



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA**



**ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES TOTALES  
DE EXTRACTOS DE MASHUA SILVESTRE MORADO POR  
EL MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**PASTOR PACHACUTEC APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS Y  
FENOLES TOTALES DE EXTRACTOS DE  
MASHUA SILVESTRE MORADO POR EL  
MÉTODO

AUTOR

PASTOR PACHACUTEC APAZA

RECuento DE PALABRAS

14071 Words

RECuento DE CARACTERES

83004 Characters

RECuento DE PÁGINAS

91 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.2MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 11, 2024 9:18 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 11, 2024 9:19 PM GMT-5

### ● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 11 palabras)



*Ensueño Romero*  
Dr. Lidia Ensueño Romero Inui

Documen



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Juan Venancio y Fortunata Raymunda, que hicieron todo lo posible para que termine mi educación universitaria y ahora desde el cielo iluminen el presente trabajo, por su amor, apoyo y aliento en todo momento. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por enseñarme a perseguir mis sueños con pasión y determinación. Este logro no habría sido posible sin su constante apoyo y confianza en mí.

**Pastor Pachacutec Apaza**



## AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han aportado de diversas maneras al desarrollo de este trabajo de tesis. En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, específicamente a la Facultad de Ingeniería Química y a la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por brindarme una sólida formación profesional. Agradecer a Dios por permitirme a realizar el presente trabajo igualmente, agradecer a mi director/asesor de tesis, D. Sc. Lidia Ensueño Romero Iruri, por la guía, paciencia y apoyo constante brindados a lo largo de todo el proceso de investigación. Las valiosas sugerencias y comentarios han desempeñado un papel fundamental en la consecución de los objetivos establecidos. También, deseo reconocer la colaboración de mis hijos, Cinthya, Erika, Jhogan y Lionel, en el desarrollo de la investigación. Agradezco especialmente a Gladys por su insistencia en la presentación y culminación de este proyecto.

**Pastor Pachacutec Apaza**



# INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>INDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos .....	17
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
<b>1.4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>18</b>
1.4.1. Hipótesis general .....	18
1.4.2. Hipótesis específicas .....	19



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.2.1.	Temperatura de entrada de aire y salida.....	26
2.2.2.	Materiales microencapsulantes .....	27
2.2.3.	Estructura de las microcápsulas .....	28
2.2.4.	Encapsulación de polifenoles .....	29
2.2.5.	Compuestos bioactivos.....	29
2.2.6.	Antocianinas.....	30
2.2.7.	Los polifenoles .....	31
2.2.8.	Polifenoles en frutas y vegetales .....	33
2.2.9.	Encapsulación.....	33
2.2.10.	Secado por atomización .....	35

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>39</b>
3.2.1.	Materia prima .....	39
3.2.2.	Equipos de laboratorio .....	39
3.2.3.	Reactivos .....	40
<b>3.3.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN DE MASHUA MORADO SILVESTRE.....</b>	<b>40</b>
3.3.1.	Muestreo de mashua silvestre .....	40
3.3.2.	Análisis químico de mashua silvestre .....	41



3.3.3.	Determinación de antocianinas totales .....	43
3.3.4.	Determinación de fenoles totales .....	44
<b>3.4.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL ENCAPSULANTE.....</b>	<b>45</b>
3.4.1.	Extracción de antocianinas y fenoles totales.....	46
3.4.2.	Preparación de solución de suspensión .....	46
<b>3.5.</b>	<b>METODOLOGÍA DE DETERMINAR LA TEMPERATURA DE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....</b>	<b>47</b>
3.5.1.	Operación de equipo atomizador.....	48
3.5.2.	Diseño experimental de dos factores y tres niveles.....	49
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
<b>4.1.</b>	<b>RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE MASHUA SILVESTRE .....</b>	<b>51</b>
4.1.1.	Composición química de mashua silvestre morado .....	51
4.1.2.	Componentes bioactivos .....	52
<b>4.2.</b>	<b>RESULTADOS DE DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DEL ENCAPSULANTE .....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Diseño factorial de dos factores para el proceso de secado por atomización .....	54
<b>4.3.</b>	<b>RESULTADOS PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIANZA.....</b>	<b>58</b>
<b>4.5.</b>	<b>MODELO MATEMÁTICO PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS .....</b>	<b>60</b>



<b>4.6. OPTIMIZACIÓN PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS.....</b>	<b>61</b>
<b>4.7. SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA ANTOCIANINAS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.8. SUPERFICIE DE CONTORNO PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS .....</b>	<b>64</b>
<b>4.9. PROPIEDADES DEL PRODUCTO OBTENIDO EN POLVO ENCAPSULADO .....</b>	<b>67</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

**Área: INGENIERIA DE PROCESOS**

**Tema: ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES TOTALES DE EXTRACTOS DE MASHUA SILVESTRE MORADO POR EL MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19/01/2024**





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág .</b>
<b>Tabla 1</b> Las estructuras de las antocianinas comunes en la naturaleza .....	31
<b>Tabla 2</b> Composición química de mashua silvestre morado .....	51
<b>Tabla 3</b> Compuestos fenólicos y antocianinas en mashua silvestre morado.....	52
<b>Tabla 4</b> Compuestos fenólicos y antocianinas en extractos de mashua silvestre morado .....	54
<b>Tabla 5</b> Compuestos fenólicos y antocianinas en polvo encapsulado.....	54
<b>Tabla 6</b> Resultados de rendimiento de encapsulación de antocianinas.....	56
<b>Tabla 7</b> Resultados de rendimiento de encapsulación de fenoles .....	57
<b>Tabla 8</b> Resultados de rendimiento de encapsulación de fenoles y antocianinas .....	57
<b>Tabla 9</b> Análisis de varianza para encapsulación de antocianinas .....	58
<b>Tabla 10</b> Resumen del modelo.....	59
<b>Tabla 11</b> Coeficiente de regresión del modelo matemático.....	60
<b>Tabla 12</b> Optimización de variable respuesta .....	61
<b>Tabla 13</b> Propiedades de producto encapsulado .....	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructura de antocianina .....	31
<b>Figura 2</b> Diagrama de flujo de encapsulado de antocianinas y fenoles.....	45
<b>Figura 3</b> Diagrama de pareto de efectos estandarizados .....	62
<b>Figura 4</b> Superficie de respuesta estimada para rendimiento de encapsulación.....	63
<b>Figura 5</b> Gráfico de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	64
<b>Figura 6</b> Gráfico sobrepuesto para rendimiento de encapsulación de antocianinas..	65
<b>Figura 7</b> Gráfico de residuo estandarizado para rendimiento de encapsulación .....	66
<b>Figura 8</b> Gráfico de efectos principales para encapsulación de antocianinas .....	66
<b>Figura 9</b> Colores de antocianinas encapsuladas .....	68
<b>Figura 10</b> Antocianina microencapsulada de mashua silvestre morado.....	69



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Panel fotográfico.....	79
<b>ANEXO 2</b> Certificados de análisis.....	82
<b>ANEXO 3</b> Curva de calibración para determinación de fenoles totales .....	89
<b>ANEXO 4</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	90
<b>ANEXO 5</b> Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	91



## ACRÓNIMOS

pH:	Potencial del hidrogeno
M:	Molar
N:	Normal
mg/L:	Miligramos por litro
mg/g:	Miligramos por gramo
mg/100g:	Miligramos por 100 gramos
μL:	Micro litro
mL:	Mililitros
g:	Gramos
g/cm <sup>3</sup> :	Gramos por centímetro cúbico
UV:	Ultravioleta
Vis:	Visible
AOAC:	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
A:	Absorbancia
MW:	Peso molecular
FD:	Factor de dilución
V:	Volumen
ANOVA:	Análisis de varianza



## RESUMEN

La mashua morada silvestre es un tubérculo andino que crece en forma natural en diferentes lugares de la Región de Puno, contienen compuestos antioxidantes como los fenoles y antocianinas. Debido a sus propiedades antioxidantes juegan un papel importante en la eliminación de radicales libres e inhibición oxidativa de enzimas, razón por lo que son utilizados por los pobladores andinos para curaciones de enfermedades urinarias de la próstata. El objetivo del presente trabajo de investigación es caracterizar y encapsular compuestos fenólicos y antocianinas de extractos mashua morada silvestre mediante el proceso de secado por atomización. En la primera parte se ha caracterizado la composición química mediante métodos gravimétricos (AOAC) y espectrofotométrico, cuyos componentes principales son: proteína 7.11 g/100g, carbohidratos 82.17 g/100g, fibras 5.16 g/100g, así como minerales fosforo 135.10 mg/100g, calcio 33.86 mg/100g y hierro 7.23 mg/100g. La mashua morado silvestre contiene antocianinas totales 60.2 mg/100g y fenólicos totales 16.8 mg/100g. En la segunda parte se realizó la encapsulación de fenoles y antocianinas a partir de extracto de mashua morado silvestre mediante secado por atomización, en este proceso se determinó que la concentración de maltodextrina óptima es de 20% y la temperatura de secado por atomización fue de 160°C. La eficiencia de encapsulación de antocianinas fue de 89% y de fenoles 86%. Las pruebas de obtención de producto en polvo encapsulado se realizaron en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química. Se obtuvo un producto en polvo encapsulado con características organolépticas adecuadas para consumo.

**Palabras clave:** Antocianinas, encapsulación, Mashua silvestre, secado por atomización, maltodextrina.



## ABSTRACT

The wild “mashua morada” is an Andean tuber that grows naturally in different places in Puno Region. It contains antioxidant compounds such as phenols and anthocyanins. Due to their antioxidant properties, they play an important role in the elimination of free radicals and oxidative inhibition of enzymes, which is why they are used by Andean people to cure urinary diseases of the prostate. The objective of this research is to characterize and encapsulate phenolic compounds and anthocyanins from wild mashua morada extracts through the spray drying process. In the first part, the chemical composition has been characterized by gravimetric (AOAC) and spectrophotometric methods, whose main components are: protein 7.11 g/100g, carbohydrates 82.17 g/100g, fibers 5.16 g/100g, as well as phosphorus minerals 135.10 mg/100g, calcium 33.86 mg/100g and iron 7.23 mg/100g. Wild purple mashua contains total anthocyanins 60.2 mg/100g and total phenolics 16.8 mg/100g. In the second part, the encapsulation of phenols and anthocyanins was carried out from wild purple mashua extract by spray drying. In this process, it was determined that the optimal maltodextrin concentration is 20% and the spray drying temperature was 160 °C. The encapsulation efficiency of anthocyanins was 89% and that of phenols 86%. The tests to obtain the encapsulated powder product were carried out in the Unit Operations laboratory of Chemical Engineering Faculty. An encapsulated powder product with organoleptic characteristics suitable for consumption was obtained.

**Keywords:** Anthocyanins, encapsulation, wild Mashua, spray drying, maltodextrin



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La técnica de microencapsulación es un proceso físico que convierte de líquidos en sólidos, permite incorporar actividades funcionales y mejora la estabilidad oxidativa de compuestos bioactivos. Además, realiza la función de ocultar los sabores y olores desagradables presentes en los productos encapsulados, resguardando los compuestos bioquímicos de procesos no deseados como la oxidación y reacciones indeseables, así como de condiciones adversas como la luz, el calor y los gases, contribuyendo a prolongar la vida útil de dichos productos. En el caso de la mashua morada silvestre, contiene compuestos fenólicos y antocianinas de relevancia, los cuales desempeñan un papel crucial en la salud humana al poseer propiedades antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, la inflamación crónica y trastornos neurodegenerativos.

La encapsulación es un proceso que crea una barrera (una matriz o cubierta polimérica) sobre el activo componente que inhibe las interacciones químicas; protege contra los efectos de factores ambientales (por ejemplo, temperatura, pH, enzimas y oxígeno); y permite la liberación controlada del componente activo bajo ciertas condiciones ambientales.

Los fenoles y antocianinas muestran susceptibilidad ante factores ambientales como la temperatura, el oxígeno y la luz, así como a las condiciones del entorno alimentario en el que se hallan, incluyendo la interacción con otros ingredientes. Además, son vulnerables a condiciones desfavorables durante la digestión gastrointestinal al ser ingeridos, donde el pH y las enzimas pueden influir en su estabilidad.. El proceso de encapsulación de secado por atomización permite conservar las propiedades



antioxidantes, así como mejorar su estabilidad y biodisponibilidad. El nuevo producto en polvo encapsulado fue obtenido con altos contenidos de fenoles totales y antocianinas totales, esto representa una alternativa viable como medicina natural para prevención de enfermedades de la próstata.

La eficiencia de encapsulación depende de la temperatura y concentración de encapsulante (variables de proceso), ya que la temperatura de alimentación puede cambiar la viscosidad y fluidez de la emulsión, afectando su capacidad para ser pulverizada de forma homogénea. Cuando la temperatura de entrada es baja los polvos obtenidos tienen un mayor contenido de humedad, en cambio la temperatura es muy alta existe pérdida de antocianinas y fenoles.

Los materiales de encubrimiento deben poseer una buena solubilidad, capacidad de formación de película, capacidad emulsionante y baja viscosidad a altas concentraciones. La maltodextrina es un polisacárido que consiste en unidades de D-glucosa, obtenida a partir de la hidrólisis del almidón, debido a su alta solubilidad permite una baja viscosidad a altos contenidos de sólidos, tener bajo costo, fácil disponibilidad y ser inoloro e insípido.

Los compuestos bioactivos con propiedades medicinales han sido ampliamente utilizados como ingredientes en la industria alimentaria para proporcionar productos con características funcionales y cumplir con los requisitos actuales. demanda del consumidor. Sin embargo, muchos de estos productos son inestable en presencia de luz, oxígeno e iones, y son sensibles a los cambios de pH y temperatura. Estas condiciones nocivas se encuentran comúnmente durante el procesamiento, transporte y almacenamiento de alimentos. Las técnicas de encapsulación tienen como objetivo proteger los componentes centrales contra condiciones ambientales dañinas.





