad antioxidante ubicándose en el rango (f), con valor de 18,90  $\mu$ moles Trolox/g.

Como se puede observar en la Figura 34, el Factor A (Temperatura de secado entrada-salida), Factor B (Concentración - encapsulantes), Factor C (Flujo - alimentación) y la interacción ABC, presentan magnitud de efecto sobre la capacidad antioxidante de los diferentes tratamientos, a diferencia de los demás factores el Factor A es el que mayormente influye en el proceso presentando un grado más significativo sobre el contenido de actividad antioxidante.



**Figura 34.** Factores e interacciones que influyen sobre la actividad antioxidante.

En la Figura 35, se observa, que a medida que se incrementa la temperatura de secado, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación la actividad antioxidante de los polvos solubles se ve afectadas de manera negativa. En particular se dio una retención más baja a una temperatura más alta mostrando que la estabilidad de compuestos antioxidantes se vio afectada por el exceso de calor incluso cuando se empleaba una concentración de encapsulantes más favorable.



**Figura 35.** Efecto de los parámetros sobre la actividad antioxidante

En esta investigación se observa que la capacidad antioxidante disminuye a medida que se incrementa la temperatura de secado de 145 °C a 165°C. Sin embargo, Jedlińska et al.(2021), reporta que al trabajar con temperaturas de secado bajas (65/120 °C y 55/100 °C) no se tiene efecto significativo sobre la actividad antioxidante de los polvos solubles de Kiwi.

La disminución de la capacidad antioxidante a mayor temperatura se justifica según lo reportados por (Arteaga & Arteaga, 2016; Shishir & Chen, 2017), que debido a que en el proceso de secado por aspersión interviene de forma directa el calor, fenómeno de degradación más importante, ocasiona una disminución de los metabolitos antioxidantes compuestos susceptibles a altas temperaturas conllevándolos al rompimiento de grupos químicos funcionales.

Así mismo, la pérdida de compuestos antioxidantes durante el secado por atomización se debe a la exposición al oxígeno y la aplicación de altas temperaturas acelerando drásticamente la velocidad de eliminación de humedad ,dando como resultado la formación de una superficie rugosa en la micro esfera permitiendo liberar una parte de los productos químicos activos y provocar su deterioro (Nguyen et al., 2022).

En general, los polvos producidos por secado por atomización a temperaturas de entrada bajas tienen tendencia a sufrir aglomeración debido a su mayor contenido de humedad, la aglomeración podría reducir la exposición de los polvos a altas temperaturas y al oxígeno, por tanto, proteger de la destrucción los compuestos bioactivos (Yousefi et al., 2014).

En cuanto a la concentración de encapsulantes Vargas et al.(2021) informa efectos similares por ensayo ABTS en polvos con menor proporción de maltodextrina y colágeno hidrolizado en proporción 20:80 a una temperatura de 120°C. El adecuado uso de los agentes portadores ayuda a proteger compuestos antioxidantes a través de la formación de una capa protectora evitando su oxidación (Araujo et al., 2020). Por otra parte, una alta concentración de encapsulantes dificultan la formación de la emulsión provocando la inestabilidad de los compuestos antioxidantes (Dadi et al., 2019).

Por otra parte la disminución de la actividad antioxidante a mayor concentración se lo puede relacionar al uso de goma arábiga y maltodextrina como agentes encapsulantes, estos no contienen radicales activos generando como resultado una disminución de la captación de radicales libres ABTS en los polvos atomizados (Tolun et al., 2016).

Finalmente, se obtiene mayor retención de actividad antioxidante al trabajar con un bajo flujo de alimentación. El resultado obtenido es similar al reportado por Adame et al.(2015) en polvo de canela quienes trabajaron con un flujo de 10 ml/min, dicha conservación la relacionan a que durante el proceso de secado por atomización la velocidad de alimentación determina el tiempo de contacto de la partícula con el aire dentro de la cámara de secado, disminuyendo la actividad antioxidante.

**Tabla 18.** Análisis fisicoquímicos y funcional del polvo soluble de Babaco

Tratamientos	Humedad	Acidez	Carotenoides	Actividad Antioxidante
T1	4,74 ± 0,05 <b>ab</b>	0,45 ± 0,00 <b>b</b>	15,86 ± 0.01 <b>ef</b>	58,87 ± 0,20 <b>a</b>
T2	4,75 ± 0,03 <b>a</b>	0,43 ± 0,00 <b>c</b>	15,33 ± 0.01 <b>f</b>	57,36 ± 0,03 <b>b</b>
T3	4,66 ± 0,11 <b>abc</b>	0,45 ± 0,00 <b>b</b>	16,56 ± 0.01 <b>cd</b>	56,75 ± 0,01 <b>c</b>
T4	4,62 ± 0,02 <b>abc</b>	0,46 ± 0,00 <b>a</b>	15,82 ± 0.01 <b>ef</b>	56,87 ± 0,02 <b>c</b>
T5	4,65 ± 0,05 <b>abc</b>	0,43 ± 0,00 <b>c</b>	17,09 ± 0.58 <b>c</b>	54,14± 0,02 <b>d</b>
T6	4,61 ± 0,12 <b>abc</b>	0,42 ± 0,00 <b>e</b>	16,34 ± 0.01 <b>de</b>	52,95± 0,01 <b>e</b>
T7	4,45 ± 0,10 <b>c</b>	0,43 ± 0,00 <b>cd</b>	18,62 ± 0.01 <b>a</b>	52,75± 0,01 <b>e</b>
T8	4,50 ± 0,12 <b>bc</b>	0,43 ± 0,00 <b>d</b>	17,94 ± 0.02 <b>b</b>	50,07 ± 0,02 <b>f</b>
C.V (%)	2,66	3,43	6,53	5,15

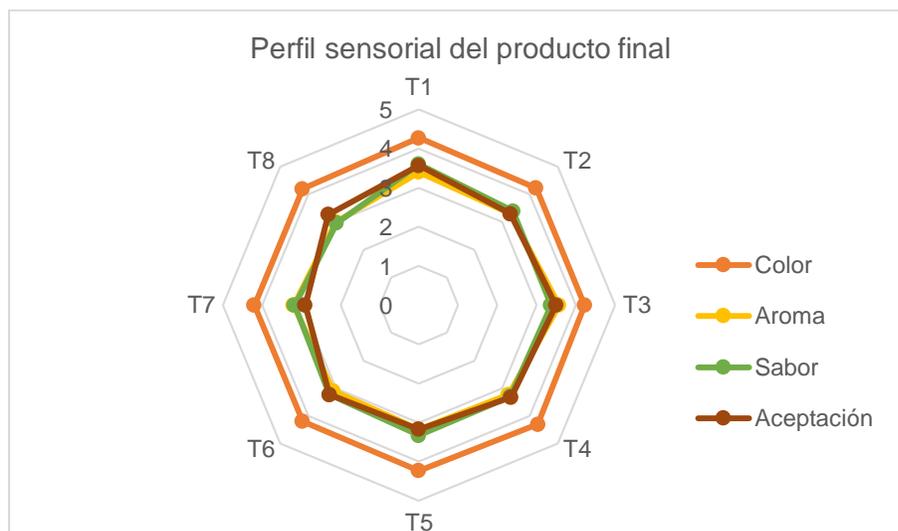
**Nota:** Resultados expresados como media ± desviación estándar; las medias que no compartan una letra son significativamente diferentes.

Ante los resultados obtenidos se determina que para una adecuada conservación de los compuestos antioxidantes se debe seleccionar cuidadosamente y de manera apropiada cada una de las variables independientes.

### **4.3. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO EN POLVO**

Con el propósito de establecer un grado de aceptación del polvo soluble de Babaco reconstituido, se realizó la evaluación sensorial mediante una prueba de cata llevada a cabo con 30 panelistas de ambos sexos quienes emitieron su opinión en base a las características sensoriales de: color, aroma, sabor y grado de aceptación. Los resultados obtenidos se tabularon y analizaron mediante la prueba no paramétrica de Friedman al 5%.

En la Figura 36, se presenta las variaciones de los atributos sensoriales evaluados en una escala hedónica de cinco puntos. Mediante los resultados, se estableció que el tratamiento 1 presento un incremento perceptible en cuanto a los atributos color, aceptabilidad, sabor y aroma; con estos resultados se comprueba que los tratamientos sometidos a menor temperatura, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación dan como resultado un mayor sabor a la bebida del polvo de rehidratado.



**Figura 36.** Perfil sensorial sobre los tratamientos

### 4.3.1. COLOR

El color es un factor de gran importancia relacionado con la calidad de un producto, además, es un atributo que puede influir en la percepción de otro atributo como es el sabor ya que refleja la sensorialidad. La percepción de un color desagradable puede atribuir un sabor desagradable. En la Figura 37, se presentan los resultados en cuanto a la valoración de esta variable.



**Figura 37.** Puntuaciones del atributo color de la bebida de Babaco

En la presente investigación el atributo color, estadísticamente no presentó diferencia significativa, siendo las muestras visualmente apreciadas por los panelistas en un mismo nivel de color, sin embargo, de acuerdo con la Figura 37, el tratamiento que presentó mayor aceptabilidad con respecto al color fueron el tratamiento T4, mientras que los Tratamientos T6, T7 y T8 presentaron menor aceptación.

Además, se tomó en cuenta las observaciones realizadas por los panelistas donde determinan que no encuentran diferencia alguna en cuanto al color. Sin embargo, Khalilian & Mohebbi.(2016), observaron una afectación en el color del polvo de jugo de gac al aumentar la concentración de maltodextrina 10% al 20%, así como también al aumentar la temperatura de secado de 120 °C a 220 °C.