Existe una demanda creciente de alimentos funcionales que contienen antocianinas y fenoles. Alimentos que contiene extractos de plantas con propiedades antioxidantes, Ácidos grasos poliinsaturados, probióticos, vitaminas y minerales. Cuantos estos compuestos son inestables en condiciones normales o presentan un sabor residual, lo que limita su aplicación. Así, es necesario utilizar técnicas de encapsulación que puedan garantizar la estabilidad de estos constituyentes funcionales y permiten su aplicación en diversas matrices alimentarias.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1. Problema general**

¿Qué cantidad de antocianinas y fenoles totales encapsulados se podrá obtener por el proceso de secado por atomización?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles serán las características físico químicas de la mashua morada silvestre?
- ¿Cuál será la concentración apropiada de maltodextrina, para poder obtener mayor eficiencia en la encapsulación de antocianinas y fenoles totales por el método de secado por atomización?
- ¿Cuál será la temperatura apropiada del proceso de secado por atomización para el encapsulamiento de antocianinas y fenoles totales de la mashua silvestre morada?



## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El Mashua silvestre morada presenta alto contenido de antocianinas y fenoles totales, es por lo que es imprescindible obtener como producto encapsulado para tratamiento preventivo de la próstata.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Encapsular las antocianinas y fenoles totales de extractos de mashua silvestre morado por el método de secado por atomización.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la mashua morada silvestre para determinar las concentraciones de antocianinas y fenoles totales presentes.
- Determinar la concentración de encapsulante (maltodextrina) adecuado para el proceso de secado por atomización en el encapsulamiento de antocianina y fenoles totales
- Determinar la temperatura adecuada del proceso de secado por atomización para el encapsulamiento de antocianinas y fenoles totales.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis general**

En el proceso de encapsulamiento de antocianinas y fenoles totales de extracto de mashua silvestre morado por el método de secado por atomización ha obtenido una eficiencia superior al 80%



#### 1.4.2. Hipótesis específicas

- Las concentraciones de antocianinas y fenoles totales presentes en la mashua silvestre permiten lograr un adecuado encapsulamiento por el método de secado por atomización.
- La concentración de encapsulante (maltodextrina) es la adecuada para el proceso de secado por atomización en el encapsulamiento de antocianina y fenoles totales.
- La temperatura para el proceso de secado por atomización para el encapsulamiento de antocianinas y fenoles totales es la adecuada.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Víctor y Luis Néstor (2019), la mashua, una planta indígena originaria de las regiones de la cordillera de los Andes en América del Sur, posee propiedades medicinales valiosas para diversos grupos étnicos. Estos grupos la emplean en el tratamiento de enfermedades venéreas, pulmonares y cutáneas, así como para la cicatrización de heridas tanto internas como externas. Además, la mashua se utiliza como analgésico para aliviar el dolor en los riñones y la vejiga.

Zhang et al., (2020), muchos ingredientes alimentarios bioactivos se encapsularon en diferentes formas para mejorar su estabilidad y biodisponibilidad. Las emulsiones han mostrado excelentes propiedades de encapsulación, liberación controlada y liberación dirigida de bioactivos. Los polisacáridos están ampliamente disponibles y tienen diferentes estructuras con diferentes ventajas que incluyen no tóxicos, de fácil digestión, biocompatibles y pueden mantenerse estables en un amplio rango de pH y temperaturas. En esta revisión se describen los polisacáridos y complejos basados en polisacáridos más comunes como emulsionantes para estabilizar emulsiones en los últimos diez años y se ha enfatizado el papel de los polisacáridos en la estabilización de emulsiones.

Akbari-Alavijeh, Shaddel, & Jafari, (2020), hoy en día, la nanoencapsulación como técnica líder que utiliza nanoestructuras puede mejorar considerablemente la biodisponibilidad y durabilidad de los componentes bioactivos de los alimentos. Para este propósito, el quitosano como polisacárido bioactivo se ha utilizado ampliamente como vehículo, debido a sus características químicas y biológicas únicas, por ejemplo, policatividad, biocompatibilidad y biodegradabilidad. También se destacan las



propiedades nutricionales y funcionales de las nanoestructuras y los problemas de seguridad relevantes.

Díaz et al. (2017), la pitahaya amarilla contiene compuestos biológicos como polifenoles con propiedades antioxidantes que pueden generar un impacto fisiológico, además de sus aspectos nutricionales. Estos componentes de la pitahaya fueron sometidos a un proceso de encapsulación mediante secado por aspersión para investigar el efecto de esta técnica en su preservación. Los resultados indican que el tratamiento más eficaz se llevó a cabo a una temperatura de 150°C con maltodextrina al 40%, logrando una mayor estabilidad de hasta 72 horas para los polifenoles totales y 240 horas para la capacidad antioxidante.

Orellano & Valencia (2017) La evaluación de las propiedades físicas, antocianinas y capacidad antioxidante del extracto acuoso atomizado de mashua morada se llevó a cabo mediante la encapsulación con maltodextrina. Los resultados indican que el tratamiento más efectivo para la atomización del extracto de mashua es aquel realizado a una temperatura de aire de secado de 120°C, con un 5% de maltodextrina como agente encapsulante.

Nureña & Martínez, (2015), Según Nureña y Martínez (2015), el cultivo de aguaymanto ha experimentado un crecimiento significativo en interés en tiempos recientes. El objetivo de su estudio fue investigar la influencia de la temperatura del aire durante el proceso de secado, así como las proporciones de goma arábiga y maltodextrina, en las características físico-químicas y organolépticas (retención de vitamina C, % de humedad, actividad de agua) del jugo de aguaymanto (*Physalis Peruviana*) sometido a secado por atomización. Se empleó la metodología de mezclas combinada con variables de proceso, utilizando el programa estadístico Design Expert 7.0. Los resultados



indicaron que la mejor formulación de encapsulantes para el proceso de atomización fue la maltodextrina, gracias a su estructura compuesta por uniones de glucosa con enlace alfa 1-4, que previene la degradación de la vitamina C. La concentración óptima de encapsulante fue del 50% de maltodextrina, logrando obtener un contenido de humedad del 6,4106%, una actividad de agua de 0,2566 y un contenido de vitamina C de 51,0686 mg/100gr, todo esto a una temperatura de 165°C.

Gomes da Costa, Hijo, Silva, Borges, & Marques, (2016), el aceite de pequi es un producto altamente nutritivo, y su encapsulación mediante el proceso de secado por atomización tiene como objetivo principal prolongar su vida útil y mejorar su facilidad de uso. El propósito de este estudio es llevar a cabo la caracterización física, química y morfológica del aceite de pequi encapsulado mediante dicho proceso. Se empleó una emulsión con una concentración del 10% (p/p), utilizando como agentes encapsulantes una mezcla compuesta por goma arábica, almidón modificado y maltodextrina en proporciones de 25/50/25, respectivamente. Las condiciones de secado incluyeron temperaturas de 180 y 105°C para el aire de entrada y salida del secador, respectivamente, junto con un sistema de atomización de doble fluido y un flujo de alimentación de 0.96 L. h<sup>-1</sup>. Como resultado de este proceso, se logró un rendimiento del 36% en términos de aceite encapsulado.

Niu et al., (2020), se han desarrollado varias técnicas para encapsular compuestos bioactivos para preservar los compuestos de las tensiones ambientales, mejorar las funcionalidades fisicoquímicas y mejorar la estabilidad y biodisponibilidad. Entre estos, la electropulverización ha sido reconocida como un método prometedor para encapsular compuestos bioactivos ya que no involucra condiciones severas de temperatura, presión o químicos agresivos. Por tanto, las partículas producidas por electropulverización han atraído una atención particular en la industria alimentaria debido a su potencial como



vehículo para la encapsulación y el suministro o liberación controlada de compuestos bioactivos.

Castro Coelho et al., (2020), Hoy en día la población mundial ha sido más consciente de los productos alimenticios saludables a base de ingredientes bioactivos para proteger contra enfermedades y desarrollar dietas saludables. Las técnicas electrohidrodinámicas emergentes han sido objeto de interés tanto en la comunidad científica como en la industria. De hecho, los métodos de electrohilado y electropulverización son técnicas prometedoras para fabricar vehículos de distribución. Estos vehículos presentan beneficios estructurales y funcionales para la encapsulación de ingredientes bioactivos.

Wang & Selomulya, (2020), la técnica de secado por atomización se emplea ampliamente en la producción a escala industrial de alimentos y productos lácteos en polvo. Los péptidos bioactivos, generados a través de la hidrólisis de diversas proteínas alimenticias, están suscitando un creciente interés debido a sus propiedades biológicas, que incluyen funciones inmunomoduladores, antimicrobianas y antioxidantes. Este artículo examina diversos péptidos/hidrolizados bioactivos procedentes de diversas fuentes alimenticias, haciendo hincapié en su proceso de elaboración y en las características finales del polvo resultante.

Zhu, (2017), los ingredientes funcionales pueden encapsularse mediante diversos materiales de pared para una liberación controlada en los sistemas de digestión y alimentos. El almidón, como uno de los polímeros de carbohidratos naturales más abundantes, es hipoalergénico, GRAS y barato. Ha habido un interés creciente en el uso de almidón en formas nativas y modificadas para encapsular ingredientes alimentarios como sabores, lípidos, polifenoles, carotenoides, vitaminas, enzimas y probióticos.



Corstens et al., (2019), se viene investigando la eficacia de las emulsiones lipídicas encapsuladas en perlas de alginato de calcio para reducir la ingesta de alimentos y la sensación de apetito. Estas perlas de emulsión-alginato se ingirieron en un yogur (activo) y se compararon con un yogur equienergético que contenía nutrientes no encapsulados con propiedades sensoriales comparables (control) en un ensayo aleatorizado controlado con placebo con diseño cruzado.

Santana & Macedo, (2019), los neuronutraceuticos naturales y los alimentos funcionales son proporcionados por moléculas antioxidantes que inhiben el exceso de especies reactivas de oxígeno .en las neuronas y la aparición simultánea de lesiones relacionadas con el cerebro como depresión, demencia y accidente cerebrovascular isquémico. Está creciendo la necesidad de técnicas eficientes, baratas y sostenibles para aumentar la vida útil y la bioaccesibilidad de los antioxidantes naturales para aplicaciones terapéuticas como sustitutos de los antioxidantes sintéticos.

Nascimento et al., (2023), realizó la encapsulación de antocianinas con extracto de arándano usando maltodextrina DE20, alto maíz, inulina y goma arábica, la eficiencia de encapsulación alcanzó al 96,80% - 98,83%. La combinación de agentes encapsulantes (5% maltodextrina DE20, 5% hi-maize, 5% inulina y 5% goma arábica) promovió una mejora en la bioaccesibilidad simulada en comparación con el extracto libre.

Li et al., (2023), señala que entre los cuatro geles desarrollados a base de péptidos, FM se destaca como el que tiene los resultados más prometedores para mejorar la estabilidad de las antocianinas, mostrando una resistencia mecánica impresionante, exhibe una biocompatibilidad favorable y logra una alta eficiencia de encapsulación (casi el 90 %). Además, las moléculas de antocianina estabilizadas por el gel FM también



exhiben una eficacia antioxidante superior, preservando eficazmente su actividad antioxidante.

Fu et al., (2024) realizó la encapsulación de antocianinas de roselle, la elección de materiales portadores compuestos ( $\beta$ -ciclodextrina + gelatina + aislado de proteína de soja) puede lograr una tasa de encapsulación de más del 99 %, lo que significa que los materiales portadores por sí solos no pueden lograr la encapsulación; la razón principal es que la adición de  $\beta$ -ciclodextrina previene la autoagregación de proteínas, por lo que la eficiencia de encapsulación de los materiales portadores compuestos es mayor que la de los materiales de un solo portador.

Kurek et al., (2023), en este estudio demostró que la levadura podría ser un componente de pared bastante bueno para la microencapsulación de antocianinas. Se comprobó que la cepa de levadura que se diferenció por su origen tecnológico tiene un efecto significativo sobre características como el color o la capacidad de microencapsulación, incluso después de la plasmólisis. Según nuestros resultados, las levaduras SCA y SPA fueron las más adecuadas para la microencapsulación de antocianinas alcanzando la eficiencia de 52,87% y 53,88%, respectivamente.

Ciont et al., (2023), utilizó las hojas de olivo son una fuente económica de fenólicos naturales. La recuperación e integración de fenólicos en productos alimentarios funcionales son coherentes con la economía circular y la sostenibilidad. Debido a su sabor amargo e inestabilidad fisicoquímica, la integración de los fenólicos en diferentes matrices alimentarias, especialmente en productos alimenticios de panadería, puede ser un desafío. En términos de eficiencia de encapsulación, el secado por atomización ( $71,42 \pm 0,034\%$ ) encapsula el material bioactivo de manera más eficiente que el método de liofilización ( $68,09 \pm 0,024\%$ ).



Saifullah et al., (2023), en este estudio, se investigó el polvo de orujo de limón (LPP) como un nuevo agente portador para el extracto fenólico de hoja de LSTT, y se comparó su rendimiento con el polisacárido comúnmente utilizado (es decir, maltodextrina (MD)) y el basado en proteínas (es decir, proteína de soja). aislar (SPI)) materiales de revestimiento. Se estudiaron la eficiencia de encapsulación, el color, la retención de polifenoles y propiedades antioxidantes. La eficiencia de encapsulación del polvo de orujo de limón (LPP) fue superior al 95 % y el orden de retención de polifenoles y capacidades antioxidantes.

Carrasco-Sandoval et al., (2021) trabajo tuvo como objetivo evaluar la idoneidad de las nanopartículas basadas en zeína (ZN) y zeína/polisacárido para coencapsular diferentes tipos de compuestos fenólicos y comprender cómo el aumento de la complejidad de los sistemas de nanopartículas afectaba la bioaccesibilidad de los polifenoles. Se coencapsularon con éxito dos ácidos fenólicos, dos flavonoides glicosilados y tres agliconas de flavonoides en los tres sistemas de nanopartículas. La eficiencia de encapsulación de compuestos fenólicos cargados sobre ZN osciló entre 95,3 y 98,5%.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **MICROENCAPSULACIÓN, PARÁMETROS QUE SE MIDE: PRESIÓN, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN**

#### **2.2.1. Temperatura de entrada de aire y salida**

Uno de los elementos cruciales en el proceso de secado por atomización es la temperatura del aire de entrada, ya que tiene un impacto directo en la velocidad de secado de las microcápsulas y en el contenido final de agua. Una baja temperatura de entrada del aire conlleva una velocidad de evaporación



reducida, ocasionando deformación en las microcápsulas de alta densidad, elevado contenido de agua, escasa fluidez y propensión a la aglomeración. Por otro lado, una temperatura de entrada elevada del aire provoca una evaporación excesiva, resultando en la ruptura de la membrana, la degradación del ingrediente encapsulado y la pérdida de compuestos volátiles. La temperatura más apropiada para la encapsulación de antocianinas se sitúa en el rango de 160 a 170 °C (Esquivel-González et al., 2015).