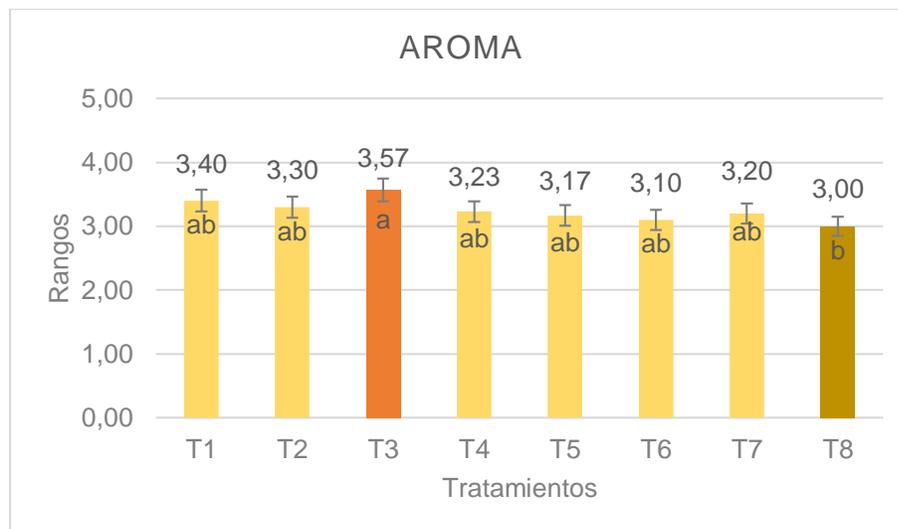
Por otra parte, la variación del color se debe principalmente a la pérdida de pigmentos, el pardeamiento no enzimático (reacciones de Maillard), la hidrólisis de azúcares y el aumento de la temperatura (Bhatkar et al., 2021).

Gomes et al.(2018) señalan que uno de los parámetros que afecta la calidad del color en los polvos de fruta secados por atomización es la adición de maltodextrina en la pulpa proporcionando una palidez en el producto final debido al color blanquecino que esta presenta.

En tanto Vivek et al.(2021) señalan que el color del producto secado por aspersion dependen en gran parte del color natural del producto a secar , la concentración del material portador y la temperatura de entrada.

#### 4.3.2. AROMA

El aroma es también una de los atributos más importantes de los alimentos, por lo que su percepción agradable influye al momento de elegir un producto. En la Figura 38, se presentan los resultados en cuanto a la variable aroma obteniendo calificaciones en un rango entre 3,00 hasta 3,57 puntos.



**Figura 38.** Puntuaciones del atributo aroma de la bebida de Babaco

Los resultados con respecto a esta variable estadísticamente presentan diferencia significativa lo cual indica que los panelistas si encontraron contraste entre las muestras de los diferentes tratamientos. Siendo el tratamiento T3 el que presentan mayor aceptación encontrándose en el rango (a), con una calificación de 3,57 puntos. Mientras que el tratamiento con menor aceptación fue el tratamiento T8 encontrándose en el rango (b), con una calificación de 3,00 puntos.

Además, se tomó en cuenta las observaciones realizadas por los panelistas, atribuyendo al tratamiento T3 un aroma más dulce a diferencia de los demás tratamientos, pero recalcan que todas las muestras no presentan el aroma característico de la fruta por ende

se determina que hay una pérdida en cuanto a esta variable.

Los procesamientos térmicos a altas temperaturas a menudo provocan cambios indeseables en la calidad de las características sensoriales de los productos, lo que da como resultado la pérdida del sabor y el desarrollo de sabores extraños

La pérdida del aroma se lo puede atribuir al proceso de concentración del jugo de Babaco por el método de evaporación trabajando a temperaturas entre 58-60 °C. Además, se percibió que el aroma característico de la fruta se presentó en el agua del condensado.

Por otra parte la pérdida del aroma en un proceso de secado por atomización ocurren durante la etapa inicial del secado generando una estructura porosa en el alimento deshidratado permitiendo la entrada de oxígeno; por tanto, la oxidación de algunos compuestos termo sensibles como los aromáticos se volatilizan (Souza et al., 2020).

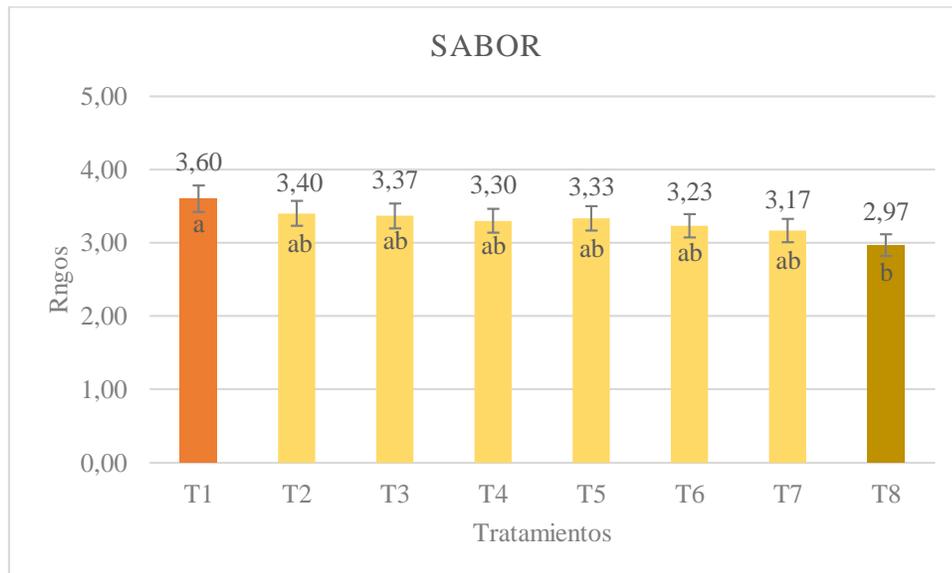
Según el estudio realizado por (Jara, 2018) en el Babaco se identifica 28 compuestos volátiles, los cuales se clasifican en 22 esterés, 3 terpenos y 3 alcoholes. Los compuestos que se presentan mayormente son: etil hexanoato, butil hexanoato, octanol, octal butanoato, y el etil butanoato; estos compuestos son relacionados con olores dulces y frutales.

En general los aldehídos, alcoholes, terpenos y esterés se consideran los principales productos que contribuyen al aroma de cualquier alimento (Tay et al., 2022).

En tanto se determina que la temperatura del pre tratamiento térmico, como también la del secado por atomización afectan significativamente el aroma de los polvos de Babaco obtenidos, presentando una mínima percepción aromática en comparación con la fruta.

### 4.3.3. SABOR

En una bebida el sabor a fruta es un factor diferenciador entre productos similares por lo que es de gran importancia su percepción.



**Figura 39.** Puntuaciones del atributo sabor de la bebida de Babaco

En la Figura 30, se presentan los resultados en cuanto a la variable sabor obteniendo calificaciones en un rango entre 2,97 hasta 3,60 puntos. Los resultados con respecto a esta variable presentan diferencia significativa Siendo el tratamiento T1 quien presentan mayor aceptación encontrándose en el rango (a), con una calificación de 3,60 puntos. Mientras que el tratamiento que presento menor nivel de aceptación fue el T8 encontrándose en el rango (c), con una calificación de 2,97 puntos.

Según las observaciones realizadas por los panelistas, la bebida del polvo rehidratado del tratamiento T1 presentan un sabor más dulce y ácido relacionándolo a la disminución del contenido de agua, mientras que los demás tratamientos presentaban un sabor más insípido. Sin embargo, recalcan que todas las muestras no presentan un sabor característico al Babaco.

La mayor aceptación en el tratamiento T1, se lo relaciona a su conservación de acidez ya que este fue sometido a menor temperatura de secado. Por otra parte la adición de

maltodextrina al presentar un sabor ligeramente dulce provocan dulzor en los polvos, así como también permite proteger los sólidos de la fruta durante el proceso de secado (Nishad et al., 2017).

En el proceso de secado por atomización de jugo de umbu Souza et al.(2020) identificaron que la variable sabor no presentó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) obteniendo calificaciones entre 3,57 a 5,79 puntos en una escala hedónica de siete puntos resultados fueron favorables ya que durante el proceso de secado el calor no sólo se evapora agua, sino que también causa enzimas y no enzimáticas reacciones de oscurecimiento así como pérdida de componentes volátiles y termosensibles como compuestos aromáticos y fenólicos, causando la disminución de más de un punto en la percepción sensorial.

Xueying et al.(2022) menciona que los procesamientos térmicos a altas temperaturas a menudo provocan cambios indeseables en la calidad de las características sensoriales de los productos, lo que da como resultado la pérdida del sabor y el desarrollo de sabores extraños.

En tanto en la presente investigación, se estima que la pérdida del sabor también se le puede atribuir al proceso de evaporación ya que el olor a Babaco se transfirió al agua de condensado, por tanto, si los panelistas no sintieron un aroma característico a la fruta tampoco sentirán un sabor a esta fruta.

#### **4.3.4. ACEPTABILIDAD**

La aceptabilidad es el parámetro que mayormente influye, ya que nos permite distinguir el mejor tratamiento elegido por los panelistas. En la Figura 40, se aprecia los resultados en cuanto a la aceptación del producto encontrando calificaciones en un rango de 2,90 hasta 3,57 puntos.



**Figura 40.** Puntuaciones de la aceptabilidad de la bebida de Babaco

Los resultados obtenidos determinan que a comparación con los demás tratamientos el tratamiento con mayor aceptabilidad por parte de los panelistas fue el T1 encontrándose en un rango (a) con una puntuación de 3,57 puntos, mientras que el tratamiento que presento menor grado de aceptabilidad fue el T7 encontrándose en un rango (b) con una puntuación de 2,90 puntos.

Los índices generales de aceptabilidad, del polvo soluble de Babaco rehidratado estuvieron por encima de una calificación de tres lo que significa que “me gusta “lo que indican que los polvos solubles de Babaco tiene potencial de comercialización y pueden utilizarse para laborar y fortificar otros productos como lácteos, helados, bebidas entre otros más.

**Tabla 19.** Análisis de tukey de las propiedades sensoriales del producto en polvo rehidratado

Tratamientos	Color	Aroma	Sabor	Aceptabilidad general
T1	4,27 ± 0,69 a	3,40 ± 0,67 ab	3,60 ± 0,49 a	3,57 ± 0,63 a
T2	4,23 ± 0,57 a	3,30 ± 0,65 ab	3,40 ± 0,62 ab	3,30 ± 0,88 ab
T3	4,23 ± 0,63 a	3,57 ± 0,73 b	3,37 ± 0,72 ab	3,50 ± 0,78 ab
T4	4,30 ± 0,54 a	3,23 ± 0,50 ab	3,30 ± 0,65 ab	3,33 ± 0,76 ab
T5	4,23 ± 0,68 a	3,17 ± 0,70 ab	3,33 ± 0,61 ab	3,17 ± 0,95 ab
T6	4,20 ± 0,55 a	3,10 ± 0,55 ab	3,23 ± 0,50 ab	3,23 ± 0,77 ab
T7	4,20 ± 0,66 a	3,20 ± 0,61 ab	3,17 ± 0,70 ab	2,90 ± 0,92 b
T8	4,20 ± 0,61 a	3,00 ± 0,52 b	2,97 ± 0,72 b	3,27 ± 0,64 ab

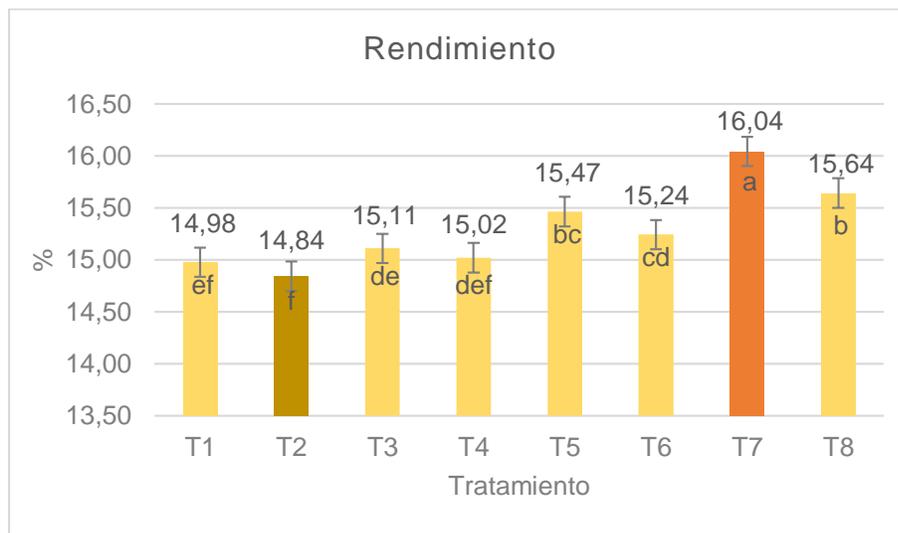
**Nota:** Resultados expresados como media ± desviación estándar; las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### 4.5. RENDIMIENTO

El rendimiento del proceso es considerado un factor importante, ya que un alto rendimiento de proceso permite establecer una relación costo beneficio que determina la viabilidad del secado por aspersion (Kankanit et al., 2018).

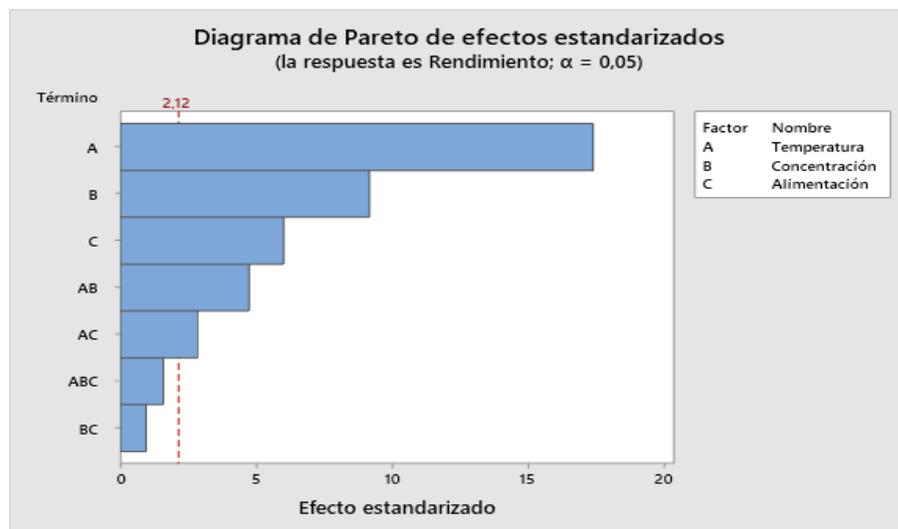
En la Figura 41, se muestra los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento de las muestras del polvo soluble de Babaco, donde se aprecia que los tratamientos registraron valores entre 14,84% a 16,04%.

Los valores obtenidos son menores a los reportados en investigaciones realizadas por (Kankanit et al., 2018; Pino et al., 2018) quienes obtuvieron rendimientos entre 24%, 34%, respectivamente. El valor del porcentaje de rendimiento se refleja en base a la influencia de los parámetros del proceso.



**Figura 41.** Rendimiento en % del polvo soluble de babaco

Mediante la prueba de comparación Tukey al 5%, se determinó que el mejor tratamiento fue el T7 (165 °C-85°C, 8%GA, 13%MD y 18 ml/min), registro el valor más alto en cuanto al porcentaje de rendimiento. Por tanto, se ubica en el rango (a) con un valor de 16,04%. Por otra parte, el T2 (145 °C-75°C, 5%GA,8% y 26 ml/min re), registro el valor más bajo en el porcentaje de rendimiento ubicándose en el rango (f), con valores de 14,84%.

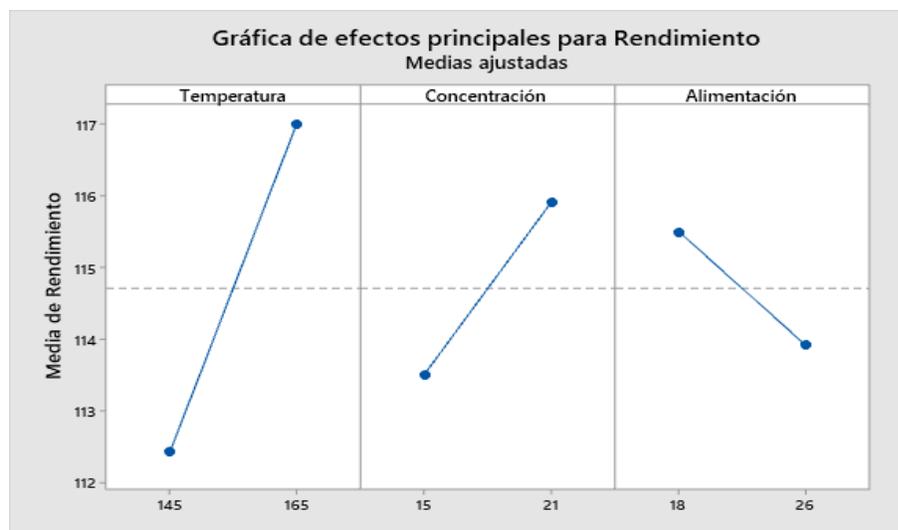


**Figura 42.** Factores e interacciones que influyen en el rendimiento del producto en polvo

El diagrama de Pareto Figura 42, indica que tanto los factores A (Temperatura de secado entrada - salida), factor B (concentración - encapsulante), factor C (flujo - alimentación) y las interacciones AB, AC; muestran efecto significativo sobre el rendimiento de los tratamientos, siendo el factor temperatura el que presente mayor efecto favorable sobre el rendimiento

En cuanto a la temperatura de secado Kankanit et al., (2018) mostro un comportamiento igual al observar un incremento en el rendimiento a medida que aumenta la temperatura de secado. Sin embargo para el secado por aspersion de jugos de frutas ricos en azucres, como la glucosa y fructuosa. Asimismo Shishir & Chen.(2017), informa que el rendimiento de producción se ve afectado en gran medida al trabajar con altas temperaturas de entrada ya que estos compuestos pueden causar adherencia del producto a la cámara de secado.

La Figura 43, muestra, que el rendimiento de secado aumenta de manera significativa con el incremento de la temperatura de secado entrada - salida y la concentración de encapsulantes, pero disminuye al incrementar la velocidad del flujo de alimentación resultados similares fueron reportados por (Vivek et al., 2021), sin embargo, a diferencia de los otros factores la temperatura de secado es la que mayormente influye.



**Figura 43.** Efecto de los parámetros sobre el rendimiento del producto en polvo

El aumento en el rendimiento puede deberse que a mayor temperatura se realizará una rápida evaporación del agua disminuyendo el contenido de humedad en el polvo, así como al aumentar la concentración de encapsulantes se está aumentando la concentración de sólidos en la alimentación.

Respecto al factor temperatura (Kankanit et al., 2018), confirman nuestros resultados atribuyendo un mayor rendimiento al trabajar a mayores temperaturas provocando mayor eficiencia de calor y transferencia de masa reduciendo así el contenido de humedad y deposición de las partículas atomizadas en las paredes del secador. Por otra parte (Tupuna et al., 2018), manifiesta que trabajar con temperaturas de entrada menores a (140 - 150°C) provocando la adherencia de las partículas semi - húmedas en las paredes de la cámara de secado y la adherencia del polvo seco a las paredes del filtro del ciclón y la dificultad de recuperación del filtro ciclónico

Con relaciona al efecto de la concentración de encapsulantes, en la investigación realizada por (Pino et al., 2018) se justifica nuestros resultado , señalando que el aumento en el rendimiento puede deberse a mayor concentración de maltodextrina que ayudan a aumentar el contenido de salidos como también ayuda a aumentar la temperatura de transición vítrea en mezclas ricas en azúcares, reduciendo así problemas de pegajosidad del polvo.

Finalmente con respecto al caudal de alimentación se observa que el rendimiento se ve afectado negativamente a medida que este aumenta lo que concuerda con los resultados reportados por Can et al.(2016), donde se ha indicado que las bajas tasa de flujo de alimentación dan como resultado un mayor rendimiento esto lo atribuye a una eliminación de humedad más eficiente.