La temperatura de salida del aire en el procedimiento de secado por atomización se reconoce como un elemento crucial en la gestión del equipo secador y está condicionada por la temperatura de entrada. Comúnmente, la temperatura de salida oscila entre 50 y 80°C en el caso de la microencapsulación de compuestos bioactivos y productos farmacéuticos.

### **2.2.2. Materiales microencapsulantes**

Se ha empleado ampliamente una variedad de compuestos carbohidratos, entre los cuales se incluyen la maltodextrina, los quitosanos, almidones y goma arábica, en los procesos de encapsulación de diversos compuestos bioactivos. La eficiencia de este proceso está estrechamente ligada a la elección del material encapsulante, ya que los criterios para seleccionar un agente encapsulante se centran principalmente en sus propiedades fisicoquímicas, como solubilidad, peso molecular, cristalinidad y propiedades emulsificantes. En la industria farmacéutica, se recurre a polímeros derivados del petróleo como matrices para la preparación de micropartículas, como poliestirenos, poliamidas, poliuretanos, poliacrilatos, polímeros fenólicos y polietilenglicol.



La funcionalización de las cadenas poliméricas en los materiales de la pared posibilita la obtención de micropartículas con propiedades innovadoras, distintas de las logradas con otros materiales, como por ejemplo, una mayor resistencia a la acción de agentes químicos. Entre los polisacáridos estudiados como matrices para la microencapsulación se incluyen almidones, maltodextrina, goma arábica, pectina, quitosán y alginatos. Estos biopolímeros se destacan por su buena solubilidad en agua y baja viscosidad a concentraciones elevadas en comparación con las proteínas. En la actualidad, las maltodextrinas se utilizan solas o en combinación con otros materiales en alimentos, extractos de plantas, aditivos aromáticos, carotenoides y vitaminas. Cumplen diversas funciones, como espesantes, propiedades formadoras de película, retención de sabores, además de desempeñar un papel crucial en la reducción de la permeabilidad del oxígeno en el material de la pared (Esquivel-González et al., 2015).

### **2.2.3. Estructura de las microcápsulas**

En su forma más básica, una microcápsula es una esfera pequeña con una pared uniforme, cuyo diámetro puede variar desde algunos micrones hasta pocos milímetros. El contenido de la microcápsula puede ser un material cristalino, una partícula adsorbente, una emulsión, una suspensión de sólidos o incluso otra suspensión de microcápsulas más pequeñas. La diversidad de formas de las microcápsulas depende de la tecnología de proceso utilizada, así como del material del núcleo y la pared. Sin embargo, las dos formas principales son la cápsula mononuclear, que consta de un solo núcleo envuelto por una capa, y los agregados, que son múltiples núcleos envueltos en una matriz. Las observaciones pueden abarcar desde una esfera simple con una pared de grosor uniforme, una pared o membrana de forma irregular, partículas de núcleo incrustadas en una



matriz continua de material de pared, hasta incluso una estructura multipared (Esquivel-González et al., 2015).

#### **2.2.4. Encapsulación de polifenoles**

Los fenoles, también denominados compuestos fenólicos, son especialmente susceptibles a la encapsulación, dado que abarcan una amplia gama de moléculas que, según sus propiedades, pueden clasificarse en ácidos fenólicos, cumarinas, taninos, flavonoides, quinonas, lignanos, entre otros. Los diversos compuestos fenólicos pueden protegerse mediante varios métodos de encapsulación. Por su parte, las antocianinas, que incluyen flavonas, chalconas y quinonas, son pigmentos naturales responsables de la variada paleta de colores, desde el rojo hasta el azul, presentes en plantas, vegetales y frutas. Dentro de las categorías más destacadas se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos. Por otro lado, los flavonoides comparten una estructura común compuesta por dos anillos aromáticos (A y B) conectados por tres átomos de carbono, formando un heterociclo oxigenado (Anillo C). Dependiendo del tipo de heterociclo formado, se pueden clasificar en seis subgrupos: flavonas, isoflavonas, flavanonas, flavanoles, antocianidinas y flavonoles (que incluyen catequinas y proantocianidinas) (Díaz-Montesa et al., 2022).

#### **2.2.5. Compuestos bioactivos**

Los compuestos bioactivos son metabolitos secundarios que presentan propiedades antioxidantes, para preservar los compuestos bioactivos contra la oxidación y reacciones no deseadas, que puedan afectar directamente la calidad del producto y resultar en una reducción de su vida útil, motiva la investigación del proceso de microencapsulación a través del secado por atomización. Este



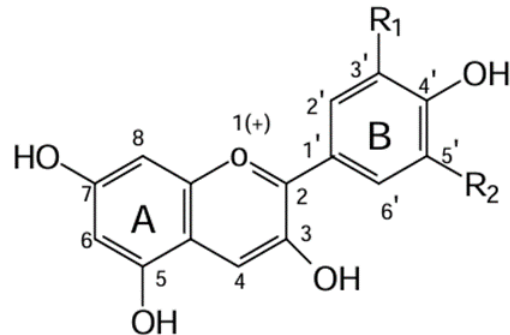
método se emplea para transformar líquidos en sólidos, con el propósito de conferir funcionalidades y mejorar la estabilidad oxidativa de ingredientes, especialmente aquellos presentes en frutas y vegetales (Esquivel-González et al., 2015).

#### **2.2.6. Antocianinas**

Las antocianinas son compuestos fenólicos pertenecientes al grupo de los flavonoides, y representan los pigmentos naturales más importantes en las plantas vasculares. Las antocianinas son responsables del color de los frutos y se encuentran principalmente en la piel. No son tóxicos solubles en agua y responsable de los colores azul, púrpura, violeta y rojo de las flores, hortalizas, frutas y sus productos elaborados. Las antocianinas corresponden al glucósido o acil-glucósido de antocianidinas (también conocidas como agliconas) y se encuentran en la vacuola de la célula, principalmente en la cáscara de los frutos. han despertado un gran interés debido a su potencial uso como colorante natural y biológico. Presentan propiedades como antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antimutagénicos. La antocianina juega un papel importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares y neuronales, cáncer y diabetes (Tang et al., 2023).

**Figura 1**

*Estructura de antocianina.*



Fuente: Tang et al., 2023

**Tabla 1**

*Las estructuras de las antocianinas comunes en la naturaleza*

Antocianinas	Sustituyentes		Color
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	
<b>Cianidina (Cy)</b>	-OH	-H	Magenta
<b>Delfinidina (Dp)</b>	-OH	-OH	Magenta
<b>Malvidina (Mv)</b>	-OCH <sub>3</sub>	-OCH <sub>3</sub>	Rojo
<b>Pelargonidina (Pg)</b>	-H	-H	Púrpura
<b>Peonidina (Pn)</b>	-OCH <sub>3</sub>	-H	Púrpura
<b>Petunidina (Pt)</b>	-OH	-OCH <sub>3</sub>	Púrpura

Fuente: (Fu et al., 2024)

### 2.2.7. Los polifenoles

Saifullah et al., (2023) los polifenoles son uno de los grupos más grandes de fitoquímicos y son sintetizado en plantas como metabolitos secundarios a través de las vías del ácido shikímico y los fenilpropanoides. Se ha estudiado una amplia gama de bioactividades de polifenoles mediante estudios clínicos. Estos incluyen actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, antidiabética,



antitumoral, inmunomoduladora y apoptótica. También contribuyen a la prevención o retraso de varias complicaciones de salud o potencialmente mortales enfermedades, como enfermedades cardiovasculares, cáncer, problemas renales, Artritis, enfermedades neurodegenerativas y trastornos metabólicos.

Los polifenoles se han considerado como antioxidantes prometedores para su uso en los sectores farmacéutico, cosmético y alimentario. industrias. La extracción de compuestos fenólicos de los residuos agroindustriales ha sido estudiado y podrían convertirse en un fuente importante de estos componentes bioactivos. Sin embargo, su baja solubilidad y estabilidad en condiciones ambientales limitan la aplicación de polifenoles en la forma libre Por tanto, es necesario desarrollar Técnicas de encapsulación que pueden preservar su propiedades.

La granada (*Punica granatum*) es una de las frutas comestibles más antiguas conocidas y su contenido fenólico total en jugo se encuentra en un rango de 1808 a 2566 mg/L (Gil et al., 2000), sin embargo éstas moléculas son inestables y en jugo fresco tienen una vida útil muy corta. En este contexto la estabilización de polifenoles para su uso en la industria puede llevarse a cabo usando tecnologías de microencapsulación. Usando únicamente maltodextrina como material encapsulante, se reportaron una eficiencia alrededor de 80% para extracto fenólico de pulpa de Averrhoa carambola, observándose en su mayoría la formación de micropartículas con forma esférica y algunas con superficie rugosa y apariencia hueca. Durante el secado por aspersión, la maltodextrina puede inducir una formación rápida de una superficie vidriosa, lo cual permite la expansión de aire dentro de las partículas favoreciendo el incremento de su diámetro, tal efecto ocurre con un incremento en la temperatura durante el secado.





### **2.2.8. Polifenoles en frutas y vegetales**

Los polifenoles presentes en frutas se distribuyen en diferentes partes, como la pulpa, la piel, las semillas y las hojas, y la cantidad de estos compuestos varía según factores como las condiciones de cultivo, el tipo de fruta, la variedad y el grado de madurez. Algunas frutas se destacan por su contenido particularmente alto de polifenoles, como es el caso de arándanos, moras, fresas, frambuesas y uvas negras, que constituyen fuentes significativas de diversos tipos de polifenoles. Los berries, por ejemplo, contienen ácidos fenólicos, como ácido hidroxibenzoico e hidroxicinámico, flavonoides como flavonoles (quercetina, kaempferol, miricetina), flavanoles (catequinas), antocianinas (glucósidos de cianidina y de pelargonidina) y taninos (proantocianidinas, elagitaninos).

Los polifenoles en vegetales se encuentran tanto en el fruto, como en la piel, semillas y hojas y sus cantidades dependen de diversos factores como lo son las condiciones de cultivo, el tipo y la variedad de fruta y la madurez de ésta. Existen frutas que destacan por su contenido de polifenoles. por ejemplo, los arándanos, moras, fresas, frambuesas, uvas negras, son fuentes importantes de una amplia variedad de polifenoles. Los berries contienen ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzoico y hidroxicinámico), flavonoides como flavonoles (quercetina, kaempferol, miricetina), flavanoles (catequinas), antocianinas (glucósidos de cianidina y de pelargonidina) y taninos (proantocianidinas, elagitaninos) (Tylewicz et al., 2018).

### **2.2.9. Encapsulación**

(Díaz-Montesa et al., 2022) la encapsulación se utiliza como método para conservar partículas, sustancias o compuestos que son propensos a la degradación,



oxidación o pérdida de su actividad en condiciones ambientales desfavorables. El propósito fundamental de la encapsulación es preservar, estabilizar y ralentizar la descomposición de compuestos de interés, como los compuestos bioactivos, que son fácilmente susceptibles a modificaciones estructurales debido a factores como la luz, la temperatura y el calor. La encapsulación constituye un procedimiento que implica atrapar una sustancia, conocida como agente activo, dentro de un biopolímero denominado material de pared. La sustancia encapsulada puede ser referida como núcleo, fase interna o compuesto activo, mientras que la sustancia que lo rodea puede denominarse revestimiento, material de recubrimiento, agente encapsulante, fase externa o matriz. Los materiales de recubrimiento pueden ser seleccionados de entre una amplia gama de polímeros naturales o sintéticos, dependiendo de las características del material a recubrir y las propiedades deseadas en las microcápsulas o micropartículas resultantes (Covarrubias, 2018). En la encapsulación de alimentos, estos materiales pueden utilizarse en estado puro o en combinación. Se encuentran diversas categorías, como carbohidratos (almidones, quitosano, maltodextrinas), celulosas (carboximetil celulosa, metil celulosa), gomas (goma acacia, agar, alginato de sodio, carragenina), lípidos y proteínas (gluten, caseína, péptidos, aislado proteico de soya, concentrado proteico de suero de leche). La elección del material de recubrimiento depende del agente activo, las características del material y la tecnología empleada, dando lugar a diversos sistemas de encapsulación.

La encapsulación puede ser vista como una técnica para estabilizar y preservar la estabilidad de los compuestos activos en condiciones específicas. Entre las ventajas de la encapsulación, se pueden destacar diversos objetivos:



- Preservar el compuesto activo por encapsulación contra la degradación causada por factores ambientales como la temperatura, el oxígeno, la radiación solar y la humedad relativa.
- Liberar controladamente el compuesto activo desde la matriz encapsulante bajo condiciones específicas (pH, temperatura, entre otros).
- Enmascarar sabores desagradables.
- Separar componentes con el fin de que éstos no interaccionen.
- Hacer más fácil la manipulación del producto original.

#### **2.2.10. Secado por atomización**

El secado por atomización es una operación unitaria mediante la cual un producto líquido (solución, emulsión o dispersión acuosa) es atomizado y secado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente. La encapsulación por secado por atomización comienza con la formación de una emulsión, solución o suspensión que contiene los materiales del núcleo y la pared, que se bombea a un atomizador donde se coloca una boquilla o la rueda giratoria convierte la alimentación líquida en una fina gotita que se transporta a una cámara de secado con circulación de aire caliente. Cuando las finas gotas entran en la sección de aire caliente, el agua se evapora instantáneamente. Los componentes principales de un secador por atomización estándar incluyen un sistema de alimentación del líquido, un calentador de aire, un dispositivo de atomización, por lo general consiste en una boquilla de atomización o un disco rotatorio, soplador o ventilador, una cámara de secado, un ciclón y un sistema colector del producto seco (Alu'datt et al., 2022).