Por otra parte (Tontul & Topuz, 2017), señala que un mayor caudal aumenta el tamaño de las gotas al inicio del proceso de secado afectando negativamente la transferencia de calor y masa, por tanto se produce una baja eliminación de agua.

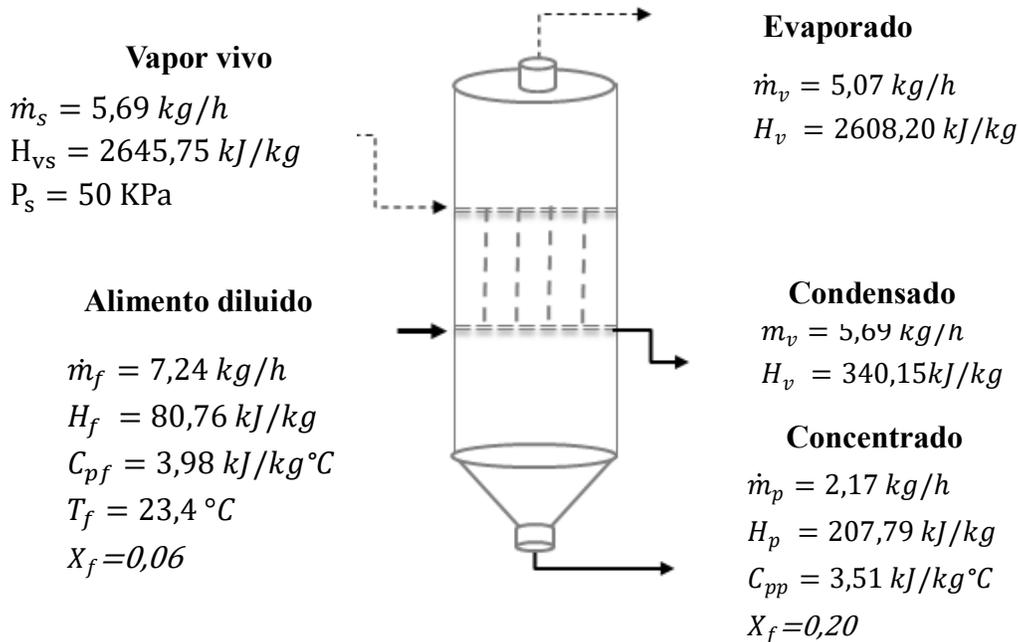
## 4.6. BALANCE DE MASA ENERGÍA Y RENDIMIENTO

Los cálculos se realizaron en base a los datos del mejor tratamiento en cuanto a la conservación de la actividad antioxidante (T1).

### 4.6.1. EVAPORACIÓN

Para el cálculo del flujo másico del producto, el evaporado y el vapor vivo, se aplicó las ecuaciones (1), (2), y (3), respecto a las entalpías del producto en estado líquido y concentrado, se calcularon en base a las ecuaciones (4) y (5) expuestas en el Capítulo II. Las entalpías del vapor saturado, condensado y saturado se obtuvieron de la Tabla A.4.2 pertinente a las propiedades de vapor saturado (Singh & Heldman, 2014)

En la Figura 44, se presenta el balance de masa y energía correspondiente al proceso de evaporación.



**Figura 44.** Balance de masa y energía de un evaporador de simple efecto

- Cálculo del flujo másico del producto, aplicando la ecuación (2)

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_f * x_f}{x_p} = \frac{7.24 \frac{kg}{h} * 0,06}{0,20} = 2,17 \frac{kg}{h}$$

- Calculo del flujo másico del vapor, aplicando la ecuación (1)

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

$$\dot{m}_v = 7.24 \frac{kg}{h} - 2.17 \frac{kg}{h} = 5,07 \frac{kg}{h}$$

- Calculo del flujo másico del vapor vivo mediante el balance de masa y energía aplicando la ecuación (3).

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

$$\dot{m}_s = \frac{5,07 \frac{kg}{h} * 2608,20 \frac{kJ}{kg} + 2,17 \frac{kg}{h} * 207,79 \frac{kJ}{kg} - 7,24 \frac{kg}{h} * 80,79 \frac{kJ}{kg}}{2645,75 \frac{kJ}{kg} - 349,15 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_s = 5,69 \frac{kg}{h}$$

- Calculo de la velocidad de transferencia de calor (q) aplicando la ecuacion (6):

$$q = \dot{m}_s H_{vs} - \dot{m}_s H_{cs}$$

$$q = \left(5,69 \frac{kg}{h}\right) \left(2645,75 \frac{kJ}{h}\right) - \left(5,69 \frac{kg}{h}\right) \left(340,15 \frac{kJ}{h}\right)$$

$$q = 13118,86 = 13,11kW$$

Para que un proceso de evaporacion sea eficiente, la velocidad de transefencia de calor debe ser alta, ademas debe presentar pequeñas areas de evaporacion.

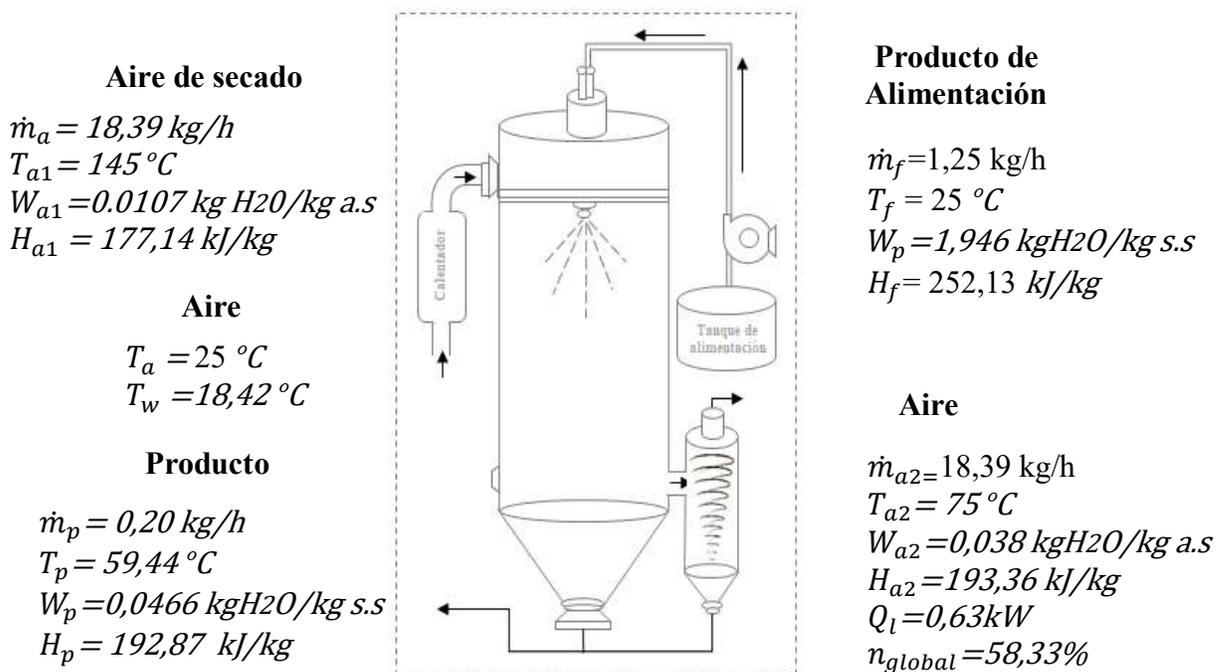
- Calculo de la economia de vapor (Ev) utilizando la ecuacion (7):

$$E_v = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_s} = \frac{5,07 \frac{kg}{h}}{5,69 \frac{kg}{h}} = 0,89$$

Según(Singh & Heldman, 2014), en un sistema de evaporación de simple efecto, la economía de vapor debe ser cercano a 1.El resultado obtenido se encuentra dentro del rango establecido, además se identifica que por cada kilogramo de vapor vivo , se evapora 0,89 kg de agua presente en el jugo de babaco.

#### 4.6.2. ATOMIZACIÓN

En un proceso de atomización el balance de masa y energía se realiza para calcular la cantidad de aire que se necesita para la evaporación del agua contenida en la alimentación. En la Figura 45, se presenta el diagrama correspondiente al balance de masa y energía.



**Figura 45.** Balance de masa y energía del proceso de secado por atomización

- Cálculo de la humedad del aire a la salida en base seca mediante el balance de masa y energía.

$$W_{a2} = \frac{[H_{a1} - C_{pa}(T_{a2} - T_0)](wf - wp) + W_{a1}(H_P - H_f)}{[C_v(T_{a2} - T_0) + \lambda_0](wf - wp) + ((H_P - H_f))}$$

$$W_{a2} = \frac{[177,14 - 1,005(75 - 0)](1,94 - 0,0466) + 0,0107(192,87 - 252,13)}{[1,88(75 - 0) + 2502,53](1,94 - 0,0466) + (192,87 - 252,13)}$$

$$W_{a2} = 0,038 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg aire seco}}$$

➤ Calculo del flujo másico del aire seco mediante el balance de masa.

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{ss} * \frac{(wf - wp)}{(W_{a2} - W_{a1})}$$

$$\dot{m}_a = 0,2652 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1,94 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{ss}} - 0,0466 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{ss}}}{0,038 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} - 0,0107 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}}}$$

$$\dot{m}_a = 18,39 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

➤ Calculo de la tasa de evaporación

$$\dot{E}_{va} = \dot{m}_a(W_{a2} - W_{a1})$$

$$\dot{E}_{va} = 18,39 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left( 0,0466 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} - 0,0107 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg}_{\text{aire seco}}} \right)$$

$$\dot{E}_{va} = 0,66 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{h}}$$

El resultado obtenido indica que en una hora de secado se remueve 0,66 kg de agua en el producto atomizado.

➤ Calculo de la energía y potencia requerida para calentar el aire de entrada hasta la lograr la temperatura del aire de secado.

$$Q = \dot{m}_a C_p \Delta T = \dot{m}_a (C_{pa} + C_v W_{a1}) (T_{a1} - T_{bs})$$

$$Q = 18,39 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left( 1,003 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} + 1,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (0,0107) \right) (145 - 25)$$

$$Q = 2262,22 \frac{kJ}{h} = 0,63kW$$

El valor obtenido demuestra que la potencia requerida es 0,63 kW, dicho valor se encuentra dentro de la potencia disponible en el calentador eléctrico(4,5Kw) del equipo Spray Dryer ARMFIELD FT80. En un proceso de secado por atomización la energía requerida se ve afectada significativamente por las temperaturas del aire entrada y salida demostrando que la energía específica aumenta con el aumento de la temperatura del aire de salida atribuyendo que el contenido de humedad disminuye con el aumento de la temperatura de salida requiriendo más energía para eliminar la humedad residual (Domínguez et al., 2018).

➤ Cálculo de la eficiencia térmica global

$$\eta_{global} = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{a1} - T_b}$$

$$\eta_{global} = \frac{145 - 75}{145 - 25} * 100 = 58,33\%$$

En el proceso se ha obtenido como resultado una eficiencia global térmica de 58,33%. En un proceso de secado por atomización la eficiencia global termina está directamente relacionada con la temperatura de secado y velocidad del flujo de alimentación. A una temperatura de entrada más elevada da mayor estrés térmico y mecánico disminuyendo la eficiencia y viabilidad del proceso (Vivek et al., 2021)

Adicionalmente, la eficiencia del encapsulamiento depende de varios factores tales como: tipo de equipo, temperatura de entrada y salida del aire de saco, presión, el agente encapsulantes y su proporción a utilizar, el flujo másico y contenido de sólidos totales de la alimentación y finalmente el compuesto activo a encapsular (Rivas et al., 2020).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Finalizada la fase experimental se llegó a las siguientes conclusiones:

- Con relación a otras frutas el Babaco es una fruta rica en compuestos antioxidantes, según el registro infométrico científico internacional sobre la capacidad antioxidante en matrices vegetales, el Babaco se encuentra dentro de las 45 frutas con mayor actividad bioactiva.
- Los parámetros del proceso de secado tuvieron efectos significativos, donde el incremento de temperatura de secado, concentración de encapsulantes y flujo de alimentación registraron disminución de la actividad antioxidante en el polvo soluble, mientras el incremento de la temperatura de secado y concentración de encapsulantes resulto favorable en la conservación de los carotenos.
- Los resultados de la evaluación sensorial registraron una pérdida del aroma y sabor característico de la fruta, atribuyendo su degradación al incremento del nivel de temperatura, sin embargo, las diferentes muestras presentaron buena aceptación por parte de los panelistas aludiendo su producción para diversas aplicaciones alimentarias.
- Los parámetros del proceso de secado, estadísticamente presentaron efectos significativos sobre la actividad antioxidante del polvo soluble, por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el comportamiento de compuestos fenólicos durante el proceso de secado por atomización del Babaco.
- Realizar investigaciones que permitan conservar compuestos volátiles que influyen en el aroma característico del Babaco.
- Realizar pruebas de secado por atomización de jugo de Babaco utilizando otros agentes encapsulantes a diferentes concentraciones y evaluar el efecto sobre la estabilidad de la actividad antioxidante.
- Realizar un estudio sobre la aplicación del polvo soluble de Babaco como aditivo para el enriquecimiento de otros productos alimenticios.
- Complementar esta investigación analizando las propiedades físicas de (reconstitución, fundamentales y defectuosas) en el polvo soluble.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martínez, L. A., & Bernad-Bernad, M. J. (2015). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *Lwt*, *64*(2), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>
- Aldaz, A. (2017). *Efecto del 1-metilciclopropeno en la inhibición del etileno en la maduración de Babaco (Vasconcellea x heilbornii var. pentagona)*. 45. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8330/1/T-UCE-0004-01.pdf>
- Araujo, H., 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>
- Arepally, D., & Goswami, T. K. (2019). Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, *99*, 583–593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.022>
- Arguedas, P., Mora, J., & Sanabria, J. (2015). Comparación del contenido de carotenoides en productos nutraceuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca. *Revista Tecnología En Marcha*, *28*(4), 42. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2442>
- ARMPFIELD. (2016). *Tall Form Spray Drier/Chiller. Instruction Manual. Armfield Ltd.*
- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Informacion Tecnologica*, *25*(3), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>

- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). *Scientia Agropecuaria antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano ( Vaccinium corymbosum ) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides*. 7(3), 191–200. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- Auquiñivin, E., & Paucar, L. (2020). Comparative study of the physicochemical characteristics and shelf life of native papayas, “monte papayita” (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch) and “Babaco” (*Carica pentagona* Heilborn) (Caricaceae) dehydrated by lyophilization. *ArnaldoA*, 27(1), 115–128. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100115&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100115&script=sci_abstract&tlng=en)
- Bednarska, M., & Janiszewska, E. (2020). The influence of spray drying parameters and carrier material on the physico-chemical properties and quality of chokeberry juice powder. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 564–577. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04088-8>
- Beltrán, B., Estévez, R., & Olmedilla, B. (2015). Assessment of dietary vitamin A intake (retinol,  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene,  $\beta$ -cryptoxanthin) and its sources in the National Survey of Dietary Intake in Spain (2009-2010). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(6), 706–712. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1077787>
- 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>
- Boussaa, F., Zaouay, F., Burlo-Carbonell, F., Noguera-Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, A., Melgarejo, P., Hernandez, F., & Mars, M. (2020). Growing Location Affects Physical Properties, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Pomegranate Fruit (*Punica granatum* L. var. Gabsi). *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), 508–523.

<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741058>

- Cal, K., & Sollohub, K. (2010). Hardware and Process Parameters. *Spray Drying Technique*, 99(2). <https://doi.org/10.1002/jps.21886>
- Caliskan, 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>
- Can, A., Guzel, O., & Ak, M. (2016). Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(44), 449–455. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7110>
- Cardona, D., Patiño, L., & Ormaza, A. (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)
- Castañón, J., Uresti, R., Soto, M., Adame, R., & Ortiz, R. (2020). Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *Journal of Food*, 18(1), 195–202. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>
- Coro, M. E. (2017). *Evaluación del etileno como agente madurador en Babaco (Vasconcellea x heilbornii var. pentagona)*. 87. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10016/1/T-UCE-0004-19.pdf>
- Cortes, M., Ciro, H., Rodríguez, E., & Largo, E. (2012). Secado Por Aspersión De Concentrado De Caña Panelera : Una Tecnología Apropriada Para. *Vitae*, 19(1), 51–53.
- Dadi, D. W., Emire, S. A., Hagos, A. D., & Eun, J. B. (2019). Effects of spray drying process parameters on the physical properties and digestibility of the microencapsulated product from *Moringa stenopetala* leaves extract. *Cogent Food and Agriculture*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1690316>

- Domínguez, A., Cantú, D., Ragazzo, J., Andrade-González, I., & Luna-Solano, G. (2018). Energy requirements and production cost of the spray drying process of cheese whey. *Drying Technology*, 36(5), 597–608. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1350863>
- Duchitanga, P. (2018). *Análisis de la capacidad antioxidante de frutas y verduras sometidos a congelación y liofilización*. 1(1), 1–23. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8405>
- Eun, J. B., Maruf, A., Das, P. R., & Nam, S. H. (2020). A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3547–3572. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698511>
- 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>
- Garrido, F., Gallo, L., Sette, P., Salvatori, D., & Bucalá, V. (2020). Nutraceutical tablets from maqui berry (*Aristotelia chilensis*) spray-dried powders with high antioxidant levels. *Drying Technology*, 38(9), 1231–1242. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1629589>
- Ghalegi, M., Dehnad, D., & Jafari, S. (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., França, F., Denadai, M., Andrade, J., DOliveira, E., Sousa, E., 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>

- Gong, Z., Yu, M., Wang, W., & Shi, X. (2018). Functionality of spray-dried strawberry powder: Effects of whey protein isolate and maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2229–2238. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1506477>
- González, E., Martínez, O., & Rutiaga-Quiñones. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180–192.
- Instituto Ecuatoriana de Normalización. (2015). *Mezclas en polvo para preparar refrescos. Requisitos (NTE INEN 2471)*. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE\\_INEN\\_839.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_839.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1985). *Conservas vegetales jugos de frutas determinación de la densidad relativa (NTE INEN 391)*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2005). In *Frutas frescas, Babaco, Requisitos (NTE INEN 1998)*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1998.pdf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrologuía. (2020). *INAMHI*.
- Jara, K. (2018). Evaluación del perfil aromático de Babaco (*Vasconcellea x heilbornii*) por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas. In *Universidad Técnica Particular de Loja*.
- Jedlińska, A., Samborska, K., Wiktor, A., Balik, M., Derewiaka, D., Matwijczuk, A., & Gondek, E. (2021). Spray drying of pure kiwiberry pulp in dehumidified air. *Drying Technology*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1871006>
- Jimenez-Sánchez, D. E., Calderón-Santoyo, M., Herman-Lara, E., Gaston-Peña, C., Luna-Solano, G., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2020). Use of native agave fructans as stabilizers on physicochemical properties of spray-dried pineapple juice. *Drying Technology*, 38(3), 293–303. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1565575>
- Juscamaita, F., Pérez, T., Espinoza, C., Quispe, M., Hinostroza, G., Flores, O., &

- Manyari, G. (2017). Evaluación de la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante de la flor de maztuerzo (*Tropaeolum majus* L.) en la microencapsulación por spray-drying. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(3), 282–293. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i3.112>
- Kankanit, K., Chanida, A., Patipan, W., Worakarn, K., & Suttiaphat, C. (2018). Effect of drying air condition and feed composition on the properties of orange juice spray dried powder. *Food Engineering Department*, 192(4), 98–109. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819203013>
- Kasunmala, I. G. G., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2020). Antioxidant Activity and Physicochemical Properties Changes of *Melastoma Malabathricum* (L.) And *Syzygium Caryophyllatum* (L.) Fruit during Ripening. *International Journal of Fruit Science*, 20(S3), S1819–S1828. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1834896>
- Khalilian, M., & Mohebbi, M. (2016). Spray Drying and Process Optimization of Carrot-Celery Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 212–225. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12598>
- Lewoyehu, M., & Amare, M. (2019). Comparative evaluation of analytical methods for determining the antioxidant activities of honey: A review Comparative evaluation of analytical methods for determining the antioxidant activities of honey: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1685059>
- Leyva, C., Saavedra, M., López, L., Espinosa, V., Terán, Y., Toxqui, A., & Compeán, I. (2021). Strawberry juice powders: Effect of spray-drying conditions on the microencapsulation of bioactive components and physicochemical properties. *Molecules*, 26(18), 5466. <https://doi.org/10.3390/molecules26185466>
- Lihui, Z., Min, Z., & Arun, M. (2021). Terahertz Spectroscopy: A Powerful Technique for Food Drying Research. *Food Reviews International*, 00(00).