De acuerdo a Hall, citando a Mujumdar (1988), menciona las ventajas y desventajas del secado por atomización:

Ventajas del secado por atomización: Mejor control de los parámetros de calidad y operación, secado a presión atmosférica de los productos termosensibles de la producción alimentaria y farmacéutica, secado a gran escala, operación continua en la producción, evita contaminación de la microcápsula elaborando productos uniformes

Desventajas del secado por atomización: Inversión inicial alta, no tiene éxito cuando se requiere un producto a granel con una densidad elevada (Ochoa, 2019)

La microencapsulación a través del secado por atomización involucra cuatro pasos principales:

1. Atomización de la solución de alimentación
2. Mezclado con aire caliente
3. Secado del atomizado (transferencia de calor y masa)
4. Separación del polvo seco del aire

Cuando la temperatura inicial es baja, la tasa de evaporación del agua disminuye, lo que resulta en polvos con un mayor contenido de humedad. Además, factores relacionados con la formulación de la solución de entrada, como el contenido de sólidos solubles, la proporción entre el agente activo y el polímero, la viscosidad y en el caso de emulsiones, el tamaño de la gota, también deben ser tenidos en cuenta.

Las etapas del secado por atomización consiste en cuatro. (Masters,K 1985).



- **Cámara de secado.**

La función principal de la cámara de secado es acumular el spray producido y el aseguramiento de las gotas sean secadas con aire caliente para el suministro de tiempo de residencia para la evaporación de la humedad.( Masters 1991 )

- **Sistema de calentamiento de aire**

1. Indirectos

- i. Calentamientos por vapor
- ii. Calentadores a base de aceite o gas.

2. Directos

- i. Calentadores a base de gas.
- ii. Calentadores de aire eléctrico.

- **Tanque de alimentación.**

Depósito donde se almacenan la solución de producto a secar.

- **Bomba de alimentación peristáltica.**

Generalmente utilizan tubería plástica y un grupo de rodillos externos para el impulso del fluido, los mismos son utilizados cuando se procesan productos que requieren condiciones de esterilidad.

- **Atomizador.**

Cuando mas pequeña las gotas, es mayor la superficie y mejor la evaporación y consecuentemente su eficiencia térmica(Perry 1992)

1. Atomización por toberas de presión.
2. Atomizadores rotatorios.

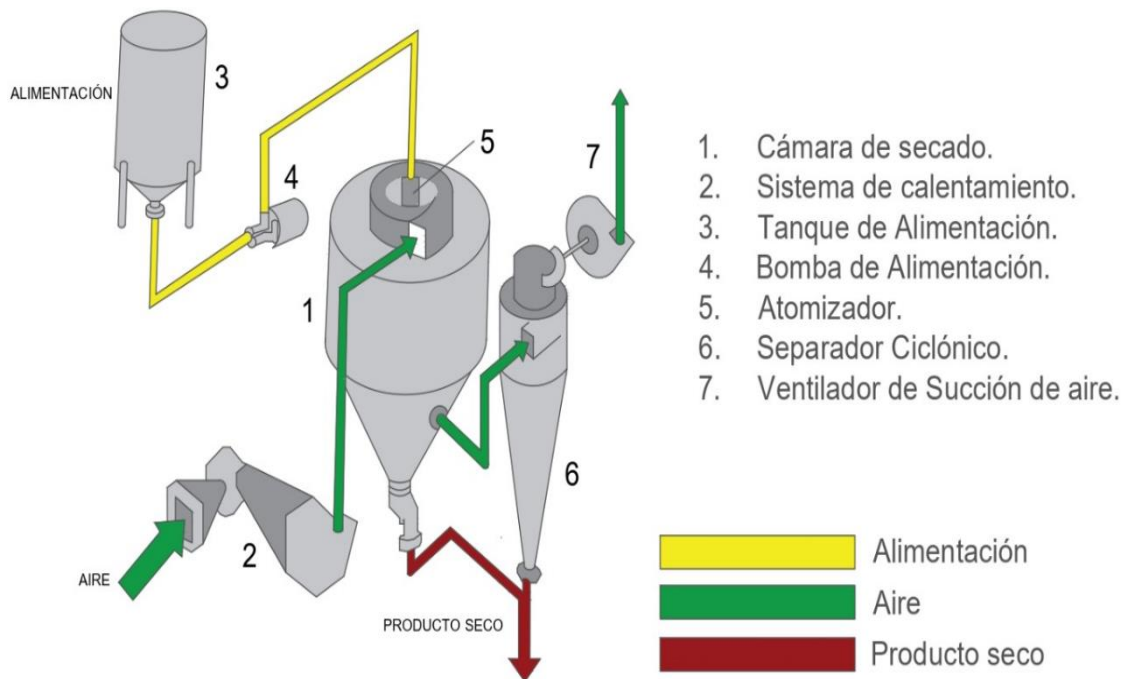
- **Separador ciclón**

Dispositivo auxiliar que es utilizado para la separación del polvo seco del aire caliente, generalmente instalado antes de un ventilador.

- **Ventilador de la succión de aire.**

Sistema operada a presión negativa de un ventilador.

**Diagrama de flujo básico del secador por atomización.**





## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para el estudio de la caracterización de mashua morada silvestre fueron realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano y La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La encapsulación de antocianinas y fenoles totales de extractos de mashua silvestre morada por el método de secado por atomización, fueron realizados en los laboratorios de Control de Calidad y Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química y Slab Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C.

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1. Materia prima

La mashua silvestre morada fue recolectada la cantidad de 8 kg de la Comunidad de Camacani distrito de Platería, provincia de Puno; (Ubigeo :210112, latitud sur :15°56'34''S, longitud Oeste: 69°51'27.7'', altitud 3842 m.s.n.m.)

##### 3.2.2. Equipos de laboratorio

- Equipo de Secado por Atomización
- Espectrofotómetro visible-ultravioleta
- pH metro digital
- Balanza analítica
- Estufa eléctrica
- Titulador automático



- Cuchillo
- Tabla para picar
- Espátula
- Vaso precipitado
- Luna de reloj
- Papel filtro
- Recipientes de acero inoxidable

### **3.2.3. Reactivos**

- Maltodextrina
- Etanol
- Ácido cítrico
- Cloruro de potasio
- Acetato de sodio
- Ácido clorhídrico
- Agua bidestilada
- Reactivo Folin-Ciocalteu (ácido gálico)
- Carbonato de sodio

## **3.3. METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN DE MASHUA MORADO SILVESTRE**

### **3.3.1. Muestreo de mashua silvestre**

La mashua silvestre morado fue recolectada la cantidad de 8 kg de la Comunidad de Camacani Distrito de Platería, Provincia de Puno. Para cada prueba





de extracción y secado por atomización fueron utilizadas 500 g de muestra. Los tubérculos fueron almacenados en oscuridad a 5°C antes de ser analizados

### **3.3.2. Análisis químico de mashua silvestre**

Para determinar la composición química de mashua silvestre se utilizaron los métodos de la AOAC (Horwitz, 2010), el contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico (925.09); la proteína total se determinó por el método Kjeldahl (954.01); la grasa se determinó por el método de extracción Soxhlet utilizando como solvente hexano (920.39); la ceniza se determinó por gravimetría (923.03); la fibra bruta se determinó por el método de hidrólisis ácida y alcalina (962.09) y el contenido de carbohidratos totales en base seca se estimó calculando la diferencia porcentual con respecto a proteínas total, grasas, cenizas y fibra bruta. Los resultados se expresaron como g/100 g de peso seco. Para el análisis de minerales las muestras se secaron a una temperatura de 80°C en estufa hasta peso constante. Se pesó aproximadamente 10 g de muestra seca en un crisol de porcelana y luego incineró a 550°C, seguidamente se enfrió en un desecador y se realizó la digestión con solución de HCl para obtener los elementos minerales en forma de solución. El hierro fue determinado por el método de ortofenantrolina utilizando equipo espectrofotómetro visible. El fósforo fue determinado por método de metavanadato de amonio usando equipo espectrofotómetro. El calcio se determinó por titulación con permanganato de potasio y la vitamina C por el método de ácido ascórbico.



### **Preparación de Buffers**

- Buffer cloruro de potasio 0.025M pH 1.0; se mezcló 1.86g de KCl en 980 ml de agua destilada en un vaso precipitado. Se midió el pH y se ajustó a 1.0 con HCl concentrado.
- Buffer acetato de sodio 0.4 M pH 4.5, se mezcló 54.43 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y 960 ml de agua destilada en vaso precipitado. Se midió el pH y se ajustó a 4.5 con HCl concentrado.

### **Preparación de solución lectura**

- La muestra adaptada se diluyó en los buffers pH 1.0 (cloruro de potasio) y buffer pH 4.5 (acetato de sodio). La dilución debe ser tal que la muestra a pH 1.0 tenga una absorbancia menor a 1.0 y preferentemente en el rango de 0.4 a 0.6. El factor de dilución fue el mismo para ambas muestras (pH 1.0 y pH 4.5).
- Determinación de longitud de onda de máxima absorbancia de la antocianina.
- Se terminó el factor de dilución apropiado para la muestra diluyéndolo con tampón de cloruro de potasio 0.025 M, pH 1.0 hasta que la absorbancia de la muestra estuviera dentro del rango lineal del espectrofotómetro.
- Se llevó a cero el espectrofotómetro con agua destilada en todas las longitudes de onda que se utilizaron (420nm, 510 nm y 700 nm).
- Se diluyó la muestra con agua destilada usando el factor de dilución que se había determinado. Seguidamente se transfirió 2.8 ml de la muestra



diluida a cada una de las cubetas. Agregando 0.2 ml de solución de bisulfito a una muestra y 0.2 ml de agua destilada a la otra. Finalmente se equilibró por 15 minutos.

- Se midió la absorbancia de ambas muestras a 420 nm, 510 nm y 700nm, contra una celda en blanco llena de agua destilada.

### **3.3.3. Determinación de antocianinas totales**

Un método descrito por Coklar & Akbulut (2017) se utilizó para determinar antocianinas totales. Se procedió a pesar un gramo de muestra en estado seco, al cual se le añadieron 9 mL de metanol y 1 mL de ácido clorhídrico al 27%, logrando una homogeneización. Los extractos resultantes se distribuyeron en dos matraces, con 1.0 mL cada uno. El primer matraz fue diluido con solución tampón de pH 1.0 (cloruro de potasio), mientras que el segundo fue diluido con pH 4.5 (acetato de sodio), de manera individual. La medición del pH se llevó a cabo utilizando un pH-metro Hanna Edge HI2020. Después de un período de 30 minutos, se realizaron las lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro UV/Vis (Genesis 20 Thermo Electron) a 520 y 700 nm, en comparación con un blanco de agua destilada.

#### **Lectura en espectrofotómetro**

Se añadió una porción de la solución de lectura en el cubo de cuarzo, y en otro de blanco (agua destilada). En un espectrofotómetro - UV fueron utilizadas las mediciones espectrales a 520 y 700 nm.

La fórmula para determinar la concentración de antocianinas en extractos y jugos expresados en mg/L (Zheng et al., 2023):

$$\text{Contenido antocianina mg/L} = \frac{AxMWxDFx1000}{\epsilon xL} \quad (1)$$

El contenido de antocianinas en sólidos fue calculado utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Contenido antocianina mg/100g} = \frac{AxMWxDFx100}{\epsilon xL} \quad (2)$$

Donde  $A$ =pH 1.0 ( $A$  520- $A$  700 nm)-pH 4.5 ( $A$  520-  $A$  700 nm);  $MW$ =peso molecular de cianidin-3-glucósido (449.2 g/mol);  $DF$ =Factor de dilución (10);  $\epsilon$ =Coeficiente de extinción molar de cianidin-3-glucósido (26,900 L/molxcm);  $L$  = Grosor de la cubeta (1cm). Los resultados se expresaron en mg como equivalentes de cianidina-3-glucósido sobre 100 g de PS (Zheng et al., 2023).

### 3.3.4. Determinación de fenoles totales

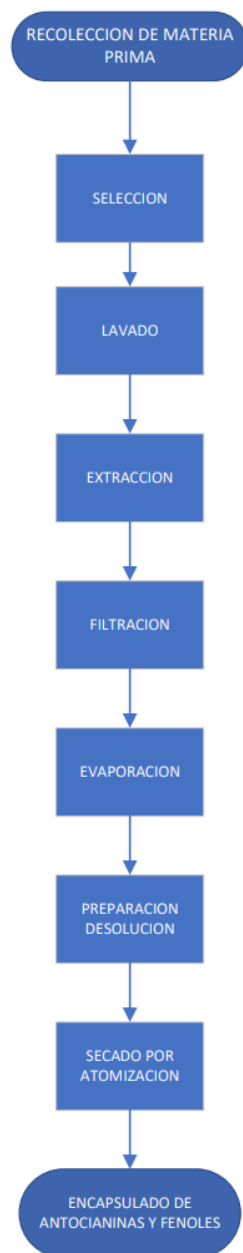
Los fenólicos totales se determinaron usando reactivo Folin-Ciocalteu (Meda et al., 2005). Se tomó una cantidad aproximada de 2 g de muestra en estado seco, la cual se extrajo en dos ocasiones con 5 mL de etanol al 70%. El extracto resultante se sometió a centrifugación a 4000 x g durante 10 minutos y se dejó reposar a 4°C durante 24 horas. Posteriormente, se tomó una muestra de 50  $\mu$ L del sobrenadante y se mezcló con 100  $\mu$ L de reactivo Folin-Ciocalteu 0,2 N (Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Alemania), agitándose y dejándolo reaccionar durante 5 minutos. Luego, se añadieron 200  $\mu$ L de carbonato de sodio al 20% ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y se completó hasta 1700  $\mu$ L con agua destilada ultrapura. Después de 30 minutos de reacción, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro frente a un blanco de etanol al 70%. Se utilizó ácido gálico (Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Alemania) (0-10  $\mu$ g/ml en etanol al 70%) como reactivo estándar para la preparación de la curva de calibración. Los

extractos fueron analizados por triplicado, y los fenoles totales se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100g DW.

### 3.4. METODOLOGÍA DE LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL ENCAPSULANTE

**Figura 2.**

*Diagrama de flujo de encapsulado de antocianinas y fenoles*



La fig. 2 muestra el diagrama de flujo para el proceso de encapsulación de antocianinas y fenoles. Se inicia con recolección de materia prima mashua silvestre morada, seguido de selección de tubérculos maduros. Se realiza la extracción de antocianinas y fenoles con solución de etanol al 60% y separación de extracto por filtración; el contenido de etanol se separa por evaporación utilizando equipo rotavapor. Para el proceso de secado por atomización se prepara la mezcla de extracto con maltodextrina llevando a pH ácido con ácido cítrico, una vez preparado la solución en suspensión se alimenta al equipo de secado por atomización fijando la temperatura de operación posteriormente obteniendo el producto encapsulado en polvo de color característico de antocianina.