<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1936004>

- Marques, G. R., Fernandes, R. V. de B., Lago, A. M. T., Borges, S. V., Bertolucci, S. K. V., Lima, A. de J. B., & Botrel, D. A. (2021). Spray-dried thyme essential oil microparticles using different polymeric matrices. *Drying Technology*, *39*(12), 1883–1894. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1871917>
- Matamorros, R. (2018). *Desarrollo de una bebida a base de pulpa de Babaco (Carica pentagona Heilb)y grosella china(averrhoa carambola L).* 1–125. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10267/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-41.pdf>
- Naddaf, L., Avalo, B., & Oliveros, M. (2012). Secado por aspersion de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma ar?biga. *Revista Tecnica de La Facultad de Ingenieria Universidad Del Zulia*, *35*(1), 20–27.
- Nguyen, Q., Dang, T., Nguyen, T. V. L., Nguyen, T. T. D., & Nguyen, N. N. (2022). Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of different carriers on selected physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried and freeze-dried powder. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 359–374. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2044846>
- Ningrum, A., Minh, N. N., & Schreiner, M. (2015). Carotenoids and Norisoprenoids as Carotenoid Degradation Products in Pandan Leaves (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.). *International Journal of Food Properties*, *18*(9), 1905–1914. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.971186>
- Nishad, J., Selvan, C., Mir, S., & Bosco, J. (2017). Effect of spray drying on physical properties of sugarcane juice powder (*Saccharum officinarum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, *54*(3), 687–697. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2507-x>
- Pino, J. A., Aragüez-Fortes, Y., & Bringas-Lantigua, M. (2018). Optimization of spray-drying process for concentrated orange juice. *Acta Alimentaria*, *47*(4), 417–424.

<https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.4>

- Pozo, D. (2021). Evaluación del proceso de enlatado sobre las características funcionales y fisicoquímicas del Babaco Carica pentagona H. en almíbar. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica Del Norte], Repositorio Institucional.
- Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S., Sadeghi, A., & Rajabzadeh, G. (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, *51*, 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.033>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., MinYang, & Rice, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, *26*(9), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- 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*(2), S94–S110. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1707746>
- Robles, A., Herrera, L., & Torres, R. (2016). El Babaco (*Vasconcellea heilbornii* var. pentagona Badillo). Principales agentes fitopatógenos y estrategias de control Babaco (*Vasconcellea heilbornii* var. pentagona Badillo). Major plant pathogens and control strategies. *SciELO*, *43*(2), 83–92.
- Saldanha, P. P. C., 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>
- Sasikumfile, R., Das, M., & Deka, S. C. (2020). Process optimization for the production of blood fruit powder by spray drying technique and its quality evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(6), 2269–2282.

<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04264-1>

- Schutysen, M. A. I., Both, E. M., Siemons, I., Vaessen, E. M. J., & Zhang, L. (2019). Gaining insight on spray drying behavior of foods via single droplet drying analyses. *Drying Technology*, 37(5), 525–534. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1482908>
- Selvamuthukumaran M, C. T. & J. S. (2019). Spraying Drying Concept, Application and Its Recent Advances in Food Processing. In *Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries* (pp. 1–30). <https://doi.org/10.1201/9780429055133-1>
- 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>
- Shofinita, D., & Langrish, T. A. G. (2016). Redox (pro-oxidant/antioxidant) balance in the spray drying of orange peel extracts. *Drying Technology*, 34(14), 1719–1725. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1175471>
- Simbaña, P. (2018). Evaluación de la aplicación de dos aceites esenciales en Babaco (*Vasconcellea heilbornii* Heiborn.) para conservación a dos temperaturas de almacenamiento. *Universidad Central Del Ecuador*, 1, 2–3.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Introduction to Food Engineering. In *Introduction to Food Engineering: Fifth Edition*. <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>

Song, J., Wang, X., Li, D., & Liu, C. (2017). Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices during microwave-vacuum drying. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S632–S643.  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1306553>

Souza, M., Santos, A., Converti, A., & Maciel, M. (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>

Stafussa, A., Maciel, G., Rampazzo, V., Bona, E., Makara, C., Junior, B., Windson, C., Paula, A., Maciel, G. M., & Rampazzo, V. (2018). Bioactive compounds of 44 traditional and exotic Brazilian fruit pulps : phenolic compounds and antioxidant activity. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 106–118.  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1409761>

Suarez, A. (2015). Adaptabilidad del cultivo de Babaco (*Carica pentagona*), con dos fertilizantes quimicos en diferentes dosis en la finca san vicente de chaca del cantón ,Pangua Cotopaxi, año 2013. *Diseño de Un Manual de Técnicas de Motivación Para Fortalecer El Autoestima y Mejorar El Aprendizaje En Los Niños/as de 5 a 6 Años*, 68. [repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf](https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf)

Suhag, Y., & Nanda, V. (2015). Optimisation of process parameters to develop nutritionally rich spray-dried honey powder with vitamin C content and antioxidant properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(8), 1771–1777. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12841>

Sze, Y., & Indrawati, O. (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>

- Tay, J. B. J., Ang, C., Goh, K. K. T., Subramanian, G. S., Tan, S. Y., Lin, E. M. J., Wu, W. Y., & Lim, K. (2022). Continuous low-temperature spray drying approach for efficient production of high quality native rice starch. *Drying Technology*, *40*(9), 1758–1773. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1874967>
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science and Technology*, *63*, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>
- Tupuna, D., Paese, K., Guterres, S., Jablonski, A., Flores, S., & Rios, A. (2018). Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. *Industrial Crops and Products*, *111*, 846–855. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.001>
- Vargas, D. P., Cardoso da Si, L., Neves de Oliveira, L. A., Teixeira Godoy, H., & Kurozawa, L. E. (2021). 5-caffeoylquinic acid retention in spray drying of cocona, an Amazonian fruit, using hydrolyzed collagen and maltodextrin as encapsulating agents. *Drying Technology*, *39*(12), 1854–1868. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1861004>
- Vásquez, I. A., Muñiz Márquez, D., Ascacio Valdés, J. A., Contreras Esquivel, J. C., Aguilar, C. N., Rodríguez-Herrera, R., & Flores-Gallegos, A. C. (2022). Co-microencapsulation: a promising multi-approach technique for enhancement of functional properties. *Bioengineered*, *13*(3), 5168–5189. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037363>
- Velásquez, 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>
- Vivek, K., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2021). Optimization of Spray Drying Conditions for Developing Nondairy Based Probiotic Sohiong Fruit Powder. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 193–204. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1864567>
- Wang, Y., Yang, F., Liu, T., Zhao, C., Gu, F., & Du, H. (2022). Carotenoid fates in plant foods: Chemical changes from farm to table and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2115002>
- Xueying, M., Yang, W., Kallio, H., & Yang, B. (2022). Health promoting properties and sensory characteristics of phytochemicals in berries and leaves of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(14), 3798–3816. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1869921>
- Yafari, S. M., & Samborska, K. (2021). Spray drying for the retention of food bioactive compounds and nutraceuticals—150th anniversary of spray drying. *Drying Technology*, 39(12), 1773. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1972521>
- Yajing, Y., & Lv, Y. (2019). Degradation kinetic of anthocyanins from rose (*Rosa rugosa*) as prepared by microencapsulation in freeze-drying and spray-drying. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 2009–2021. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1701011>
- Yousefi, S., Djomet, E., Mousiva, M., Kobarfard, F., & Zbicinski, I. (2014). Drying Technology: An International Journal Retention Rate Enhancement of Antioxidant and Cyaniding 3-O-Glucoside Components of the Reconstituted Product from Spray-Dried Black Raspberry Juice by Optimizing Process Parameters Retention Rate Enhancement o. *Drying Technology*, 32(14), 1683–1691. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.919000>

- Zhang, C., & Li, B. (2020). Fabrication and stability of carotenoids-loaded emulsions stabilized by soy protein isolate. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 12(11), 1689–1694. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1791718>
- Zurita, D. (2021). *Análisis informétrico de la producción científica internacional sobre la capacidad antioxidante en matrices vegetales*, [Universidad Central del Ecuador] Repositorio institucional.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Resultados de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del polvo soluble.