#### **3.4.1. Extracción de antocianinas y fenoles totales**

Seleccionar la mashua morada silvestre y lavar con agua destilada, luego hacer secar a temperatura ambiental. Pesar 500 g de mashua morado silvestre y cortar en pequeños rodajes enseguida mezclar con 600 mL de etanol y 400 mL de agua destilada (60% etanol en agua). Poner en agitación a temperatura de 60°C por un tiempo de 60 minutos. Separar la solución extraída por filtración.

#### **3.4.2. Preparación de solución de suspensión**

La preparación de solución en suspensión consiste en mezclar extractos de mashua morada silvestre con 10%, 15% y 20% de maltodextrina. Añadir ácido cítrico para llevar a pH ácido (pH 2) y homogenizar.

#### **Eficiencia de encapsulación .**

Para determinar eficiencia de encapsulación de antocianinas se utilizó la fórmula siguiente (Li et al., 2023):

$$\text{Eficiencia de encapsulación} = \frac{\text{Contenido total de Antocianinas despues de encapsulación}}{\text{Contenido total de Antocianinas usadas en extractos}} \times 100 \quad (3)$$

Para determinar eficiencia de encapsulación de fenoles totales se utilizó la formula siguiente (Peanparkdee et al., 2021):

$$\text{Eficiencia de encapsulación} = \frac{\text{Contenido total de fenoles despues de encapsulación}}{\text{Contenido total de fenoles usadas en extractos}} \times 100 \quad (4)$$

### **3.5. METODOLOGÍA DE DETERMINAR LA TEMPERATURA DE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

Se alimenta una emulsión o solución (10%, 15% y 20% de maltodextrina) al equipo de secado por atomización a temperaturas de 150°C, 160°C y 170°C respectivamente, las gotas atomizadas encuentran aire caliente, conduciendo a la formación de micropartículas a través de fenómenos termodinámicos. Las micropartículas se recogen en un ciclón y el aire sale del sistema con una temperatura más baja (80°C) y una humedad más alta. El secado por aspersion es un sistema relativamente económico, rápido y eficiente para la microencapsulación de componentes activos como antocianinas y polifenoles. El número de muestras trabajadas son en un número de 18. Los materiales encapsulantes más utilizados son proteínas, como proteínas lácteas y aislados de proteínas vegetales, y polisacáridos/gomas, tales como goma arábica, maltodextrina y almidón modificado.



### 3.5.1. Operación de equipo atomizador

1. Disponer aire comprimido permanentemente para el funcionamiento de la tobera neumática.  $\geq 2.6$  bar.
2. Reportar la potencia del sistema de calentamiento eléctrico. ( $P = V \cdot I$ )  $V$ =voltios,  $I$ = amperios  $P$ = potencia en Watts, reportar en Kilowatts.
3. Determinar la humedad inicial de la muestra a secar.
4. Determinar las características psicrométricas del aire ambiental (entrada).
5. Conecte el interruptor de corriente eléctrica.
6. Conecte el ventilador extractor.
7. Ajuste el control termostático de temperatura a la temperatura que se va a operar el secador.
8. Poner en funcionamiento las resistencias (R1, R2, R3, R4, R5, R6) hasta alcanzar la estabilización térmica del equipo de secado por atomización (temperatura mayor a 200 °C).
9. Deje transcurrir el tiempo necesario para que el aire de secado alcance la temperatura deseada. No permita en ningún momento que los calentadores trabajen con el ventilador parado.
10. Una vez estabilizada térmicamente el secador por atomización, inyectar aire comprimido a la tobera neumática y alimentar lentamente el líquido por medio de la bomba peristáltica (debe calibrar su caudal de alimentación). Cuidar de que la TEMPERATURA DE DESCARGA no disminuya por debajo del valor indicado en la práctica, graduando la velocidad de inyección del líquido. Reportar el tiempo de funcionamiento.





11. Reportar la temperatura de carga (T1) entrada a la cámara de secado y descarga (T2) salida de la cámara de secado de la corriente gaseosa en el panel del equipo y la presión de operación de la tobera.

**Parada general:** Para detener el equipo correctamente, se seguirán los siguientes pasos:

1. Cerrar y apagar la bomba peristáltica, luego de que ya no contenga la materia prima en el tanque alimentador.
2. Cerrar la presión de atomización (apagar la compresora), sacar la boquilla de atomización para su limpieza previo enfriamiento de la cámara de secado.
3. Seguidamente apagar las resistencias, asegurando que la entrada del calentador no tenga ningún tipo de partículas existentes en el medio ambiente.
4. Después de 5 minutos de apagar las resistencias, apagar el ventilador.
5. Del tablero de control apagar el equipo en general, desconectar el enchufe general del equipo y compresor antes de finalizar el proceso.
6. Una vez que alcance una temperatura ambiente retirar el producto de los envases luego desarmar y coleccionar todo el producto seco en polvo y determinar su peso y humedad final.

### 3.5.2. Diseño experimental de dos factores y tres niveles

Se estudia el rendimiento de encapsulación de fenoles y antocianinas. Se considera que las dos variables más importantes son la concentración de maltodextrina y temperatura. Para el cual se selecciona tres niveles de cada factor y se llevará a cabo un experimento factorial con dos réplicas. Se obtendrá un



modelo matemático y el mismo que permitirá optimizar las variables de proceso de secado por atomización.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE MASHUA SILVESTRE

##### 4.1.1. Composición química de mashua silvestre morado

**Tabla 2**

*Composición química de mashua silvestre morado*

Componentes	Mashua silvestre morado
Humedad (g/100g)	78.43
Proteína (g/100g)	7.11
Grasa (g/100g)	4.43
Ceniza (g/100g)	1.69
Fibra (g/100g)	5.16
Carbohidratos (g/100g)	82.17
Calcio (mg/100g)	33.86
Fosforo (mg/100g)	135.10
Hierro (mg/100g)	7.23
Vitamina C (mg/100g)	215.27

Fuente: Resultados de análisis de mashua silvestre morado reporte laboratorio de control de calidad FIQ-UNA.

La tabla 2 muestra la composición química de mashua silvestre morado, los valores determinados en este estudio son similares a los reportados para mashua cultivada (proteína 12 g/100g, grasa 1.1 g/100g, ceniza 3.7 g/100g y

carbohidratos 78 g/100g) *Tropaeolum tuberosum*, var. INIAP-ECU-Izaño (Pacheco et al., 2020). Estudios de Quiroga Ledezma, (2020) reportaron el contenido de proteína (7.22-13.99%), ceniza (4.81% ), fibra (~ 5.8%) y Carbohidratos (~75.40%) cuyos valores son similares a los resultados obtenidos para mashua morado silvestre. El contenido de grasa de isaño silvestre son mayores en comparación con isaño cultivada. El mashua morado silvestre constituye una fuente de carbohidratos, fibra y proteínas.

Se cuantificaron la presencia de minerales, cuyos valores son: en calcio (33.86 mg/100g), fósforo (135.10 mg/100g), hierro (7.23 mg/100g). Presentan alto contenido de fósforo, calcio y hierro. Los resultados obtenidos en este estudio revelan que en fosforo son iguales, en calcio son menores, en hierro son mayores comparado con mashua cultivada (fosforo 161 mg/100g, calcio 90 mg/100g, hierro 2.8 mg/100g) (Pacheco et al., 2020).

#### 4.1.2. Componentes bioactivos

**Tabla 3**

*Compuestos fenólicos y antocianinas en mashua silvestre morado*

Componentes	Mashua silvestre	Morado
Antocianinas totales (mg/100 g)	60.2	
Fenoles totales (mg/100 g)	128.4	

Fuente: Resultados de análisis de mashua silvestre morado (Laboratorio Universidad Molina)

La tabla 3 muestra los valores de concentración de antocianinas y fenoles, el valor de antocianinas de mashua morado silvestre es mayor que la variedad morado cultivada (valores alcanzados de 8.7, 4.7 y 3.7 mg/g a 7.5 meses)(Chirinos et al., 2007), también son muy superiores a otros estudios de mashua (0.09 y 2.68



mg/g) (D. Campos et al., 2018). Las antocianinas son grupo de pigmentos responsables de color rojo, azul, naranja, marron y violeta de muchas plantas, que pertenecen a la familia de los flavonoides (compuestos fenólicos) con mayor actividad antioxidante (Ramos-Escudero et al., 2010; Zhu, 2018), por sus propiedades antioxidantes pueden prevenir muchas enfermedades y son muy beneficiosos para la salud humana (Jiang et al., 2021). Las antocianinas totales contribuyen directamente en la actividad antioxidante.

Las frutas tropicales como la jussara son fuentes ricas en antocianinas (2.956 mg/100 g de peso seco), guajiru (958 mg/100 g de peso seco), jambolan (771 mg/100 g de peso seco) y acerola (261 mg/100 g de peso seco). g de peso seco), así como otros compuestos que presentan un efecto positivo en la salud humana incluyendo vitaminas, fitoquímicos y principalmente compuestos fenólicos(Luiza Koop et al., 2022).

El contenido de fenoles totales fue de 16.8 mg/g en mashua silvestre morado. Debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios, antidiabéticos, cardioprotectores, neuroprotectores y antitumorales contribuyen en la salud humana (Rashmi & Negi, 2020; Vuolo et al., 2019). Son potentes antioxidantes que actúan directamente en la eliminación de radicales libres, protegiendo el daño oxidativo de los ácidos nucleicos, las proteínas y otras biomoléculas (Jimenez-Lopez et al., 2021; Singh et al., 2020).

## 4.2. RESULTADOS DE DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DEL ENCAPSULANTE

### 4.2.1 Diseño factorial de dos factores para el proceso de secado por atomización

Los datos del rendimiento de encapsulación se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 4**

*Compuestos fenólicos y antocianinas en extractos de mashua silvestre morado*

Componentes	Mashua silvestre	Morado
Antocianinas totales (mg/L)	18.61	
Fenoles totales (mg/L)	96.36	

Fuente: Reporte de análisis de fenoles y antocianinas Laboratorio SLab Lima

La tabla 4 muestra los componentes fenólicos y antocianinas obtenidos que contienen en el extracto de mashua silvestre morado, cuyas concentraciones en antocianinas es de 18.61 mg/L y fenoles totales de 96.36 mg/L, los mismos que han sido utilizados para el proceso de secado por atomización.

**Tabla 5**

*Compuestos fenólicos y antocianinas en polvo encapsulado*

Componentes	Mashua silvestre	Morado
Antocianinas totales (mg/Kg)	207.07	



Fenoles	totales	1035.84
(mg/Kg)		

---

Fuente: Reporte de análisis de fenoles y antocianinas Laboratorio SLab Lima

La tabla 5 muestra el contenido de fenoles y antocianinas en polvo encapsulado, en cuanto a las antocianinas contiene 207.07 mg/Kg y en fenoles totales 1035.84 mg/kg. Estos resultados muestran que en el producto obtenido hay mayor contenido de fenoles con respecto a las antocianinas.

### **Cálculo de eficiencia de encapsulación de antocianinas**

Volumen de extracto de mashua morado silvestre	: 1000 mL
Concentración de antocianinas en extractos	: 18.61 mg/L
Cantidad de antocianinas contenido en extracto	: 18.61 mg
Cantidad de polvo obtenido por atomización	: 80 g (0.08 Kg)
Concentración de antocianinas en polvo	: 207.07 mg/Kg
Cantidad de antocianinas en polvo	: 16.56 mg

$$\text{Eficiencia de encapsulación} = \frac{\text{Contenido total de Antocianinas despues de encapsulación}}{\text{Contenido total de Antocianinas usadas en extractos}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de encapsulación antocianina} = \frac{16.56 \text{ mg}}{18.61 \text{ mg}} \times 100$$

Eficiencia de encapsulación = 89%

### **Cálculo de eficiencia de encapsulación de fenoles totales**

Volumen de extracto de mashua morado silvestre	: 1000 mL
--	-----------



Concentración de fenoles totales en extractos	: 96.36 mg/L
Cantidad de fenoles totales contenido en extracto	: 96.36 mg
Cantidad de polvo obtenido por atomización	: 80 g (0.08 Kg)
Concentración de fenoles totales en polvo	: 1035.84 mg/Kg
Cantidad de fenoles totales en polvo	: 82.87 mg

$$\text{Eficiencia de encapsulación} = \frac{\text{Contenido total de fenoles despues de encapsulación}}{\text{Contenido total de fenoles usadas en extractos}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de encapsulación de fenoles totales} = \frac{82.87 \text{ mg}}{96.36 \text{ mg}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de encapsulación de fenoles totales} = 86\%$$

#### 4.3. RESULTADOS PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

**Tabla 6**

*Resultados de rendimiento de encapsulación de antocianinas*

Maltodextrina (%)	Temperatura (°C)		
	150	160	170
10	79.16%	80.54%	79.82%
	79.63%	81.12%	80.73%
15	83.12%	86.34%	85.02%
	82.62%	85.76%	84.73%
20	86.24%	88.20%	87.76%
	85.95%	89.78%	88.13%

La tabla 6 muestra el resultado de rendimiento de encapsulación de antocianinas en diferentes concentraciones y variación de temperaturas. Siendo el más optimo 89.78 %.



**Tabla 7**

*Resultados de rendimiento de encapsulación de fenoles*

Maltodextrina (%)	Temperatura (°C)		
	150	160	170
10	76.23%	79.43%	81.13%
	75.78%	78.92%	80.87%
15	79.18%	84.64%	84.13%
	80.14%	84.96%	83.92%
20	81.87%	85.82%	85.61%
	82.16%	86.12%	85.53%

La tabla 7 muestra los resultados de rendimiento de encapsulación de fenoles con diferentes concentraciones de maltodextrina y distintas temperaturas de operación.

**Tabla 8**

*Resultados de rendimiento de encapsulación de fenoles y antocianinas*

Maltodextrina (%)	Temperatura (°C)	Rendimiento de encapsulación de antocianinas (%)	Rendimiento de encapsulación de fenoles (%)
<b>10</b>	150	79.16	76.23
		79.63	75.78
<b>10</b>	160	80.54	79.43
		81.12	78.92
<b>10</b>	170	79.82	81.13
		80.73	80.87
<b>15</b>	150	83.12	79.18
		82.62	80.14



<b>15</b>	160	86.34	84.64
		85.76	84.96
<b>15</b>	170	85.02	84.13
		84.73	83.92
<b>20</b>	150	86.24	81.87
		85.95	82.16
<b>20</b>	160	88.20	85.82
		89.78	86.12
<b>20</b>	170	87.76	85.61
		88.13	85.53

La tabla 8 muestra los resultados de rendimiento de encapsulación de antocianinas y fenoles, los mayores rendimientos de encapsulación fue 89.78% para antocianinas y 86.12% para fenoles a 20% de concentración de maltodextrina y temperatura de 160°C. Orellano y Valverde (2017) en su estudio de encapsulación obtuvieron un mayor de contenido de antocianinas con una temperatura de 120°C y 5% de maltodextrina.

#### 4.4. ANÁLISIS DE VARIANZA

**Tabla 9**

*Análisis de Varianza para encapsulación de antocianinas*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	8	192.065	24.0082	90.53	0.000
<b>Lineal</b>	4	190.259	47.5647	179.37	0.000



<b>Concentración Maltodextrina</b>	2	171.032	85.5159	322.48	0.000
<b>Temperatura</b>	2	19.227	9.6134	36.25	0.000
<b>Interacciones de 2 términos</b>	4	1.807	0.4517	1.70	0.233
<b>Concentración Maltodextrina*Temperatura</b>	4	1.807	0.4517	1.70	0.233
<b>Error</b>	9	2.387	0.2652		
<b>Total</b>	17	194.452			

La tabla 9, ANOVA muestra la prueba de significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

De acuerdo a los resultados de tabla de ANOVA las variables concentración de maltodextrina y temperatura son significativos con niveles de confianza de 100%. Es decir, estos factores afectan directamente en el proceso de secado por atomización.

### Tabla 10

Resumen del modelo.

S	R-cuadrado	Cuadrado ajustado	R-cuadrado predeterminado
0.514960	98.77%	97.68%	95.09%

La tabla 10 muestra el estadístico R-Cuadrada, el modelo así ajustado explica el 98.77% de la variabilidad para rendimiento de encapsulación. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.68. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.514960.

Los resultados encontrados estadísticamente se asemejan con el estudio realizado por Orellano y Valverde (2017) que usaron la prueba ANOVA con una probabilidad de error de 0.1% estableciendo que la temperatura y el % de maltodextrina si tienen efecto sobre las propiedades sobre el producto.

#### 4.5. MODELO MATEMÁTICO PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS

**Tabla 11**

*Coefficiente de regresión del modelo matemático.*

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimado</b>
Constante	-371.427
A:Concentración maltodextrina	0.787
B:Temperatura	5.4915
AA	-0.0270667
AB	0.00485
BB	-0.0171417

La Tabla 11 muestra los coeficientes de regresión para rendimiento de encapsulación de antocianinas.



El modelo matemático describe el proceso de secado por atomización, en donde expresa el porcentaje de rendimiento en función de las variables concentración de maltodextrina y temperatura.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Rendimiento} = -371.427 + 0.787 * \text{Concentración maltodextrina} + 5.4915 * \text{Temperatura} - 0.0270667 * \text{Concentración maltodextrina}^2 + 0.00485 * \text{Concentración maltodextrina} * \text{Temperatura} - 0.0171417 * \text{Temperatura}^2$$

$$\text{Rendimiento} = -371.427 + 0.787 * 20 + 5.4915 * 160 - 0.0270667 * (20)^2 + 0.00485 * 20 * 160 - 0.0171417 * 160 - 0.0171417 * (160)^2$$

$$\text{Rendimiento} = 88.8$$

Esta ecuación se utiliza para calcular el valor óptimo de rendimiento de encapsulación, con valores óptimos de los factores, así mismo permite simular el proceso de secado por atomización.

#### 4.6. OPTIMIZACIÓN PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS

Valor óptimo = 89

**Tabla 12**

*Optimización de variable respuesta*

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
Concentración maltodextrina (%)	10.0	20.0	20.0

Temperatura (°C)	150.0	170.0	160.0
------------------	-------	-------	-------

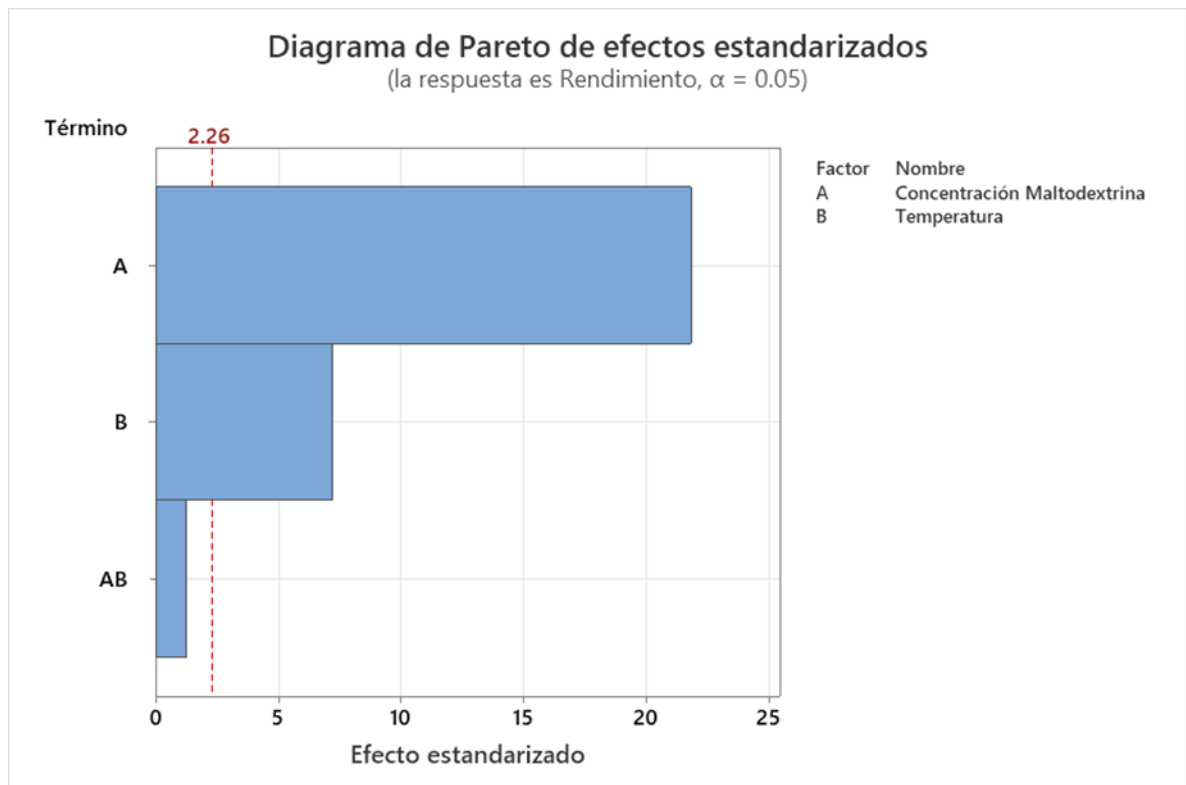
---

La tabla 12, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza porcentaje de rendimiento de encapsulación. Las variables óptimas determinadas son: concentración de maltodextrina (20%) y temperatura (160°C). Se obtuvo un rendimiento de encapsulación de 89% de antocianinas. El trabajo realizado por Nureña & Martinez, (2015), para encapsular zumo de aguaymanto muestra que la concentración de encapsulante óptima es 50% de Maltodextrina, obteniéndose: Humedad 6.4106 % y Vitamina C 51.0686 mg/100g a una temperatura de 165°C.

### Diagrama de Pareto estandarizado de antocianinas

Figura 3

*Diagrama de Pareto de efectos estandarizados*

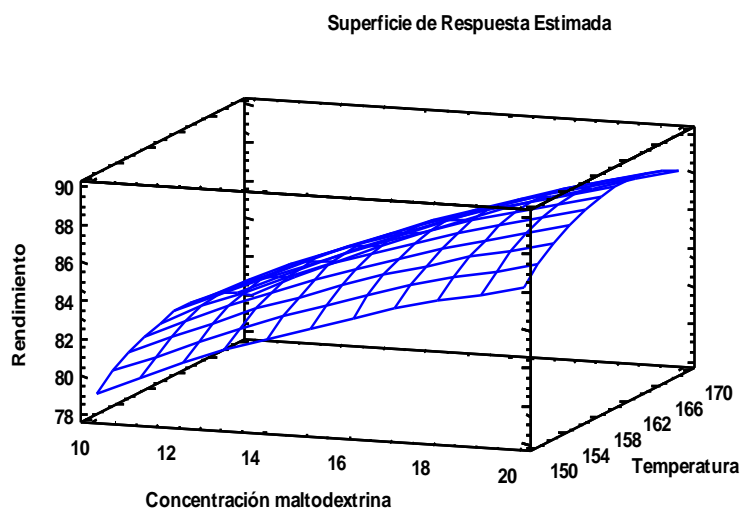


En la figura 3 la barra mayor que es la concentración de maltodextrina indica que es más significativo, seguido de la temperatura que también es significativo, estos factores afectan directamente en el rendimiento de encapsulación durante el proceso de secado por atomización. la interacción AB no es significativo debido que se encuentra debajo del valor 2.26. La concentración de maltodextrina y temperatura de secado afecta directamente al proceso de secado por atomización, mientras que la interacción AB no tiene efecto en el proceso.

#### 4.7. SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA ANTOCIANINAS

**Figura 4**

*Superficie de respuesta estimada para rendimiento de encapsulación*

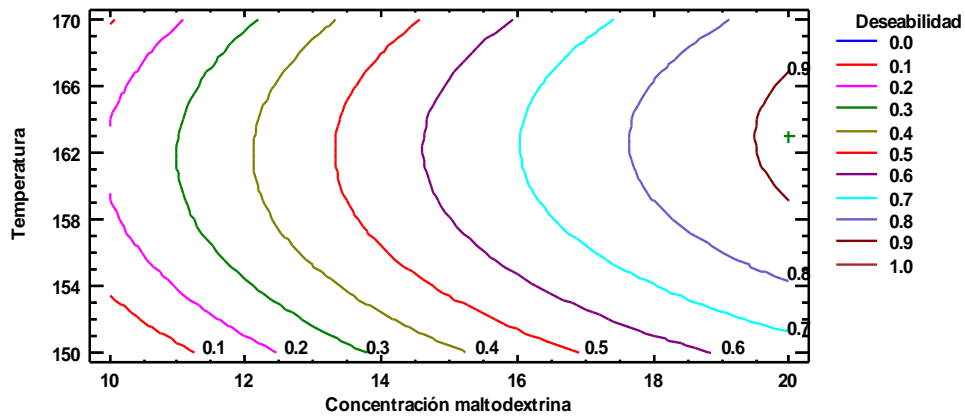


La figura 4, muestra superficie de respuesta estimada. Para los valores de concentración de maltodextrina (20%) y temperatura (160°C), el rendimiento de encapsulación de antocianinas es de 89%. La Superficie optimizada tiene forma parabólica, esto debido a un modelo matemático de segundo orden.

#### 4.8. SUPERFICIE DE CONTORNO PARA ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS

**Figura 5**

*Gráfico de contornos de la superficie de respuesta estimada*

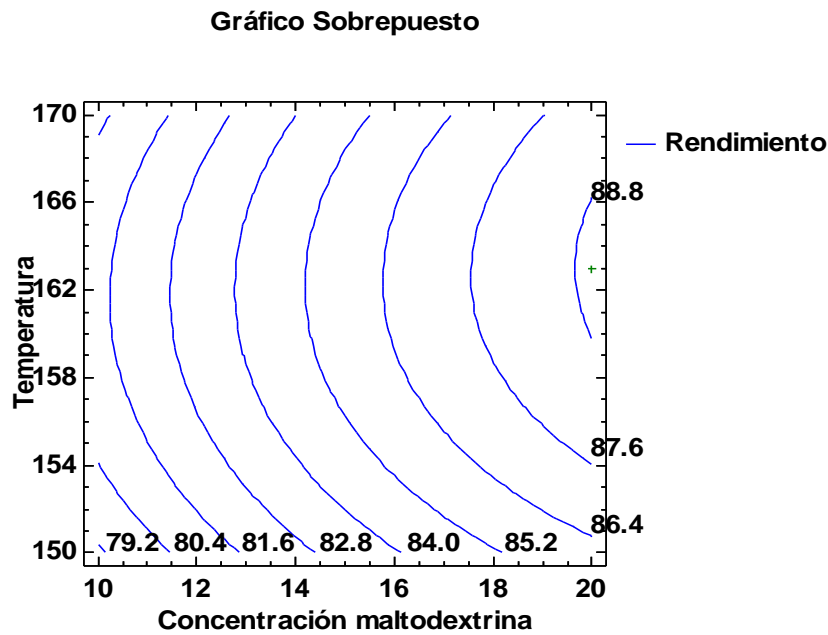


La figura 5, muestra gráficos de contorno para rendimiento de encapsulación de antocianinas en función de concentración de maltodextrina y temperatura. Las líneas curvas representan la deseabilidad de 0.1 hasta 0.9 , siendo este valor cercano a 1.0.