➤ **Humedad (%)**

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	II		
T1	A1B1C1	4,69	4,79	4,74	4,74	0,05
T2	A1B1C2	4,75	4,74	4,79	4,75	0,03
T3	A1B2C1	4,55	4,75	4,69	4,66	0,11
T4	A1B2C2	4,62	4,65	4,61	4,62	0,02
T5	A2B1C1	4,65	4,69	4,60	4,65	0,05
T6	A2B1C2	4,70	4,65	4,48	4,61	0,12
T7	A2B2C1	4,34	4,48	4,52	4,45	0,10
T8	A2B2C2	4,50	4,39	4,64	4,50	0,12

➤ **Acidez Titulable (%)**

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	II		
T1	A1B1C1	0,45	0,45	0,45	0,45	0,00
T2	A1B1C2	0,43	0,43	0,43	0,43	0,00
T3	A1B2C1	0,46	0,46	0,46	0,46	0,00
T4	A1B2C2	0,46	0,46	0,46	0,46	0,00
T5	A2B1C1	0,43	0,43	0,43	0,43	0,00
T6	A2B1C2	0,42	0,42	0,42	0,42	0,00
T7	A2B2C1	0,43	0,43	0,43	0,43	0,00
T8	A2B2C2	0,43	0,43	0,43	0,43	0,00

➤ **Carotenos Totales**

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	15,85	15,86	15,87	15,86	0,01
T2	A1B1C2	15,33	15,32	15,33	15,33	0,00
T3	A1B2C1	16,56	16,55	16,57	16,56	0,01
T4	A1B2C2	15,81	15,82	15,83	15,82	0,01
T5	A2B1C1	16,42	17,41	17,43	17,08	0,58
T6	A2B1C2	16,35	16,34	16,33	16,34	0,01
T7	A2B2C1	18,62	18,63	18,61	18,62	0,01
T8	A2B2C2	17,95	17,94	17,92	17,94	0,02

➤ **Capacidad Antioxidante ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )**

Tratamiento	Descripción	Repeticiones			Media	Desviación estándar
		I	II	III		
T1	A1B1C1	58,74	58,74	59,12	58,87	0,20
T2	A1B1C2	57,34	57,35	57,39	57,36	0,03
T3	A1B2C1	56,75	56,75	56,76	56,75	0,01
T4	A1B2C2	55,89	56,87	56,85	56,87	0,02
T5	A2B1C1	54,15	54,12	54,14	54,14	0,02
T6	A2B1C2	52,94	52,95	52,95	52,95	0,01
T7	A2B2C1	52,75	52,76	52,75	52,75	0,01
T8	A2B2C2	50,09	50,07	50,06	50,07	0,02

**Anexo 2.** Resultados de la prueba de diferencia significativa Tukey

➤ **Humedad (%)**

Muestra	Media	Agrupación
T2	4,76	a
T1	4,74	a b
T3	4,66	a b c
T5	4,65	a b c
T4	4,62	a b c
T6	4,61	a b c
T8	4,50	b c
T7	4,45	c

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Acidez Titulable (%)**

Muestra	Media	Agrupación
T4	0,46	a
T3	0,45	b
T1	0,45	b
T2	0,43	c
T5	0,43	c
T7	0,43	c d
T8	0,43	d
T6	0,42	e

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*

➤ **Carotenos totales**

Muestra	Media	Agrupación
T7	18,62	a
T8	17,93	b
T5	17,08	c
T3	16,56	c d
T6	16,34	d e
T1	15,86	e f
T4	15,82	e f
T2	15,32	f

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Actividad antioxidante**

Muestra	Media	Agrupación
T1	58,87	a
T2	57,36	b
T3	56,87	c
T4	56,75	c
T5	54,14	d
T6	52,95	e
T7	52,75	e
T8	50,07	f

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Aceptabilidad de las propiedades sensoriales**

➤ **Color**

Tratamiento	Media	Agrupación
T4	4,3000	a
T1	4,267	a
T5	4,233	a
T3	4,233	a
T2	4,233	a
T8	4,200	a
T7	4,200	a
T6	4,200	a

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Sabor**

Tratamiento	Media	Agrupación
T1	3,6000	a
T2	3,400	a b
T3	3,367	a b
T5	3,333	a b
T4	3,300	a b
T6	3,2333	a b
T7	3,167	a b
T8	2,967	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Aroma**

Tratamiento	Media	Agrupación
T3	3,567	a
T1	3,400	a b
T2	3,300	a b
T4	3,2333	a b
T7	3,200	a b
T5	3,167	a b
T6	3,100	a b
T8	3,0000	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Aceptabilidad**

Tratamiento	Media	Agrupación
T1	3,567	a
T3	3,500	a b
T4	3,333	a b
T2	3,300	a b
T8	3,267	a b
T6	3,233	a b
T5	3,167	a b
T7	2,900	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*

### Anexo 3. Pruebas DMS

#### ➤ **Humedad (%)**

Factor A (Temperatura de Secado Entrada -Salida)

Temperatura	Media	Agrupación
145	4,49	a
165	4,55	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor B (Concentración de Encapsulantes)

Concentración	Media	Agrupación
15	4,68	a
21	4,56	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### ➤ **Acidez Titulable**

Factor A (Temperatura de Secado Entrada -Salida)

Temperatura	Media	Agrupación
145	0,45	a
165	0,42	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor B (Concentración de Encapsulantes)

Concentración	Media	Agrupación
21	0,44	a
15	0,43	a

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor C (Flujo de Alimentación)

Alimentación	Media	Agrupación
18	0,44	a
26	0,43	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Carotenoides Totales**

Factor A (Temperatura de Secado Entrada -Salida)

Temperatura	Media	Agrupación
165	17,49	a
145	15,89	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor B (Concentración de Encapsulantes)

Concentración	Media	Agrupación
21	17,23	a
15	16,15	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor C (Flujo de Alimentación)

Alimentación	Media	Agrupación
18	17,03	a
26	16,35	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

➤ **Capacidad Antioxidante (μmol Trolox/g)**

Factor A (Temperatura de Secado Entrada - Salida)

Temperatura	Media	Agrupación
145	57,46	a
165	52,47	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor B (Concentración de Encapsulantes)

Concentración	Media	Agrupación
15	55,83	a
21	54,11	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Factor C (Flujo de Alimentación)

Alimentación	Media	Agrupación
18	55,62	a
26	54,31	b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Anexo 4. Ficha de evaluación sensorial



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
 AMBIENTALES  
 CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL**

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE SECADO POR ATOMIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL BABACO *Carica pentagona*”.

Instrucciones:

- Observar y degustar cuidadosamente cada una de las muestras del jugo de bahaco rehidratado.
- En la matriz de evaluación sensorial marque con una X la respuesta que considere adecuada basándose en la siguiente información.
  - Color: el producto disuelto en agua se asemeja al jugo de la fruta en estudio.
  - Sabor: Es ligeramente ácido al jugo natural de la fruta.
  - Olor: presentar un olor característico a la fruta.
- Para degustar la siguiente muestra tomar un tiempo de descanso y enjuagar la boca con agua.

Propiedades organolépticas	Alternativas de Satisfacción	Tratamientos																
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8									
Color	Gusta mucho	5																
	Gusta	4																
	Ni gusta ni disgusta	3																
	Disgusta	2																
	Disgusta mucho	1																
Aroma	Gusta mucho	5																
	Gusta	4																
	Ni gusta ni disgusta	3																
	Disgusta	2																
	Disgusta mucho	1																
Sabor	Gusta mucho	5																
	Gusta	4																
	Ni gusta ni disgusta	3																
	Disgusta	2																
	Disgusta mucho	1																
Aceptabilidad	Gusta mucho	5																
	Gusta	4																
	Ni gusta ni disgusta	3																
	Disgusta	2																
	Disgusta mucho	1																

Observaciones:  
 .....  
 .....

**Gracias por su colaboración**

#### Anexo 5. Análisis de aceptabilidad sensorial



## **Anexo 6.** Determinación de la densidad relativa

La densidad se determinó utilizando un picnómetro de acuerdo la metodología descrita en la Norma Técnica Ecuatoriana (ITE INEN 391, 1985) Inicialmente se debe pesar el picnómetro debidamente limpio y seco con una precisión de 0,1 mg, seguidamente se debe llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca referente, impidiendo la formación de burbujas de aire, y colocar la tapa. Luego se debe secar exteriormente el picnómetro y pesarlo con aproximación al 0,1 mg y anotar su peso respectivo. Posterior a esto el picnómetro se debe vaciar, secar y limpiar cuidadosamente y colocar la muestra hasta la marca referente de igual manera se debe evitar la formación de burbujas de aire y tapar, finalmente se debe pesar el picnómetro y anotar su peso.



### **Cálculos:**

La determinación de la densidad relativa se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (16)$$

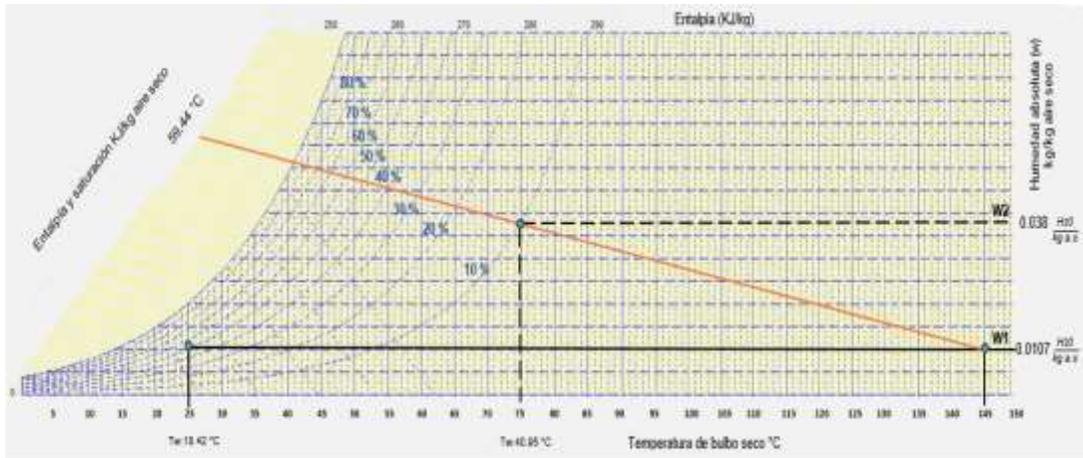
### **Donde:**

- $d$  = densidad relativa
- $m_1$  = masa del picnómetro vacío en (g)
- $m_2$  = masa del picnómetro con agua en (g)
- $m_3$  = masa del picnómetro con la muestra en (g)

## Anexo 7. Formulas secado por atomización

Variable	Resultado	Formula
Densidad alimentación (kg/m <sup>3</sup> )	1050,1	$\rho = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}$
Calor específico alimentación (kJ/kg°C)	3,05	$C_p = \sum_{i=1}^n C_{p_i} X_i$
Humedad alimentación base seca (kgH <sub>2</sub> O/kg s. s)	1,94	$w_f = \frac{100 - \%_{0SS}}{\%_{0SS}}$
Humedad del producto en base seca (kgH <sub>2</sub> O/kg s. s)	0,446	$w_p = \frac{100 - \%_{0SS}}{\%_{0SS}}$
Entalpía de alimentación (kJ/kg)	252,13	$H_f = (C_{pf} + w_f + C_{pw})(T_f - T_0)$
Entalpía del producto (kJ/kg)	192,87	$H_p = (C_{pp} + w_p + C_{pw})(T_p - T_0)$
Humedad del aire de entrada en base seca: (kgH <sub>2</sub> O/kg a. s)	0,0107	$W_{a2} = 0,622 \frac{P_v}{P - P_v}$
Humedad relativa del aire Ø (%)	53,43	Diagrama psicrométrico – Anexo 8
Calor latente de vaporización (kJ/kg)	2502,53	$\lambda_0 = 2502,535 - 2,385T_w + 1,8389T_w^2 + 1,8616 \times 10^{-5} T_w^3,$
Entalpía del aire de secado a la entrada (kJ/kg)	177,14	$H_{a1} = C_{pa}(T_{a1} - T_0) * 1,88 + W_1 \lambda$
Entalpía del aire de secado a la salida (kJ/kg)	193,36	$H_{a2} = C_{pa}(T_{a2} - T_0) * 1,88 + W_2 \lambda$
Temperatura del producto (°C)	59,44	$MLDT = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \left( \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}} \right)}$
Propiedades físicas del agua y aire		Apéndice A.4

## Anexo 8. Diagrama psicrométrico



### ➤ Cálculos de Secado por Atomización

- Flujo másico de sólidos secos en la alimentación.

$$\dot{m}_{sf} = \frac{\dot{m}_f * \%_{ss}}{100} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{sf} = \frac{0,78 \frac{kg}{h} * 34\%}{100\%} = 0,265$$

- Flujo másico de alimentación

$$\dot{m}_f = \frac{\rho v}{t} \quad (18)$$

$$\dot{m}_f = \frac{1050 \frac{kg}{m^3} * 0,00075 m^3}{0,63 h} = 1,25 \frac{kg}{h}$$

- Flujo másico del producto seco

$$\dot{m}_p = \frac{\rho v}{t} \quad (19)$$

$$\dot{m}_p = \frac{\rho v}{t}; = \frac{875 \frac{kg}{m^3} * 0,00015 m^3}{0,58 h} = 0,20 \frac{kg}{h}$$

- **Temperatura del producto:**

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

$$MLDT = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} \quad (20)$$

**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 20

$$MLDT = \frac{(145 - 25) - (75 - 25)}{\ln\left(\frac{145 - 25}{75 - 25}\right)}$$

$$MLDT = T_p = 59,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Humedad absoluta del aire que entra a la cámara de secado**

a)  $T_a = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

b)  $RH\% = 53,43 \%$

$$W_{a_1} = 0,0107 \frac{kg_2O}{kg \text{ a.s}} \quad (\text{Tabla psicométrica})$$

- **Humedad del producto inicial y final**

$$w_{f.} = \frac{100 - \%_{sf}}{\%_{sf}} \quad w_{p.} = \frac{100 - \%_{sf}}{\%_{sf}} \quad (21)$$

**Donde:**

➤  $w_{f.}$  = humedad del producto de alimentacion

➤  $\%_{sf}$  = porcentaje de solidos (%)

Reemplazando en la formula (8) tenemos:

$$wf. = \frac{100-34}{34} = 1,94 \quad wp. = \frac{100-95,55}{95,55} = 0,0466$$

- **Calculo de la entalpia del producto de alimentación y en polvo**

$$H_f = Cp_f(T_f - T_o) + w_f Cp_w(Tp_1 - T_o) \quad (22)$$

$$H_p = Cp_p(T_p - T_o) + w_p Cp_w(Tp_2 - T_o) \quad (23)$$

**Donde:**

- $Cp_f$  = Calor específico del producto.

$$Cp_f = 0,837 + 3,349Xf$$

$$Cp_f = 0,837 + 3,349(0,34)$$

$$Cp_f = 1,976 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$$

$$Cp_p = 0,837 + 3,349Xp$$

$$Cp_p = 0,837 + 3,349(0,66)$$

$$Cp_p = 3,05 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$$

- $Cp_w$  = Calor específico del agua

$$Cp_w = 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * ^\circ C}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 22

$$H_f = 1,976 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} (25 - 0)^\circ C + 1,94 \frac{kg H_2O}{Kg s. s} * 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * ^\circ C} (25 - 0)^\circ C$$

$$H_f = 252,13 \frac{kJ}{kg}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 23

$$H_p = 3,05 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} (59,44 - 0)^\circ C + 0,0466 \frac{kg H_2O}{Kg s.s} * 4,18 \frac{kJ}{kg H_2O * ^\circ C} (59,44 - 0)^\circ C$$

$$H_p = 192,87 \frac{kJ}{kg}$$

- **Calculo del calor latente de vaporización**

Su valor se puede calcular con la siguiente expresión

$$\lambda_0 = 2502,535 - 2,385T_w + 1,8389T_w^2 + +1,8616 \times 10^{-5} T_w^3 \quad (24)$$

Considerando que este valor se debe multiplicar con la humedad especifica su variación respecto a la temperatura su variación puede considerarse despreciable por lo se recomienda utilizar un valor constante de:

$$\lambda_0 = 2502,53$$

- **Cálculo de Entalpía del aire de entrada (Ha)**

$$Ha_1 = Cpa_1(Ta_1 - To) + W_1\lambda \quad (25)$$

**Donde:**

$$\lambda_0 = \text{Calor latente del aire} \quad \lambda_0 = 2502,535$$

- Calor especifico del aire de entrada

$$Cpa_1 = 1,005 + 1,88W_{a_1} \quad Cpa_1 = 1,005 + 1,88 \left( 0,0107 \frac{kg H_2O}{kg a.s} \right)$$

$$Cpa_1 = 1,037 \frac{KJ}{Kg * K}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 25

$$Ha_1 = 1,037 \frac{KJ}{Kg * K} (145 - 0) + 0,0107 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s} * 2502,53 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Ha_1 = 177,14 \frac{KJ}{Kg}$$

- **Cálculo de la humedad del aire a la salida**

$$W_{a2} = \frac{[H_{a1} - C_{pa}(T_{a2} - T_0)](wf - wp) + W_{a1}(H_P - H_f)}{[C_V(T_{a2} - T_0) + \lambda_0 ](wf - wp) + ((H_P - H_f))}$$

$$W_{a2} = \frac{[177,17 - 1,005(75 - 0)](1,94 - 0,0466) + 0,0107(192,87 - 252,13)}{[1,88(75 - 0) + 2502,53](1,94 - 0,0466) + (192,87 - 252,13)}$$

$$W_{a2} = 0,038 \frac{kg H_2O}{kg aire seco}$$

- **Cálculo de Entalpía del aire de salida (Ha)**

$$Ha_2 = Cpa_2(Ta_2 - To) + W_2\lambda \quad (26)$$

- Calor específico del aire de salida

$$Cpa_2 = 1,005 + 1,88W_{a2} \quad Cpa_2 = 1,005 + 1,88(0,038 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s})$$

$$Cpa_2 = 1,08 \frac{KJ}{Kg * K}$$

Reemplazamos los datos en Ecuación 26

$$Ha_2 = 1,08 \frac{KJ}{Kg * K} (75 - 0) K + 0,0449 \frac{Kg H_2O}{Kg a.s} * 2502,53 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Ha_2 = 193,36 \frac{KJ}{Kg}$$

- **Cálculo de masa del aire**

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{ss} * \frac{(wf - wp)}{(W_{a2} - W_{a1})}$$

$$\dot{m}_a = 0,2652 * \frac{1,94 - 0,0466}{0,038 - 0,0107} = 18,39$$

## TERMINOLOGÍAS

$\rho$  = Densidad de la solución ( $K/m^3$ )

$C_{pf}$  = calor específico de la alimentación inicial (kJ/kg K)

$C_{pp}$  = calor específico del producto final (kJ/kg K)

$C_{pw}$  = calor específico del agua (kJ/kg K)

$C_{pv}$  = calor específico del agua (kJ/kg K)

$C_{pa}$ : calor específico del aire de entrada (kJ/kg K)

$\lambda_0$  = calor latente de vaporización

$T_0$  = temperatura de referencia ( $^{\circ}C$ )

$T_{am}$  = temperatura de bulbo seco del aire ambiente ( $^{\circ}C$ )

$T_w$  = temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente ( $^{\circ}C$ )

$T_{a1}$  = temperatura del aire de secado a la entrada ( $^{\circ}C$ )

$T_{a2}$  = temperatura del aire de secado a la salida ( $^{\circ}C$ )

$T_f$  = temperatura del producto de alimentación ( $^{\circ}C$ )

$T_p$  = temperatura del producto final ( $^{\circ}C$ )

MLDT = Temperatura media logarítmica ( $^{\circ}C$ )

$H_{a1}$  = entalpía del aire de secado a la entrada (kJ/kg\*h)

$H_{a2}$  = entalpía del aire de secado a la salida (kJ/kg\*h)

$H_f$  = entalpía de la alimentación (kJ/kg\*h)

$W_{a1}$  = Humedad del aire de secado a la entrada en base seca (kg H<sub>2</sub>O/kg a.s)

$W_{a2}$  = Humedad del producto en base seca (kg H<sub>2</sub>O/kg a.s)

$w_f$  = Humedad del producto de alimentación (kg H<sub>2</sub>O/kg s.s)

$w_p$  = Humedad del producto final (kg H<sub>2</sub>O/kg s.s)

$\phi$ : Humedad relativa del aire ambiente (%)

$\dot{m}_a$  = flujo másico del aire de secado (kg/h)

$\dot{m}_{sf}$  = flujo másico de sólidos secos en la alimentación (kg/h)

$\dot{m}_f$  = flujo másico del producto de alimentación (kg/h)

$\dot{m}_p$  = flujo másico del producto final (kg/h)