**Figura 6**

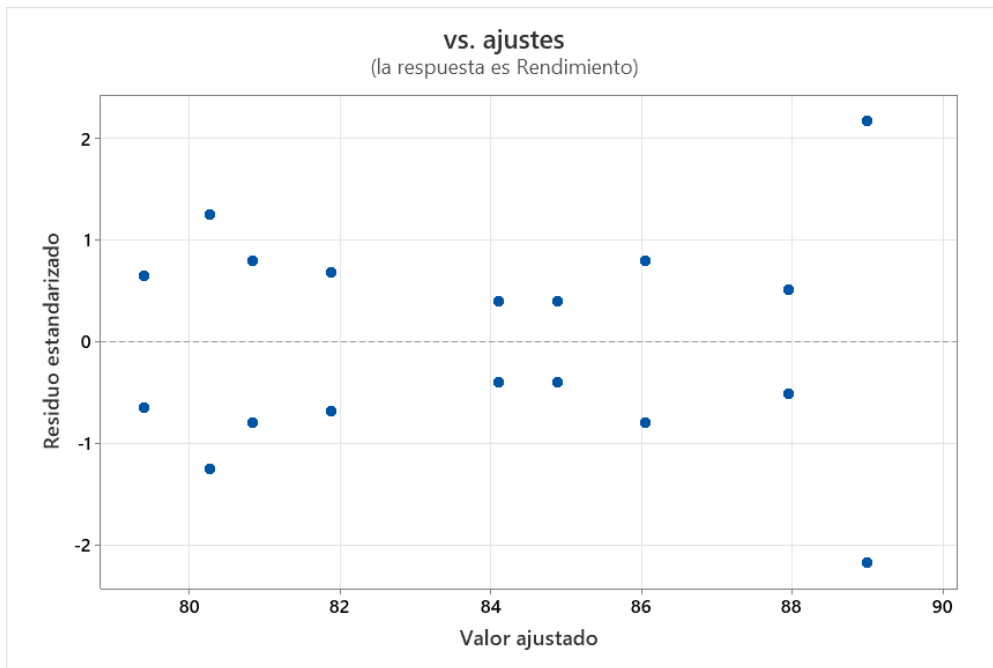
*Gráfico sobrepuesto para rendimiento de encapsulación de antocianinas*



La figura 6, muestra gráficos de contorno sobrepuesto para rendimiento de encapsulación de antocianinas en función de concentración de maltodextrina y temperatura. Las curvas representan el valor de rendimiento de encapsulación cuyos valores van desde 79.2 % hasta 88.8 % de antocianinas cuyo valor final es el máximo porcentaje de encapsulación .

**Figura 7**

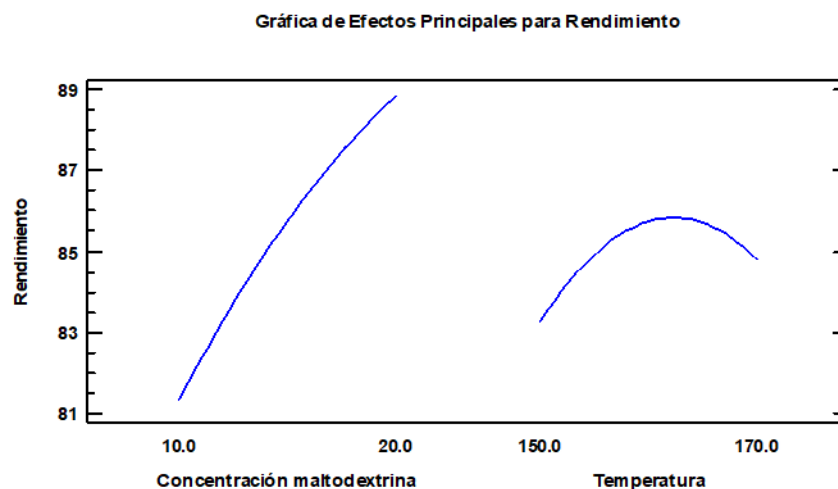
*Gráfico de residuo estandarizado para rendimiento de encapsulación.*



La figura 7 muestra residuo estandarizado en función de valor ajustado, cuyos puntos son dispersos y simétricos. Los puntos tienen tendencia parabólica debido que el modelo matemático es de segundo orden.

**Figura 8**

*Gráfico de efectos principales para encapsulación de antocianinas.*



La figura 8, muestra efectos principales en el rendimiento de encapsulación. La concentración de maltodextrina en el rango de 10 a 20% aumenta linealmente, lo que indica que es directamente proporcional y la temperatura en el rango de 150 a 160 incrementa rápidamente y después de 160°C disminuye el rendimiento de encapsulación de antocianinas.

#### 4.9. PROPIEDADES DEL PRODUCTO OBTENIDO EN POLVO ENCAPSULADO

**Tabla 13**

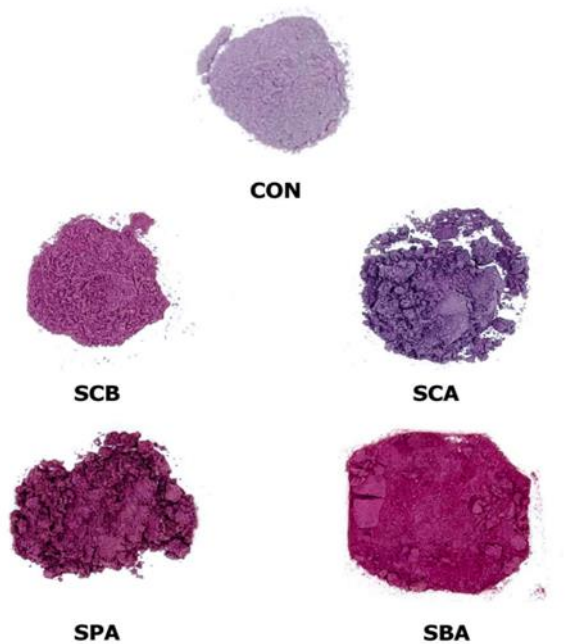
*Propiedades de producto encapsulado*

<b>Características organolépticas y físicas</b>	<b>Unidad de medida</b>
<b>Color</b>	Rosado pálido
<b>Olor</b>	No presenta
<b>Sabor</b>	Ácido al momento
<b>Textura</b>	Polvo palpable
<b>Humedad</b>	0.84%
<b>Materia seca</b>	99.19%
<b>pH</b>	3.50
<b>Acidez (ácido oxálico)</b>	2.88%
<b>Grados Brix</b>	26
<b>Solubilidad</b>	Soluble en agua
<b>Densidad aparente</b>	0.50 g/cm <sup>3</sup>
<b>Ceniza</b>	0.34%

Fuente: Resultados de análisis laboratorio de control de calidad FIQ-UNA

## Figura 9

### *Colores de antocianinas encapsuladas*



Fuente: (Kurek et al., 2023)

En la figura 9 muestra foto general de microencapsulado de antocianinas en diferentes tipos de levadura. Muestra de control - CON, panadero *Saccharomyces cerevisiae* (SCB), levadura para el Fermentación inferior y superior de la cerveza – *Saccharomyces cerevisiae* (SCA) y *Saccharomyces pastorianus* (SPA) *Saccharomyces bayanus* (SBA).

## Figura 10

### *Antocianina microencapsulada de mashua silvestre morado*



La figura 10 muestra el color del producto antocianina microencapsulada mediante el proceso de secado por atomización del presente trabajo de investigación y es similar a lo obtenido por (Kurek et al., 2023) y depende básicamente del pH. El color purpura representa a pH 3.

La eficiencia de encapsulación de antocianinas a partir de extractos de mashua silvestre morado fue de 89%, este valor es relativamente menor comparado con la encapsulación de antocianinas de extracto de arándano usando 5% maltodextrina, 5% hi-maize, 5% inulina y 5% goma arábica en este proceso la eficiencia de encapsulación alcanzó al 96,80% - 98,83% (Nascimento et al., 2023), la combinación de agentes encapsulantes ha mejorado en comparación con el uso de un solo encapsulante como la maltodextrina. (Nascimento et al., 2023). En otro trabajo de investigación (Fu et al., 2024) realizó la encapsulación de antocianinas de roselle, la elección de materiales encapsulantes compuestos ( $\beta$ -ciclodextrina + gelatina + aislado de proteína de soja) ha



permitido encapsular al 99 %, lo que significa que la eficiencia de encapsulación de los materiales portadores compuestos es mayor que la de los materiales de un solo portador.



## V. CONCLUSIONES

- En mashua morado silvestre contienen cantidades significativas de proteínas 7.11 g/100g, carbohidratos 82.17 g/100g, fibras 5.16 g/100g, y minerales como fosforo 135.10 mg/100g, calcio 33.86 mg/100g y hierro 7.23 mg/100g. Se determinaron importantes valores de compuestos antocianinas totales 60.2 mg/g y fenólicos totales 16.8 mg/g, estos compuestos bioactivos son antioxidantes que previenen diferentes tipos de enfermedades.
- Para la encapsulación de fenoles y antocianinas se ha trabajado a concentraciones de 10%, 15% y 20% de maltodextrina, la más óptima fue de 20%. El producto obtenido en polvo es de color rosa pálido y posee características organolépticas agradables que pueden ser consumidos para la prevención de la próstata.
- La temperatura adecuada para encapsulación de antocianinas y fenoles en las micropartículas generadas por atomización fue de 160°C, bajo estas condiciones el rendimiento alcanzó al 86% para fenoles y 89% % para antocianinas.



## VI. RECOMENDACIONES

- Valorar científicamente la mashua silvestre morado
- Combinar extracto de mashua silvestre morado con otros extractos de frutas para enriquecer el producto encapsulado.
- Utilizar otros procesos de encapsulación de extractos de mashua silvestre
- Usar mezcla de maltodextrina y goma arábica para encapsular antocianinas y fenoles
- Evaluar las propiedades de toxicidad del producto obtenido para su futuro uso





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari-Alavijeh, S., Shaddel, R., & Jafari, S. M. (2020). Encapsulation of food bioactives and nutraceuticals by various chitosan-based nanocarriers. *Food Hydrocolloids*, *105*, 105774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105774>
- Alu'datt, M. H., Alrosan, M., Gammoh, S., Tranchant, C. C., Alhamad, M. N., Rababah, T., Zghoul, R., Alzoubi, H., Ghatasheh, S., Ghazlan, K., & Tan, T.-C. (2022). Encapsulation-based technologies for bioactive compounds and their application in the food industry: A roadmap for food-derived functional and health-promoting ingredients. *Food Bioscience*, *50*, 101971. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101971>
- Campos, D., Chirinos, R., Gálvez Ranilla, L., & Pedreschi, R. (2018). *Chapter Eight - Bioactive Potential of Andean Fruits, Seeds, and Tubers* (F. B. T.-A. in F. and N. R. Toldrá (ed.); Vol. 84, pp. 287–343). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.12.005>
- Carrasco-Sandoval, J., Aranda-Bustos, M., Henríquez-Aedo, K., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2021). Bioaccessibility of different types of phenolic compounds co-encapsulated in alginate/chitosan-coated zein nanoparticles. *LWT*, *149*, 112024. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112024>
- Castro Coelho, S., Nogueiro Estevinho, B., & Rocha, F. (2020). Encapsulation in food industry with emerging electrohydrodynamic techniques: Electrospinning and Electrospraying - A review. *Food Chemistry*, 127850. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127850>
- Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., & Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, *55*(2), 217–225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.12.005>
- Ciont, C., Difonzo, G., Pasqualone, A., Chis, M. S., Ranga, F., Szabo, K., Simon, E., Naghiu, A., Barbu-Tudoran, L., Caponio, F., Lelia Pop, O., & Cristian Vodnar, D.



- (2023). Phenolic profile of micro- and nano-encapsulated olive leaf extract in biscuits during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 428, 136778. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136778>
- Coklar, H., & Akbulut, M. (2017). Anthocyanins and phenolic compounds of Mahonia aquifolium berries and their contributions to antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 35, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.037>
- Corstens, M. N., Troost, F. J., Alleleyn, A. M. E., Klaassen, T., Berton-Carabin, C. C., Schroën, K., & Masclee, A. A. M. (2019). Encapsulation of lipids as emulsion-alginate beads reduces food intake: a randomized placebo-controlled cross-over human trial in overweight adults. *Nutrition Research*, 63, 86–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.12.004>
- Díaz-Montesa, E., Cerón-Montesa, G. I., & Vargas-Leóna, E. A. (n.d.). *Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática Encapsulation of bioactive compounds: a systematic review*.
- Díaz, Y. L., Torres, L. S., Serna, J. A., & Sotelo, L. I. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Informacion Tecnologica*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>
- Esquivel-González, B. E., Martínez, L. A. O., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180–192.
- Fu, Z., Ju, H., Xu, G.-S., Wu, Y.-C., Chen, X., & Li, H.-J. (2024). Recent development of carrier materials in anthocyanins encapsulation applications: A comprehensive literature review. *Food Chemistry*, 439, 138104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138104>
- Gomes da Costa, J. M., Hijo, A. A. C. T., Silva, E. K., Borges, S. V., & Marques, G. R. (2016). AGREGANDO VALOR A LAS FRUTAS DEL CERRADO BRASILEÑO: ENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE PEQUI A TRAVÉS DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN. *REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG*. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i3.625>



- Horwitz, W. (2010). *Official methods of analysis of AOAC International. Volume I, agricultural chemicals, contaminants, drugs*/edited by William Horwitz. Gaithersburg (Maryland): AOAC International, 1997.
- Jiang, S., Sun, Q., Zhang, T., Liu, W., Wang, N., & Chen, X. (2021). MdMYB114 regulates anthocyanin biosynthesis and functions downstream of MdbZIP4-like in apple fruit. *Journal of Plant Physiology*, 257, 153353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153353>
- Jimenez-Lopez, C., Pereira, A. G., Lourenço-Lopes, C., Garcia-Oliveira, P., Cassani, L., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). Main bioactive phenolic compounds in marine algae and their mechanisms of action supporting potential health benefits. *Food Chemistry*, 341, 128262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128262>
- Kurek, M. A., Majek, M., Onopiuk, A., Szpicer, A., Napiórkowska, A., & Samborska, K. (2023). Encapsulation of anthocyanins from chokeberry (*Aronia melanocarpa*) with plasmolyzed yeast cells of different species. *Food and Bioprocess Processing*, 137, 84–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.11.001>
- Li, W., Linli, F., Yang, W., & Chen, X. (2023). Enhancing the stability of natural anthocyanins against environmental stressors through encapsulation with synthetic peptide-based gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127133>
- Luiza Koop, B., Nascimento da Silva, M., Diniz da Silva, F., Thayres dos Santos Lima, K., Santos Soares, L., José de Andrade, C., Ayala Valencia, G., & Rodrigues Monteiro, A. (2022). Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. *Food Research International*, 153, 110929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110929>
- Laura, H; Mayta, C; Pari, M; Ponce de Leon, E (2015) Instalación y evaluación de un equipo de secado por atomización de leche semidescremada en polvo ( Tesis de titulación UNIVERSIDAD Nacional del Altiplano).



- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, *91*(3), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>
- Nascimento, A. L. A. A., Borges, L. L. R., Fernandes, J. G., Freitas, V. V., Martins, E., Campelo, P. H., & Stringheta, P. C. (2023). Exploring strategies to enhance anthocyanin bioavailability and bioaccessibility in food: A literature review. *Food Bioscience*, *56*, 103388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103388>
- Niu, B., Shao, P., Luo, Y., & Sun, P. (2020). Recent advances of electrosprayed particles as encapsulation systems of bioactives for food application. *Food Hydrocolloids*, *99*, 105376. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105376>
- Nureña, A. J. P., & Martinez, W. C. (2015). EVALUACION DEL ZUMO DE AGUAYMANTO (*Physalis Peruviana*) SECADO POR ATOMIZACION. *Revista Científica INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- Ochoa Huamán, E. (2019) Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) [Tesis de Titulación, Universidad Amazónica de Madre de Dios].
- Orellano Gonzales, E. & Valverde Torres, J. (2017) Propiedades físicas, antocianinas y capacidad antioxidante del atomizado de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) encapsulado con maltodextrina [Tesis de Titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Pacheco, M. T., Hernández-Hernández, O., Moreno, F. J., & Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, *35*, 100601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100601>
- Peanparkdee, M., Borompichaichartkul, C., & Iwamoto, S. (2021). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic acids, flavonoids, and anthocyanins of encapsulated Thai rice bran extracts during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, *361*, 130161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130161>



- Quiroga Ledezma, C. C. (2020). *Chapter 1 - Native food crops for present and future generations: Their role in nutrition and health* (N. Betoret & E. B. T.-S. of the F. S. Betoret (eds.); pp. 3–23). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818293-2.00001-X>
- Ramos-Escudero, F., Muñoz, A. M., Alvarado-Ortiz Ureta, C., & Yáñez, J. A. (2010). Antocianinas, polifenoles, actividad anti-oxidante de sachapapa morada (*Dioscorea trifida* L.) y evaluación de lipoperoxidación en suero humano. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(1), 61–72.
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Saifullah, M., McCullum, R., Akanbi, T. O., & Van Vuong, Q. (2023). Encapsulation of phenolic-rich lemon-scented tea tree extract in lemon pomace powder. *Food Hydrocolloids for Health*, 4, 100157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100157>
- Sakulnarmrat, K., & Konczak, I. (2022). Encapsulation of *Melodorum fruticosum* Lour. anthocyanin-rich extract and its incorporation into model food. *LWT*, 153, 112546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112546>
- Santana, Á. L., & Macedo, G. A. (2019). Challenges on the processing of plant-based neuronutraceuticals and functional foods with emerging technologies: Extraction, encapsulation and therapeutic applications. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 518–529. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.019>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>
- Tang, R., He, Y., & Fan, K. (2023). Recent advances in stability improvement of anthocyanins by efficient methods and its application in food intelligent packaging: A review. *Food Bioscience*, 103164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103164>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). *Chapter 2 - Phenolic*



- Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power* (M. R. S. B. T.-B. C. Campos (ed.); pp. 33–50). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Spray drying strategy for encapsulation of bioactive peptide powders for food applications. *Advanced Powder Technology*, *31*(1), 409–415. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.10.034>
- Zhang, R., Belwal, T., Li, L., Lin, X., Xu, Y., & Luo, Z. (2020). Recent advances in polysaccharides stabilized emulsions for encapsulation and delivery of bioactive food ingredients: A review. *Carbohydrate Polymers*, *242*, 116388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116388>
- Zheng, L., Liu, L., Yu, J., Farag, M. A., & Shao, P. (2023). Intelligent starch/chitosan-based film incorporated by anthocyanin-encapsulated amylopectin nanoparticles with high stability for food freshness monitoring. *Food Control*, *151*, 109798. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109798>
- Zhu, F. (2017). Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. *Food Chemistry*, *229*, 542–552. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.101>
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, *109*, 232–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Panel fotográfico



Foto1: Mashua morado silvestre



Foto 2: Pesado de mashua morado silvestre



Foto 3: Equipo de secado por atomización



Foto 4: Recipiente con polvo encapsulado en equipo





Foto 5: Pesado de producto polvo obtenido para determinación de la humedad



Foto 6: Producto en polvo encapsulado



**ANEXO 2.** Certificados de análisis



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro

Nº 002554

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de MASHUA SILVESTRE

PROCEDENCIA : DISTRITO DE PLATERIA COMUNIDAD DE CAMACANI  
INTERESADO : PASTOR PACHACUTEC APAZA  
MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACION  
MUESTREO : 03/10/2023, por el interesado  
ANÁLISIS : 28/10/2023  
COD. MUESTRA : B009 - 000545

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

ENSAYOS	Unidad	RESULTSDOS TUBERCULO (MASHUA FRESCO)
Humedad	g/100g	78.43
MATERIA SECA	g/100g	0.84
Proteínas	g/100g	7.11
Grasa	g/100g	4.43
Ceniza	g/100g	1.69
Fibra	g/100g	5.16
Carbohidrato	g/100g	82.17
Calcio	mg/100g	33.86
Fosforo	mg/100g	135.10
Hierro	mg/100g	7.23
Vitamina C	mg/100g	215.27

Puno, C. U. 04 de diciembre del 2023

  
ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
FIQ - UNA - CIP - 182393

  
Walter B. Aparicio Aragón  
DECANO - FIQ - UNA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Nº 002555

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de MASHUA SILVESTRE  
**PROCEDENCIA** : DISTRITO DE PLATERIA COMUNIDAD DE CAMACANI  
**INTERESADO** : PASTOR PACHACUTEC APAZA  
**MOTIVO** : TESIS DE INVESTIGACION  
**MUESTREO** : 28/11/2023, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 28/11/2023  
**COD. MUESTRA** : B009 - 000545

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

ENSAYOS	RESULTSDOS
	POLVO EXTRACTO DE MASHUA
Humedad %	0.84
MATERIA SECA %	99.19
pH	3.50
ACIDEZ % (EXP. ACIDO OXALIDO)	2.88
°BRIX	26.00
SOLUBILIDAD	SOLUBLE EN AGUA
DENSIDAD APARENTE g./ml	0.50
CENIZA %	0.34

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS POLVO EXTRACTO DE MASHUA:**

**COLOR** : ROSA PALIDO  
**OLOR** : NO PRESENTA  
**SABOR** : ACIDO AL MOMENTO  
**TEXTURA** : POLVO PALPABLE

**CONCLUSIÓN:** Los resultados de los análisis están conformes.

Puno, C. U. 04 de diciembre del 2023

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
FIQ - UNA - CIP - 182393



Walter B. Aparicio Aragón - Ph.D.  
DECANO - FIQ - UNA



## LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



### INFORME DE ENSAYOS

N° 004747 - 2023

**SOLICITANTE** : PACHACUTEC APAZA PASTOR  
**DIRECCIÓN LEGAL** : JR. 12 DE FEBRERO MZ I LOTE 30 CARABAYLLO - LIMA  
**RUC:** 10013227034 **Teléfono:** 923 584 158  
**PRODUCTO** : MASHUA SILVESTRE MORADA  
**NÚMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA.** : S.I.  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 215,2 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada, a temperatura ambiente.  
**SOLICITUD DE SERVICIO** : S/S N°EN-003715 -2023  
**REFERENCIA** : PERSONAL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 28/11/2023  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO/QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

#### RESULTADOS :

##### ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYO	RESULTADO
1.- Antocianinas Totales (mg / 100 g de muestra original)	60,2

##### MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- RANGANA. Manual of Analysis of Fruit and Vegetables. 1979

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 28/11/2023 Al 04/12/2023.

##### ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 4 de Diciembre de 2023



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

*Carolina Rangel*  
 Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña  
 Directora Técnica (b)  
 CBP - N° 01232

Pág 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú

Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322

E-mail: [lmctf.ventas.servicios@lamolina.edu.pe](mailto:lmctf.ventas.servicios@lamolina.edu.pe) - Página Web: [www.lamolina.edu.pe/calidadtotal](http://www.lamolina.edu.pe/calidadtotal)

la molina calidad total



**INFORME DE ENSAYO**  
**IE-2023-2044**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : PASTOR PACHACUTEC APAZA  
1.2 RUC o DNI : 1322703  
1.3 Dirección : No Precisa

**2. DATOS DE LA MUESTRA**

2.1 Producto : ALIMENTOS  
2.2 Muestreado por : CLIENTE H  
2.3 Número de Muestras : 03  
2.4 Fecha de Recepción : 2023-11-30  
2.5 Período de Ensayo : 2023-11-30 al 2023-12-08  
2.6 Fecha de Emisión : 2023-12-11  
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa  
2.8 ~~Nº~~ de cotización : COT-130960-SL23

**3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA**

ENSAYO	METODO
Determinación de Antocianinas	Espectrofotometría UV Visible - pH diferencial - Referencia: (Gutiérrez & Wroblestad., 1996), (Barragán, et al., 2018)
Determinación de Fenoles Totales	Espectrofotometría UV Visible

**4. RESULTADOS**

**4.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de Muestra: MASHUA SILVESTRE MORADA Y EXTRACTO

  
DIEGO ROMÁN VERGARA ESTRADA  
QUÍMICO  
CQP. 1337



INFORME DE ENSAYO IE-2023-2044

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
	Determinación de fenoles totales en <del>cañabua</del> silvestre	mg Ac. Gálico/100g	1.00	128.40
	Determinación de antocianinas en extracto	(Cianadina-3-glucósido) mg/L	N.A.	18.61
	Determinación de fenoles totales en extracto	mg Ac. Gálico/L	1.00	96.36

**Legenda**

LCM: Límite de Cuantificación de Método.  
\*) Información suministrada por el cliente.

**FIN DE DOCUMENTO**

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Laboratorio de ensayo e investigación



**INFORME DE ENSAYO**  
**IE-2023-2044**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : PASTOR PACHACUTEC APAZA  
1.2 RUC o DNI : 1322703  
1.3 Dirección : No Precisa

**2. DATOS DE LA MUESTRA**

2.1 Producto : ALIMENTOS  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)  
2.3 Número de Muestras : 01  
2.4 Fecha de Recepción : 2023-11-30  
2.5 Período de Ensayo : 2023-11-30 al 2023-12-06  
2.6 Fecha de Emisión : 2023-12-11  
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa  
2.8 N° de cotización : COT-130960-SL23

**3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA**

ENSAYO	MÉTODO
Determinación de Antocianinas	Espectrofotometría UV Visible - pH diferencial – Referencia: (Giusti & Wrolstad., 1996), (Barragán. et al., 2018)
Determinación de Fenoles Totales	Espectrofotometría UV Visible

**4. RESULTADOS**

**4.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Descripción de Muestra: ENCAPSULADO: SECADO POR ATOMIZACIÓN  
MASHUA SILVESTRE MORADA

  
DIEGO ROMANO VERGARÁ ORRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1937



INFORME DE ENSAYO IE-2023-2044

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-3096	Determinación de antocianinas	(Cianadina-3-glucósido) mg/Kg	N.A.	207.07
	Determinación de fenoles totales	mg Ac. Gálico/kg	1.00	1035.84

**Leyenda**

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

<sup>(4)</sup> Información suministrada por el cliente.

**FIN DE DOCUMENTO**

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los Items sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

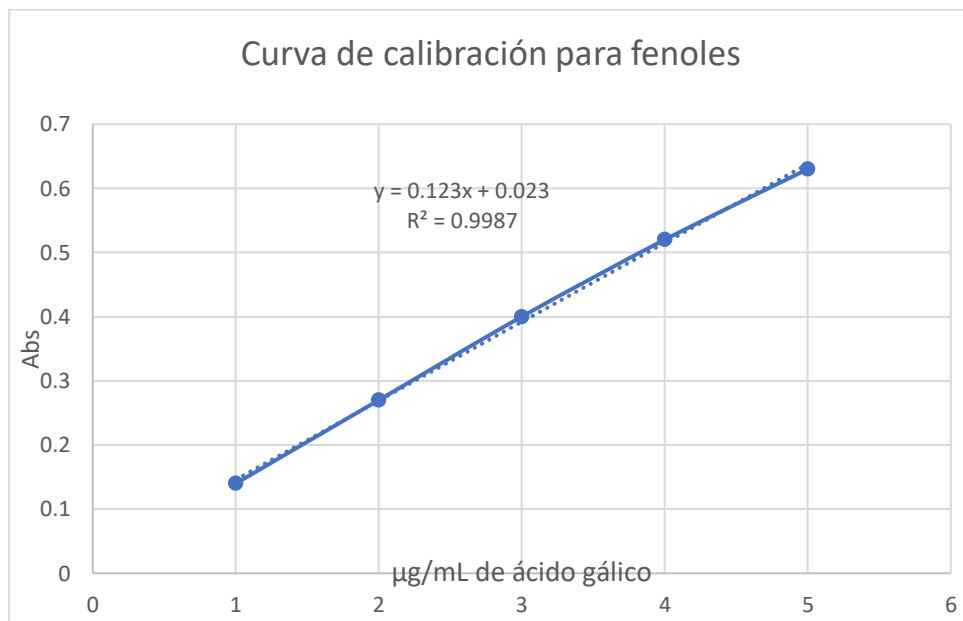
Laboratorio de ensayo e investigación





### ANEXO 3. Curva de calibración para determinación de fenoles totales

Concentración $\mu\text{g/mL}$ ácido gálico	Abs
1	0.14
2	0.27
3	0.4
4	0.52
5	0.63





## ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo PASTOR PACHACUTEC APAZA  
identificado con DNI 01322703 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERIA QUIMICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
“ ENCAPSULACION DE ANTOCIANINAS Y FENOLAS  
TOTALES DE MASHUA SILVESTRE MORADO POR  
EL METODO DE SECADO POR ATOMIZACION ”

Es un tema original.

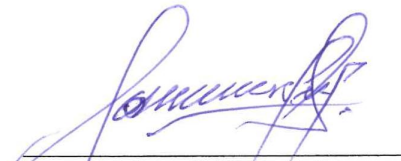
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de ENERO del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 5. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo PASTOR PACHACUTEC APAZA,  
identificado con DNI 01322703 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA QUIMICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES  
TOTALES DE MASHUA SILVESTRE MORADO POR EL  
MÉTODO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de ENERO del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella