

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE MARIA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. ÁNGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA

EFEECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y  
CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd) EN LA  
MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE  
MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)

Asesor:

Dra. BETSY SURI RAMOS PACHECO

Co-Asesor:

Dr. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE MARIA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por:

Br. ÁNGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA

EFFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y  
CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa* Willd) EN LA  
MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE  
MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL

Asesor:

Dra. BETSY SURI RAMOS PACHECO

Co-Asesor:

Dr. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ

**TRABAJO FINANCIADO PARCIALMENTE POR EL VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN DE LA UNAJMA**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**  
**2023**



## APROBACION DEL ASESOR

Quien suscribe:

**Dra: BETSY SURI RAMOS PACHECO**, por la presente:

**CERTIFICA,**

Que, el bachiller en Ingeniería Agroindustrial, ANGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA

Ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado:

“EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO Y LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)” para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 4 de setiembre de 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Betsy'.

---

Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco

Asesora

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ángel'.

---

Ángel Servando Aiquipa Pillaca

Tesista



## APROBACION DEL CO-ASESOR

Quien suscribe:

**Dr. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ**, por la presente:

**CERTIFICA,**

Que, el bachiller en Ingeniería Agroindustrial, ANGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA

Ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado:

“EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO Y LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)” para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 4 de setiembre de 2023.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
Co-Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Ángel Servando Aiquipa Pillaca  
Tesisista



## FACULTAD DE INGENIERIA

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 09:00 horas del día viernes 06 de octubre del año 2023, se reunieron los docentes: Mag. Henry Palomino Rincón, Dr. David Choque Quispe, Mag. Rosa Huaraca Aparco, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*tropaeolum tuberosum*)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **ÁNGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA**, la asesora Mag. Betsy Suri Ramos Pacheco y el coasesor Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **ÁNGEL SERVANDO AIQUIPA PILLACA**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
19	Diecinueve	Excelente

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

.....  
Mag. Henry Palomino Rincón  
Presidente del Jurado Evaluador

.....  
Dr. David Choque Quispe  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

.....  
Mag. Rosa Huaraca Aparco  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## ANEXO 31

### APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: “EFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)”; para optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL, ha sido evaluado por el Jurado Dictaminador conformado por:

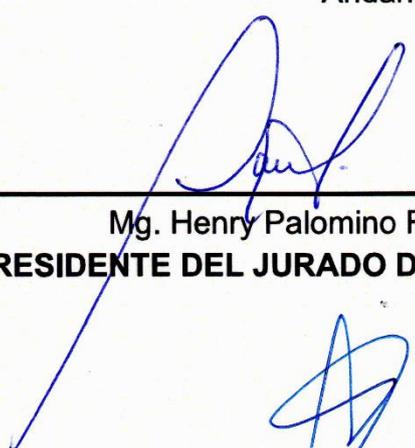
PRESIDENTE: Mg. Henry Palomino Rincón

PRIMER MIEMBRO: Dr. David Choque Quispe

SEGUNDO MIEMBRO: Mg. Rosa Huaraca Aparco

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 6 del mes de octubre de 2023.

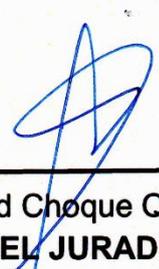
Andahuaylas, 06. de octubre de 2023



---

Mg. Henry Palomino Rincón

**PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR**



---

Dr. David Choque Quispe

**PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**



---

Mg. Rosa Huaraca Aparco

**SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**



### INFORME DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe, asesora de la tesis titulada “EFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)” presentado por el bachiller Ángel Servando Aiquipa Pillaca, con DNI N° 74573216, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de 8% de similitud general.

Por lo tanto, en mi condición de asesora, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 18 de octubre del 2023

---

Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
Asesora de tesis  
DNI: 44230647  
ORCID: 0000-0002-0286-0632



### INFORME DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe, Co-Asesor de la tesis titulada “EFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANTOCIANINAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)”, presentado por el bachiller Ángel Servando Aiquipa Pillaca, con DNI N° 74573216, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, de acuerdo con la normativa vigente, verificándose un porcentaje de 8% de similitud general.

Por lo tanto, en calidad de Co-Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 18 de octubre del 2023

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
Co-Asesor de tesis  
DNI: 31190026  
ORCID: 0000-0001-7519-8355



Andahuaylas, 24 de octubre de 2023

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, expide la:

## Constancia

De porcentaje de similitud (08%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Efecto de temperatura de secado y concentración de almidón de quinua en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Presentado por el Bach. Ángel Servando Aiquipa Pillaca cuyo Asesor es la Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco.

Dra. María del Carmen Delgado Laime  
Presidente de la Unidad de Investigación de la  
Facultad de Ingeniería

MSc. Fidelia Tapia Tadeo  
Miembro de la  
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

M.Sc. Richard Carrión Abollaneda  
Miembro de la  
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

C.c  
Archivo.

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE QUINUA EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE ANT**

AUTOR

**Ángel Servando AIQUIPA PILLACA**

RECuento DE PALABRAS

**25732 Words**

RECuento DE CARACTERES

**140351 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**119 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Oct 18, 2023 12:15 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Oct 18, 2023 12:17 PM GMT-5**

● **8% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cros

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

● **8% de similitud general**

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>repositorio.unajma.edu.pe</b> Internet	2%
2	<b>hdl.handle.net</b> Internet	1%
3	<b>secgen.unajma.edu.pe</b> Internet	<1%
4	<b>repositorio.unac.edu.pe</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.unal.edu.co</b> Internet	<1%
6	<b>1library.co</b> Internet	<1%
7	<b>docplayer.es</b> Internet	<1%
8	<b>repositorio.ucss.edu.pe</b> Internet	<1%
9	<b>colposdigital.colpos.mx:8080</b> Internet	<1%

Descripción general de fuentes

Reporte de similitud

10	repositorio.unheval.edu.pe	Internet	<1%
11	agris.fao.org	Internet	<1%
12	repositorio.uta.edu.ec	Internet	<1%
13	repositorio.unap.edu.pe	Internet	<1%
14	documents.mx	Internet	<1%
15	digitalcommons.mtu.edu	Internet	<1%
16	repositorio.ug.edu.ec	Internet	<1%
17	coursehero.com	Internet	<1%
18	repositorio.uncp.edu.pe	Internet	<1%
19	repositorio.utn.edu.ec	Internet	<1%
20	bdigital.unal.edu.co	Internet	<1%
21	repositorio.uns.edu.pe	Internet	<1%



Descripción general de fuentes

Reporte de similitud

22	<b>patents.google.com</b> Internet	<1%
23	<b>authorstream.com</b> Internet	<1%
24	<b>researchgate.net</b> Internet	<1%



Descripción general de fuentes

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme salud y fortaleza cada día para seguir con mis objetivos y alcanzar mis metas.

A mis queridos padres, por haberme formado con buenos principios y valores, a mis familiares por su gran apoyo incondicional y hacer que mis anhelos sean posibles.

## AGRADECIMIENTO

- Primeramente, expreso mi sincera gratitud a Dios por darme vida, salud y todo el apoyo y fuerza a lo largo de mi vida.
- A la Universidad José María Arguedas, al vicerrectorado de investigación, y en especial a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su contribución de conocimientos y apoyo durante el proceso de mi formación profesional.
- En reconocimiento a mi asesora de tesis, Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco, y a mi Co-Asesor, Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, por sus orientaciones, guía y sugerencias indispensables durante la elaboración de este trabajo de investigación.
- A mis jurados evaluadores, Dr. Henry palomino Rincón, Dr. David Choque Quispe y la Dra. Rosa Huaraca Aparco, por su apoyo, sugerencias y calificaciones, que forman parte del trabajo de investigación.
- Al Laboratorio de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA), dirigido por la MSc. Elibet Moscoso Moscoso, quien me brindó todas las facilidades y apoyo para desarrollar el presente trabajo de investigación.
- Al Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA), dirigido por el Dr. David Choque, quien me brindó el acceso a los equipos necesarios para el desarrollo de la investigación.
- Al laboratorio de química dirigido por el Mag. Herson Arone Palomino, por haberme permitido el acceso a los equipos.
- A mis padres y familiares, por su apoyo y respaldo en momentos de dificultad, por hacer posible el cumplimiento de mis metas.
- Por último, agradezco a mis compañeros con quienes he compartido momentos gratos y de aprendizaje.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	XIV
AGRADECIMIENTO .....	XV
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT.....	XXII
CHUMASQA .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Situación problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.3. Justificación de la investigación .....	4
1.4. Objetivos de la investigación .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES .....	7
2.1. Antecedentes Internacionales .....	7
2.2. Antecedentes nacionales .....	10
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO .....	13
3.1. Bases teóricas .....	13
3.1.1. Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).....	13
3.1.2. Composición química de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) .....	16
3.1.3. Antocianinas.....	17
3.1.4. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas .....	20
3.1.5. Microencapsulación.....	21
3.2. Marco conceptual .....	26
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
4.1. Lugar de ejecución .....	29
4.2. Materiales, instrumentos y equipos.....	29
4.2.1. Materia prima .....	29
4.2.2. Materiales, equipos, instrumentos, reactivos e insumos .....	29

4.3. Identificación de las variables .....	32
4.4. Población y muestra .....	33
4.5. Tipo de investigación .....	34
4.6. Metodología experimental .....	34
4.5.1. Extracción de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd).....	34
4.5.2. Obtención del Extracto antocianico de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) .....	37
4.5.3. Microencapsulación de las antocianinas .....	37
4.7. Métodos de análisis .....	39
4.8. Diseño experimental .....	47
4.8.1. Análisis de datos .....	48
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	49
4.1. Propiedades físicas de los microencapsulados .....	49
4.1.1. Color de los microencapsulados .....	49
4.1.2. Actividad de agua de los microencapsulados .....	56
4.1.3. Morfología de los microencapsulados .....	59
4.2. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los microencapsulados .....	60
4.2.1. Antocianinas monoméricas .....	60
4.2.2. Fenoles totales.....	63
4.2.3. Capacidad antioxidante.....	65
CAPÍTULO VI: Conclusiones .....	69
RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Variedades comunes de la mashua (Tropaeolum tuberosum)</i> .....	15
<b>Tabla 2</b>	<i>Composición química de la mashua (Tropaeolum tuberosum)</i> .....	17
<b>Tabla 3</b>	<i>Colores de la estructura básica de las antocianinas</i> .....	19
<b>Tabla 4</b>	<i>Materiales encapsulantes y métodos más usados en la tecnología de encapsulados</i> .....	23
<b>Tabla 5</b>	<i>Materiales</i> .....	30
<b>Tabla 6</b>	<i>Equipos e instrumentos</i> .....	31
<b>Tabla 7</b>	<i>Reactivos e insumos</i> .....	32
<b>Tabla 8</b>	<i>Operacionalización de las variables</i> .....	33
<b>Tabla 9</b>	<i>Diluciones para la curva de calibración</i> .....	42
<b>Tabla 10</b>	<i>Diluciones para la curva estándar de capacidad antioxidante</i> .....	45
<b>Tabla 11</b>	<i>Matriz de diseño experimental del tipo 2<sup>2</sup></i> .....	47
<b>Tabla 12</b>	<i>Luminosidad (L) de los microencapsulados</i> .....	49
<b>Tabla 13</b>	<i>Análisis de varianza para luminosidad (L)</i> .....	50
<b>Tabla 14</b>	<i>Croma a* de los microencapsulados</i> .....	52
<b>Tabla 15</b>	<i>Análisis de varianza para croma a*</i> .....	52
<b>Tabla 16</b>	<i>Croma b* de los microencapsulados</i> .....	54
<b>Tabla 17</b>	<i>Análisis de varianza para croma b*</i> .....	55
<b>Tabla 18</b>	<i>Actividad de agua (a<sub>w</sub>) de los microencapsulados</i> .....	57
<b>Tabla 19</b>	<i>Análisis de varianza para actividad de agua (a<sub>w</sub>)</i> .....	58
<b>Tabla 20</b>	<i>Antocianinas monoméricas en los microencapsulados</i> .....	61
<b>Tabla 21</b>	<i>Análisis de Varianza para antocianinas monoméricas</i> .....	62
<b>Tabla 22</b>	<i>Fenoles totales en los microencapsulados</i> .....	63
<b>Tabla 23</b>	<i>Análisis de Varianza para fenoles totales</i> .....	64
<b>Tabla 24</b>	<i>Capacidad antioxidante en los microencapsulados</i> .....	66
<b>Tabla 25</b>	<i>Análisis de Varianza para capacidad antioxidante de los microencapsulados</i> .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Mashua negra (Tropaeolum tuberosum)</i> .....	16
<b>Figura 2</b> <i>Estructura básica de las antocianinas</i> .....	18
<b>Figura 3</b> <i>Estructura del granulo de almidón</i> .....	23
<b>Figura 4</b> <i>Esquema de funcionamiento de un atomizador mini Spray Dryer</i> .	26
<b>Figura 5</b> <i>Diagrama de flujo de extracción de almidón de quinua (Chenopodium quinoa Willd)</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de flujo para obtención del extracto antociánico</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Diagrama de flujo para la microencapsulación</i> .....	38
<b>Figura 8</b> <i>Superficie de respuesta e interacción para luminosidad (L)</i> .....	50
<b>Figura 9</b> <i>Superficie de respuesta y efectos principales para croma a*</i> .....	53
<b>Figura 10</b> <i>Superficie de respuesta e interacción para croma b*</i> .....	55
<b>Figura 11</b> <i>Superficie de respuesta e interacción para actividad de agua (a<sub>w</sub>)</i> .....	58
<b>Figura 12</b> <i>Morfología de los microencapsulados</i> .....	59
<b>Figura 13</b> <i>Superficie de respuesta y efectos principales para contenido de antocianinas monoméricas</i> .....	62
<b>Figura 14</b> <i>Superficie de respuesta y efectos principales para fenoles totales</i> .....	65
<b>Figura 15</b> <i>Superficie de respuesta e interacción para capacidad antioxidante</i> .....	67

## Abreviaturas

**A** = absorbancia resultante

**A<sub>λ max.</sub>** = absorbancia máxima para la antocianina mayoritaria,

**A<sub>700</sub>** = absorbancia mínima obtenida a una longitud de onda de 700 nm.

**AGE**: ácido gálico equivalente

**a<sub>w</sub>**: actividad de agua

**Δ Abs**: variación de absorbancias

**C1**: concentración 1

**C2**: concentración 2

**C** = espesor de la cubeta

**DPPH**: radical libre 2,2- difenil-1- picrilhidrazilo

**ε** = coeficiente de extinción molar

**FD**: factor de dilución

**g**: gramos

**mL**: mililitros

**N**: normalidad

**nm**: nanómetros

**meq**: mili equivalente del ácido predominante

**μL**: micro litro

**μM**: micro mol

**μg**: micro gramo

**μm**: micrómetros

**pH**: potencial de hidrogeniones

**PM**: peso molecular

**RPM**: revoluciones por minuto

**T1**: temperatura 1

**T2**: temperatura 2

**TE**: trolox equivalente/ g de muestra

**V** = volumen del solvente de extracción (mL)

**W**= peso de la muestra (g)

## RESUMEN

La mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo poco cultivado y aprovechado, con alto potencial por su contenido en antocianinas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Para este fin, los tubérculos se obtuvieron de los productores de papa nativa del distrito de Tumay Huaraca de la provincia de Andahuaylas, el extracto antociánico se obtuvo mediante lixiviación acuosa, y se microencapsuló mediante secado por aspersión, empleando 5 y 10 % de almidón de quinua como agente encapsulante a 120 y 160 °C. Se determinó el color, actividad de agua ( $a_w$ ), antocianinas monoméricas, fenoles totales, capacidad antioxidante, y se realizó el análisis SEM de los microencapsulados.

Los resultados de color de los microencapsulados evaluadas a través de luminosidad (L) oscilaron entre 39.08 a 57.11, el croma  $a^*$  entre 11.10 a 9.87, y para croma  $b^*$  entre -13.43 a -10.81, los microencapsulados mostraron tendencia al color púrpura. La  $a_w$  presentó valores entre 0.23 a 0.29, las antocianinas monoméricas fluctuaron entre 3.90 a 7.80 mg de cianidina-3-glucósido/g (b.s.), los fenoles totales mostraron valores entre 1.57 y 2.02 mg de AGE/g (b.s.), los valores de capacidad antioxidante por DPPH fueron desde 111.99 a 134.67  $\mu\text{mol TE/g}$  (b.s.). Las imágenes del análisis de morfología estructural de los microencapsulados mostraron la formación esférica heterogénea y amorfa debido al uso almidón nativo. Los factores principales temperatura y concentración de almidón de quinua presentaron efecto significativo sobre las propiedades físicas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los microencapsulados. Se concluye que en el proceso de microencapsulación tanto la temperatura como la concentración de almidón de quinua ejercen un impacto significativo en las propiedades de las microcápsulas obtenidas, lo cual podría aprovecharse como un colorante natural en alimentos.

**Palabras clave:** mashua negra, fenoles totales, capacidad antioxidante, antocianinas, microencapsulación.

## ABSTRACT

The mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) is a tuber that is bit cultivated and used, with high potential due to its anthocyanin content. The objective of the study was to evaluate the effect of drying temperature and quinoa starch concentration on the microencapsulation of anthocyanins from black mashua (*Tropaeolum tuberosum*). For this purpose, the tubers were obtained from naïve potato producers in the Tumay Huaraca district of the province of Andahuaylas, the anthocyanin extract was obtained by aqueous leaching, and it was microencapsulated by spray drying, using 5 and 10% of quinoa starch as an encapsulating agent at 120 and 160 °C. It determines the color, water activity ( $a_w$ ), monomeric anthocyanins, total phenols, antioxidant capacity were determined, and the SEM analysis of the microencapsulates was performed. The color results of the microencapsules evaluated through luminosity (L) ranged between 39.08 to 57.11, chroma  $a^*$  between 11.10 to 9.87, and for chroma  $b^*$  between -13.43 to -10.81, the microencapsulates showed a tendency towards purple color. The water activity presented values between 0.23 to 0.29, the monomeric anthocyanins fluctuated between 3.90 to 7.80 mg of cyanidin-3-glucoside/g (d.b.) of dry sample, the total phenols showed values between 1.57 and 2.02 mg of AGE/g (d.b.), the values of antioxidant capacity by DPPH were from 111.99 to 134.67  $\mu\text{mol TE/g}$  (d.b.). The images of the structural morphology analysis of the microcapsules showed the formation of heterogeneous and amorphous spheres due to native starch. The main factors temperature and quinoa starch concentration had a significant effect on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of the microencapsulates. It is concluded that in the microencapsulation process, both the temperature and the concentration of quinoa starch have a significant impact on the properties of the microcapsules obtained, which could be used as a natural colorant in foods.

**Keywords:** black mashua, total phenols, antioxidant capacity, anthocyanins, microencapsulation.

## CHUMASQA

Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) “yana añu” nisqaqa allpapi puquq masinkuna, kaymi pisillapi tarpusqa hinaspa munaychasqa kachkan, aswanqa ancha antocianina nisqan kaqniyuq. Kay yachaypa munaynin karqa chaninchay kay temperatura hinaspa kinuwapa almidun concentración nisqanmantawan imaynam chay microencapsulados de antocianinas nisqapi qatiynin kasqanmanta. Chaypaqmi yana añu huñusqa karqa papa tarpuqkuna Distrito Tumay-Huaraca Ilaqtamanta provincia Andahuaylasmanta. Antocianina yakunqa lixiviación acuosa nisqantakama urqusqa karqa, hinaspa chakichisqataq karqa secado por aspersion nisqantakama, 5 hinataq 10% quinua almidón karqa agente encapsulante nisqampaq, chaymi chakisqa karqa 120 hinaspa 160 °C. Chaymanta, chaninchakurqa color,  $a_w$ , antocianinas monoméricas, fenoles totales, capacidad antioxidante, hinataq ñawinchasqa karqa morfologías estructurales chay microencapsulados nisqapa.

Chay polvo hurqusqapim kanchaynin tarikurqa 39.08 hinaspa 57.11 yupaykama, croma  $a^*$  nisqapaq kasqa 11.10 hinaspa 9.87, croma  $b^*$  nisqapaq chayarqa -13.43 hinataq -10.81, chay polvo urqusqakunam tikrakurqa púrpura llimpiyman, chay actividad yakumanta kasqa 0.23 hinataq 0.29, chaymanta antocianinas monoméricas chayarurqa 3.90 hinataq 7.80 mg cianidina-3-glucósido/g (b.s.), chaymanta fenoles totales chayarqa 1.57 hinataq 2.02 mg AGE/g (b.s.), hinaspa capacidad antioxidante DPPH nisqawan chayarurqa 111.99 hinataq 134.67  $\mu\text{mol TE/g}$  (b.s.). Chay Morfología estructurales qawachirqa mana yumpay sumaq sayayniyuq achka ruyruchakunata, chaysi kanman almidón nativo nisqawan kasqanrayku. Chay temperatura hinataq concentración almidón nisqapa qatiynin chayarurqa propiedades físicas hinataq compuestos bioactivos hinaspa capacidad antioxidante, kay chakisqa polvo urqusqapaq. Tukunapaq, kay microencapsulación nisqapim temperatura hinallataq concentración de almidón, kaykunam allinta ruranku chay microencapsulados nisqakunata, kaykunaqa allimpunim kanman ima mikuykuna llimpiy qunapaq.

**Tiksi rimaykuna:** yana añu, fenoles totales, capacidad antioxidante, antocianinas, microencapsulación.

## INTRODUCCIÓN

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es uno de los tubérculos cultivados desde hace siglos en regiones andinas del Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela y Colombia, siendo el cuarto tubérculo más importante después de la papa, olluco y oca (Yapias et al., 2022). La mashua negra es la variedad con un potencial de antocianinas, además de su actividad antioxidante, propiedades diuréticas, anticancerígenas (Muñoz et al., 2021).

Sin embargo, la fácil degradación de las antocianinas se ha convertido en un problema, debido a que son poco resistentes principalmente a la luz, oxígeno, temperaturas y pH altos. Frente a esto, una de las alternativas para conservarlas es la microencapsulación por atomización, lo cual permite obtener un polvo soluble, estable y de fácil manejo (Orellano y Valverde, 2017). Para ello, el almidón de quinua se podría aplicarse como material encapsulante.

Es así que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) como encapsulante en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

El presente trabajo de investigación está constituido por 6 capítulos; El Capítulo I, aborda la situación problemática, formulación del problema, la justificación, objetivos e hipótesis, con el propósito de identificar el problema y ofrecer una solución alternativa. El Capítulo II proporciona antecedentes relacionados con la microencapsulación de antocianinas. El Capítulo III, se señalan los fundamentos teóricos y conceptos esenciales para comprender la investigación. El Capítulo IV describe el lugar donde se realizó el estudio, los materiales, equipos e instrumentos utilizados, el tipo de investigación, la metodología experimental, métodos de análisis y diseño experimental. Los Capítulos V y VI presentan los resultados y discusiones correspondientes a los objetivos planteados. Finalmente, en el último capítulo, se encuentran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos relacionados con el trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Situación problemática

En el Perú, se encuentra una amplia variedad de pisos ecológicos que albergan productos nativos con un alto valor nutricional, funcional y terapéutico, como la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) que se caracteriza por su alta concentración de antioxidantes (Davalos, 2019). Sin embargo, generalmente solo se consume en forma de tubérculo, y su transformación es escasa, lo que indica que está siendo poco valorada.

Hay un alto grado de pérdida de su diversidad genética de la mashua, en particular de la variedad negra, debido a la introducción de nuevos hábitos alimenticios, nuevas tecnologías agrícolas y la desvalorización del cultivo de productos nativos tradicionales frente a los importados (Arteaga et al., 2022). De modo que, se produce generalmente en las zonas altoandinas de Apurímac y no se está aprovechando debidamente. Habiendo necesidad de revalorar su uso ya sea como fuente de materia prima para obtener alimentos, bebidas funcionales u otros derivados, especialmente debido a su alta concentración de antocianinas.

Las antocianinas son compuestos que se caracterizan por darle un color característico a los alimentos, que puede variar en tonalidades de rojo, azul, morado y rosa como en muchas flores, frutas, verduras y tubérculos. Además de actuar como colorante natural, poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antibacterianas (Núñez, 2022). Por esta razón, son demandadas especialmente por el sector alimentario, lo que resalta la importancia de promover su utilización como colorante, que al ser estabilizadas nos podría permitir emplear en bebidas, panadería, confitería, lácteos y productos congelados, siendo posibles sustitutos de los colorantes sintéticos o artificiales (Ramos, 2021). Sin embargo, tienen la desventaja de ser poco estables durante el almacenamiento y procesamiento comparado con los colorantes sintéticos (Cevallos, Casals y Cisneros, 2004), debido a que sus propiedades se ven afectados por factores como la temperatura, pH, luz, y oxígeno (Aguirre et al., 2021), por lo que se busca alargar su vida útil a fin de preservarla para su uso.

Por lo tanto, dado que las antocianinas se deterioran fácilmente al ser expuestas al ambiente, se requiere estabilizarlas sin alterar significativamente su composición. Para ello, es necesario utilizar procesos que nos permitan conservar las propiedades físico-químicas de los productos, sustancias o colorantes, mediante la microencapsulación empleando la tecnología de secado por atomización, lo cual nos permite preservarlas utilizando un agente encapsulante (Lozano, 2009).

Sin embargo, también se han evidenciado de que la temperatura de secado y la concentración de los diferentes tipos de materiales de recubrimiento utilizados en la microencapsulación de antocianinas y compuestos fenólicos de diversos frutos influyen de algún modo en el comportamiento de estos compuestos bioactivos (Antonio, 2015; Lozano, 2009; Figueroa, 2020). Se han estudiado diferentes matrices encapsulantes como gomas, pectinas, extraído de diferentes fuentes, y el almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) podría ser una alternativa.

El almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), es poco estudiada en cuanto se refiere al uso como agente encapsulante, más aún a nivel local, debido a que en la gran mayoría de investigaciones generalmente utilizan maltodextrina, goma arábiga y quitosano. Habiendo también interés en el desarrollo de investigaciones visualizando su aprovechamiento del almidón usando como materia prima para aplicaciones y usos en diferentes productos (Corzo, 2018). Además de que, Apurímac es uno de los productores de mayores cantidades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), habiendo necesidad de promover el uso de su almidón.

Por lo expuesto, la presente investigación tiene como finalidad la evaluación del efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua como matriz en la microencapsulación.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en las propiedades físicas de los micro encapsulados?
- ¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los micro encapsulados?

## **1.3. Justificación de la investigación**

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo originario de los andes peruanos, que poseen un alto valor nutricional incluyendo calcio, hierro, fósforo, y una buena cantidad de carbohidratos, vitaminas y proteínas, destacándose por su alta productividad en bajas condiciones de cuidado, siendo poco exigente con respecto al suelo y fertilizantes (Arteaga, 2022); en especial la variedad mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) que se destaca por su alto contenido de antocianinas y su capacidad antioxidante, a pesar de estas cualidades su producción, consumo e incluso su comercialización y transformación han sido subestimados. La mashua negra presenta propiedades diuréticas y antioxidantes que contribuyen a prevenir la oxidación y el envejecimiento celular, lo cual resulta beneficioso para la salud humana (Anaya, 2018). Esta investigación se presenta como una alternativa para preservar sus compuestos bioactivos y promover su uso como materia prima.

Las antocianinas presentan una ventaja importante en la industria alimentaria como posibles sustitutos de los colorantes sintéticos, los cuales rara vez se utilizan debido a su baja estabilidad, principalmente a factores ambientales, lo que limita su aplicación en alimentos (Sotomayor y Vargas, 2017).

Por otro lado, una estrategia para conservar estos compuestos es la microencapsulación, cuyo propósito es mejorar la duración de los compuestos bioactivos, evitando cambios en sus propiedades funcionales causado por factores externos. Esto se logra mediante el empleo de materiales de pared o revestimiento, como gomas y almidones, entre otros. El almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) también puede utilizarse como material de pared ya que el tamaño de sus gránulos que posee es adecuado para controlar la liberación del ingrediente activo de la cápsula (Li y Zhu, 2018).

Además, el almidón de quinua es rico en amilosa y amilopectina, lo que le confiere buenas propiedades de gelificación y formación de películas, así como una alta capacidad de absorción de agua y solubilización en agua (Contreras et al., 2019). Esto lo hace especialmente adecuado para la microencapsulación. Además de estas características, es rico en azufre y magnesio, y contiene proteínas y otros nutrientes (Contreras et al., 2019), lo cual es beneficioso para la salud. Esto podría agregar un valor nutricional al producto final de la microencapsulación.

Asimismo, en los últimos años ha incrementado el interés por los pigmentos antocianos, esto se debe no solo al color que confieren a los productos que los contienen, sino también por su papel en la reducción de enfermedades coronarias, diabetes, cáncer, efectos antiinflamatorios, mejoramiento de la agudeza visual y comportamiento cognitivo, cuyos efectos terapéuticos están asociados con sus propiedades antioxidantes (Vuarant (2013), incluyendo el contenido de vitamina C (Brown et al., 2005).

Es así que, en la presente investigación, se contribuirá a potenciar el uso y revalorar la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) como materia prima para la obtención de antocianinas, en este sentido, se pretende evaluar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua como pared de recubrimiento en la microencapsulación de antocianinas de este tubérculo, esto nos permitirá comprender y preservar adecuadamente sus compuestos bioactivos.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en las propiedades físicas de los micro encapsulados.
- Determinar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los micro encapsulados.

## CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes Internacionales

Masaquiza (2018), en su investigación evaluó la actividad antioxidante de antocianinas microencapsuladas provenientes del maíz morado (*Zea mays L.*), papa morada (*Solanum tuberosum*) y mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*), utilizando método de secado por aspersion, espectrofotometría y método DPPH para la evaluación de la capacidad antioxidante; realizó la microencapsulación a 150 °C con maltodextrina. En sus resultados obtenidos para la concentración de antocianinas en el maíz morado presentó un valor de 267.058 mg cianidina-3-glucosido/100 g, para mortiño 122.240 mg cianidina-3-glucósido/100 g y para la papa morada 168.500 mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra seca respectivamente, así mismo para la capacidad antioxidante del maíz morado obtuvo un valor de 9736.49  $\mu\text{mol TE} / \text{mg}$  de antocianinas, para papa morada 5125.28  $\mu\text{mol TE} / \text{mg}$  de antocianinas, y para el mortiño 106023.84  $\mu\text{mol TE} / \text{mg}$  de antocianinas. Concluyendo que las antocianinas de mortiño tuvieron mayor actividad antioxidante con un porcentaje de inhibición (29.86%) frente a papa morada y maíz morado.

Ersus y Yurdagel (2007), en su investigación evaluaron las propiedades fisicoquímicas, contenido de antocianinas totales y capacidad antioxidante de los microencapsulados de antocianinas de zanahoria negra (*Daucus carota L.*), utilizando el método de secado por aspersion, DPPH y espectrofotometría, en la microencapsulación emplearon temperatura de secado entre 160, 180 y 200 °C, utilizando diferentes maltodextrinas (MDX 29, Glucodry 210 y SD 10). Obtuvieron como resultado para el color donde mostraron valores entre  $50.69 \pm 0.38$  a  $56.82 \pm 0.18$  para luminosidad (L),  $26.02 \pm 0.30$  a  $31.11 \pm 0.22$  para croma a\*,  $5.08 \pm 0.20$  a  $5.91 \pm 0.19$  para croma b\*, indicando que los microencapsulados tuvieron una tendencia a un color rojo púrpura, de igual manera reportaron resultados para contenido de antocianinas totales con valores entre 492 m/ 100 g a 630 mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra seca, para capacidad antioxidante mostraron valores desde 17.12 mg TE/g a 23.64 mg TE/g de materia seca, además mencionaron valores 4 a 5 % de

humedad, llegaron a la conclusión de que el factor de temperatura y las proporciones de maltodextrina mostraron efecto significativo sobre las propiedades de los microencapsulados, indicando que la temperatura óptima de secado con valores altos de respuesta fue a 160 °C, y la maltodextrina (Glucodry 210) como mejor material de pared para encapsular antocianinas.

Figueroa (2020), evaluó la capacidad antioxidante de las antocianinas microencapsuladas de cáscara de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*), y las condiciones óptimas de extracción de antocianinas, empleando el secado por atomización con un mini Spray Dryer, y el método DPPH respectivamente; en sus resultados obtenidos mostró que la actividad antioxidante evaluadas en el producto microencapsulado con goma arábiga presentó un valor de 498.33  $\mu\text{mol TE/g}$  de muestra seca, con un 72.22% de inhibición de radicales libres, mientras que para maltodextrina presentó un valor de 405.01  $\mu\text{mol TE/g}$  de muestra seca con un 58.60% de inhibición de DPPH. Llegando a la conclusión general de que la eficiencia de microencapsulación dependió de 3 factores; el caudal de alimentación, temperatura de entrada de la emulsión y el polímero utilizado como material encapsulante.

Kar et al. (2019), evaluaron las características fisicoquímicas de las antocianinas microencapsulados de zanahoria negra (*Daucus carota* SSp. *Sativus*) con diferentes materiales encapsulantes (proteína aislada de suero, almidón de semilla de jaca y un tipo de emulsionante denominado NBRE-15), realizaron por atomización empleando métodos de pH diferencial y colorimetría. Obteniendo como resultado para el contenido de antocianinas de las microcápsulas un valor de 2766.61 mg cianidina-3-glucosido/100g de materia seca, con humedad de 4.04%, para el color de las microcápsulas un valor de 30.61 para luminosidad (L), 29.39 y 0.03 para croma  $a^*$  y  $b^*$  respectivamente. Indicaron que la proporción de encapsulantes mostraron efecto positivo en los compuestos bioactivos. Concluyeron que el encapsulante óptimo fue la combinación de aislado de proteína de suero de leche con presencia de NBR-15 (0.03%) y almidón de jaca a una relación de 1:5, recomendado para la microencapsulación de antocianinas.

Vargas y Suquillo (2022), determinaron la composición fisicoquímica, la valoración nutricional y el potencial antioxidante del extracto microencapsulado mediante secado por aspersion de uva silvestre (*Macleania rupestris Kunth*). Empleando el método de secado por aspersion o atomización, reactivos Folin-Ciocalteu y DPPH para su análisis. En sus resultados, con respecto al análisis de los microencapsulados, obtuvieron un promedio del contenido de fenoles totales de 362.01 mg AGE/100 g de muestra seca, para la concentración de antocianinas un valor de 272.82 mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra seca, y una capacidad antioxidante de 251.73  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$  de muestra seca. Como conclusión indicaron que este estudio sobre el fruto representa una nueva alternativa prometedora en la industria alimentaria debido a su composición fisicoquímica, valor nutricional y potencial antioxidante.

Villacrez (2013), en su investigación realizó la caracterización fisicoquímica de los microencapsulados de antocianinas de mora (*Rubus glaucus Benth*), obtenidos mediante el método de secado por aspersion. Asimismo, determinó las antocianinas monoméricas por pH diferencial, y utilizó la colorimetría para el análisis del color. En su estudio empleó varias proporciones y tipos de encapsulantes (almidón de yuca, almidón de maíz, goma arábica, Capsul, maltodextrina DE 20, almidón modificado HI-CAP™ y la combinación de maltodextrina D20/almidón de maíz 1:1 p/v, maltodextrina D20/almidón de yuca 1:1 p/v) y temperaturas de secado de 120 y 130 °C. Obteniendo como resultado valores de  $0.540 \pm 0.002$  mg de cianidina-3-glucósido/g de encapsulado para las antocianinas monoméricas, valores entre 0.23 y 0.33 para la actividad de agua, y valores de humedad entre 3.93% y 5.70%, con tendencia a color rosado. Además, indicó que los microencapsulados con almidón de yuca y maíz presentaron una estructura más amorfa y heterogénea debido al estado nativo del almidón. Como conclusión, destacó que los encapsulados con mejor comportamiento fueron con el almidón modificado HI-CAP™ y maltodextrina ya que formaron una capa protectora eficiente. Además, indicó que las antocianinas microencapsuladas no soportan ambientes húmedos (humedad relativa mayor al 70%).

En su investigación Vergara et al. (2020), evaluaron el efecto de la maltodextrina (MD) y las condiciones de secado por aspersion en el contenido total de antocianinas de papas de pulpa morada (*Solanum tuberosum*). Utilizaron el método de pH diferencial mediante espectrofotometría, y la superficie de respuesta para estudiar las condiciones óptimas de microencapsulación. Indicando que los microencapsulados se secaron a temperaturas de entrada de 100, 140, 180 y 188 °C, con relaciones de extracto: maltodextrina de 1:1, 1:4, 1:2.5 y 1:4.3 respectivamente. En sus resultados, reportaron que la condición óptima fue una temperatura de secado de 130 °C y una relación extracto: maltodextrina de 1:4. En esta condición obtuvieron un promedio de 1.340 mg cianidina-3-glucósido/g para contenido de antocianinas totales en los microencapsulados, con un 5.6% de humedad, una actividad de agua de  $0.225 \pm 0.001$ . Además, indicaron que la relación extracto: maltodextrina y la temperatura mostraron efecto significativo en el rendimiento. En Conclusión, determinaron que la encapsulación mejora la protección y la vida útil de las antocianinas, extendiendo así la vida útil y el color, lo que podría ser alternativa como colorante natural estable para uso en la industria alimentaria.

## **2.2. Antecedentes nacionales**

Orellano y Valverde (2017), evaluaron las propiedades físicas y del contenido de antocianinas del extracto acuoso de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) encapsulada con maltodextrina, utilizando el método de secado por atomización (spray dryng), reactivo DPPH para la capacidad antioxidante y método pH diferencial para antocianinas totales respectivamente; en sus resultados con respecto a la evaluación del efecto de la temperatura de secado indican que el mejor tratamiento fue a 120 °C de temperatura y con una concentración de 5% de maltodextrina, donde las antocianinas monoméricas mostró un valor de 207.72 mg/100 g de muestra seca, y una capacidad antioxidante de 543.96  $\mu\text{mol TE/g}$  de muestra seca. Concluyendo que la temperatura de secado y el porcentaje de maltodextrina tienen efecto significativo ( $p\text{-value} < 0,05$ ) con respecto a las propiedades físicas, capacidad antioxidante y antocianinas del extracto atomizado de mashua.

Quispe et al. (2019), realizaron la extracción y determinaron los polifenoles a partir de residuos del café (*Coffea arabica L.*) microencapsuladas, utilizando metodologías como; extracción asistida por ultrasonidos (extracción sólido - líquido), atomización, métodos espectrofotométrico, y superficie de respuesta para cuantificar y analizar los fenoles totales; cuyos resultados óptimos para la microencapsulación fue con una concentración de maltodextrina de 7 % a una temperatura de secado de 120 °C. En estas condiciones, obtuvieron fenoles totales de 30.3118 mg AGE/g (b.s.) (microencapsulada); para antioxidantes por DPPH y ABTS: 175.8  $\mu\text{mol TE/ g}$  muestra seca y 153.8  $\mu\text{mol TE/ g}$  muestra seca, respectivamente. Indicaron que existe una relación directa entre la capacidad antioxidante con el contenido de fenoles totales. Concluyendo que cuyo tratamiento óptimo tiene mayor capacidad de retención de polifenoles.

Santos y Santos (2021), evaluaron la influencia de la concentración de goma garrofín en la microencapsulación del extracto antociánico de mora (*Rubus Glaucus*) empleando el método de atomización. En sus resultados indican que el mayor rendimiento para la microencapsulación fue al usar 30% de goma de algarrobo (garrofín) a una temperatura de 120 °C. Además, señalan que la temperatura, no mostró efecto significativo en el rendimiento promedio de la mora atomizada. Asimismo, señalan que los niveles de concentración de encapsulante del 20% y 30% demuestran una mayor eficacia en el rendimiento, lo que implica que cualquiera de las dos concentraciones puede ser elegida. No obstante, también afirman que a medida que aumenta la temperatura de atomización como el contenido de goma, disminuye el porcentaje de humedad en el producto final. Concluyeron que la temperatura tiene un efecto directo en la humedad promedio de la mora atomizada.

En su investigación, Navarro et al. (2020), evaluaron la extracción y microencapsulación de compuestos antioxidantes de unguirahui (*Oenocarpus Bataua Mart*) mediante de secado por aspersion y la metodología de espectrofotometría con reactivo DPPH respectivamente; de acuerdo a sus resultados con respecto a la microencapsulación, el contenido de fenoles totales de los microencapsulados fue de 110.08 mg AGE/g de muestra seca,

indicando disminución con respecto al fresco debido al efecto de la dilución de maltodextrina sobre el contenido fenólico. La inhibición antioxidante observada fue de 74.59%. Además, señalan que las microcápsulas conservaron su capacidad antioxidante, ya que el encapsulante evita que la temperatura de secado afecte significativamente a las antocianinas, asimismo no presentaron degradación significativa durante su almacenamiento de 180 días. Concluyeron que dicho estudio realizado ofrece una opción tecnológica adecuado para incorporar los compuestos antioxidantes como el de esta semilla en la industria alimentaria.

Velásquez y Vélezmore (2022), evaluaron las condiciones óptimas de secado por atomización de extractos fenólicos de mashua púrpura microencapsulado con almidones modificados de tubérculos andinos (oca amarilla, oca rosa, olluco amarillo). Utilizaron método espectrofotométrico con DPPH y pH diferencial para los análisis correspondientes. Los resultados obtenidos revelaron que el contenido de fenoles totales varió entre 1.96 a 7.84 mg AGE/g de polvo atomizado, obtenidos con 3.5% de almidón de oca rosa a 154 °C. En cuanto a la capacidad antioxidante, sus valores oscilaron entre 18.07 a 47.83  $\mu\text{mol TE/g}$  de muestra seca. Del mismo modo, para la actividad del agua de las microcápsulas, observaron valores entre 0.27 y 0.44, señalan que los efectos de la proporción de encapsulantes y las interacciones entre las variables fueron significativos ( $p < 0.05$ ). Llegaron a la conclusión de que los valores óptimos para polvo atomizado con alto contenido de compuestos fueron con un 2% de proporción de material encapsulante y una temperatura de 160 °C. Además, mencionan que el almidón de oca rosa modificado es buena opción como encapsulante.

## CAÍTULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1. Bases teóricas

#### 3.1.1. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), también conocida como año, isaño o cubio, es una planta herbácea perenne que tiene su origen en la región andina. Su área de distribución natural abarca desde Colombia hasta el norte de Argentina y suele crecer entre los 2400 hasta los 4300 metros de altitud. Además, en las últimas décadas, se ha comenzado cultivar en algunas regiones de Nueva Zelanda y Canadá. Las mayores áreas de siembra se encuentran en Perú y Bolivia, donde generalmente se cultiva en asociación con otros tubérculos, como la oca (*Oxalis tuberosa*), el ulluco (*Ullucus tuberosus*) y las papas (*Solanum tuberosum*), aunque el área de siembra de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es mucho menos exigentes que los otros tubérculos andinos, su cultivo no deja de ser importante, dado que forma parte de la seguridad alimentaria de miles de familias campesinas en los andes a través del autoconsumo o la generación de ingresos monetarios (Manrique et al., 2014).

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo originario de las regiones altoandinas, similar en apariencia a la papa y a la oca. Se presentan en una variedad de colores que incluyen crema, amarillo, negro, morado, blanco y rosado. Estos tubérculos son ricos en vitaminas C y E, y tienen una gran cantidad de carbohidratos, proteínas, vitaminas y un alto valor nutricional que incluye fósforo, hierro y calcio. Se puede consumir de diversas formas, y en algunos casos se recomienda exponer al sol al igual que el camote, para mejorar su sabor. Además, destaca por su capacidad antioxidante debido a su alto contenido de antocianinas, que es especialmente notable en las variedades moradas y negras de la mashua. Estas antocianinas son beneficiosas para las personas con problemas cardiovasculares y poseen propiedades medicinales. La mashua también se ha asociado con la mejora de la agudeza visual, ayuda a combatir la anemia y a eliminar los cálculos renales. Además, es conocida por su capacidad anticancerígena y valor nutritivo beneficiosas para la salud (Arteaga et al., 2022).

### **3.1.1.1 Clasificación taxonómica de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).**

De acuerdo a Córdova e Inga (2019) la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

**Reino:** Vegetal

**Clase:** *Angiospermas*

**Sub clase:** *Dicotiledóneas*

**Orden:** *Geraniales*

**Familia:** *Tropaeolaceae*.

**Género:** *Tropaeolum*.

**Especie:** *Tuberosum* R. et P

**Nombre científico:** *Tropaeolum tuberosum*

**Nombres comunes:** Mashua, añu, cubios, navíos, Isaño, isaño.

### **3.1.1.2 Variedades de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

Entre sus características principales, se menciona que, de acuerdo a su coloración se clasifican en tubérculos de color uniforme, en su mayoría blancos, de los cuales el de color negro contienen altos niveles de antocianinas, y otras que se manifiestan con franjas longitudinales rojas o moradas (Aguirre et al., 2021).

Por otro lado, Grau et al. (2003) mencionan que existen más de cien tipos de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), incluyendo colecciones de germoplasma ecuatorianas y peruanas. Sus variedades se reconocen por la tonalidad de cada una, y las variedades más comunes son los mostrados en la Tabla 1, cuyos nombres comunes son conocidos en quechua.

**Tabla 1***Variedades comunes de la mashua (Tropaeolum tuberosum)*

Nº	Nombre	Atributos del tubérculo
1	Occe-añu	Plomizo
2	Yana-añu	Negro
3	Clicche-añu	Gris
4	Ckello-añu, K'ello-añu	Amarillo
5	Muru-añu	Violeta
6	Puca-añu	Rojo
7	Yana-añu	Negro
8	Yurac-añu	Blanco
9	Zabahoria-añu	Naranja
10	Zapallo-añu	Color Zapallo
11	Quillu-mashua	Amarillo
12	Putsu-mashua, succu- mashua	Fondo amarillo cubierto de rayas rojas
13	Mashua yana-saco	Negro
14	Mashua-chaucha	De maduración temprana
15	Mashua-shira	Amarillo con puntos purpura
16	Mashua-zapallo	Amarillo y rojo
17	Sangre de cristo	Fondo amarillo cubierto de rayas rojas
18	Yawar waqaq (lágrimas desangre)	Fondo amarillo cubierto de rayas rojas
19	Huaka hasta o huagra hasta	Curva larga
20	K'ella-añu	Olor fétido
21	Tome-añu o taqui-añu	Buena para el almacenamiento
22	Kita-añu	Mashua salvaje

Fuente: adaptado de Grau et al. (2003).

De acuerdo con Tapia y Frías (2007), se pueden clasificar según su coloración en las siguientes categorías:

- Tubérculos de color uniforme, como blancos, amarillos o anaranjados.
- Tubérculos con pigmentos de antocianina ubicados sólo en las yemas;
- Tubérculos muy coloreados en las yemas con presencia de antocianinas;
- Tubérculos que tienen yemas pigmentadas y presentan franjas longitudinales rojas o moradas en su superficie.

### **3.1.1.3. Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).**

De acuerdo a Manrique et al. (2014), es una variedad de la mashua donde el color predominante de los tallos o ramas es púrpura grisácea, mientras que la superficie del tubérculo es negro, y la pulpa es de color púrpura claro, la forma del tubérculo es cónico con ojos profundos como se observa en la Figura 1.

**Figura 1**

*Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)*



Fuente: Agroperú (2022).

### **3.1.2. Composición química de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

Poseen un alto valor nutricional, cuentan con alto contenido de fósforo, calcio y hierro, además contienen proteínas (15% con variaciones según la variedad), carbohidratos, fibra, calorías y antocianinas, la cual cuenta con propiedades curativas, además de impedir que los antioxidantes dañen el tejido conectivo, inflamaciones o alergias, este compuesto fortalece la micro circulación ocular y capilares, aporta un alto valor de antioxidantes siendo excelente para la protección del corazón, y vigorizar la circulación de los vasos sanguíneos (Arteaga et al., 2022). Además del contenido de vitamina C, lo cual también se relaciona a una mayor capacidad antioxidante Brown et al. (2005).

La composición química por cada 100 gramos de porción comestible en su estado original (base húmeda) se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2***Composición química de la mashua (Tropaeolum tuberosum)*

Nutrientes	Unidad	Rango	Promedio
Humedad	(%)	79.2 - 93.8	87.4
Carbohidratos	(g)	n.a	9.8
Proteínas	(g)	1.1-2.7	1.5
Grasa	(g)	n.a	0.7
Cenizas	(g)	0.6 - 1.1	0.8
Fibra	(g)	0.5 -1.5	0.9
Azúcares totales	(g)	n.a	3.5
Almidón	(g)	7.0 - 10.5	8.9
Energía	(kcal)	35 - 50	n.a
Potasio	(mg)	1.3 -1.8	1.5
Fósforo	(mg)	0.6 - 0.8	0.7
Calcio	(mg)	n.a	1.2
Hierro	(mg)	n.a	1.0
Vitamina A	(mg)	n.a	1.0
Tiamina	(mg)	n.a	0.10
Riboflavina	(mg)	n.a	0.12
Niacina	(mg)	n.a	0.67
Vitamina C	(mg)	n.a	77.5
Lisina	(mg/g de proteína)	35-69	n.a
Treonina	(mg/g de proteína)	22-46	n.a
Valina	(mg/g de proteína)	25-88	n.a
Isoleucina	(mg/g de proteína)	25-44	n.a
Leucina	(mg/g de proteína)	35-56	n.a
Tirosina	(mg/g de proteína)	13-62	n.a
de proteína)			
Cisteína	(mg/g de proteína)	14-29	n.a

*Donde:* n.a: indica no disponible, Rango: indica valores mínimos y máximos proporcionados por uno o varios autores, que a menudo trabajan con diferentes cultivares.

Fuente: Grau et al. (2003).

### 3.1.3. Antocianinas

Las antocianinas, cuyo nombre proviene de las palabras griegas **anthos** (*flor*) y **kyanos** (*azul oscuro*), son consideradas una sub clase de los flavonoides. También se les conoce como flavonoides azules y son compuestos vegetales no nitrogenados que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. A pesar de contener pocos grupos cromóforos, se han identificado alrededor de 300 de estos compuestos, que son responsables de una amplia gama

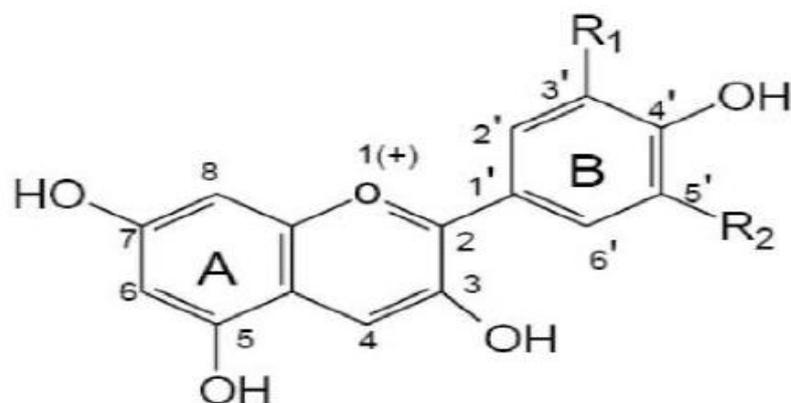
amplia de colores. Las antocianinas son las responsables de los colores rojos, anaranjados, azules y morados que se observan en productos vegetales como las uvas, manzanas, rosas, fresas y otros, principalmente en flores y frutas. Se conocen aproximadamente 20 antocianinas de los cuales las más importantes son pelargonidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, cuyos nombres derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez; la combinación de estas con los diferentes azúcares produce aproximadamente los 300 mencionados (Badui, 2006, p. 421).

### Estructura química de las antocianinas

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, están compuestos por una molécula de antocianidina denominada aglicona que contiene dobles enlaces conjugados encargados de la absorción de la luz a una longitud de onda determinada lo cual hace posible observar los colores característicos, la estructura básica (Figura 2) de estas agliconas es el ion flavilo que consta de dos anillos aromáticos; benzopirilio (A) y un anillo fenólico (B), y un anillo heterocíclico que se caracteriza por la presencia de un ion oxígeno; ambas unidas por una cadena de tres átomos de carbono (Aguilera, et al., 2011).

**Figura 2**

*Estructura básica de las antocianinas*



*Fuente: Aguilera et al. (2011).*

El color de las antocianinas depende de la orientación y número de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula, es así que Santacruz (2011) menciona que la estructura básica de las antocianinas medido con el espectro visible en nanómetros, resultan en 6 antocianidinas de diferentes colores (Tabla 3).

**Tabla 3***Colores de la estructura básica de las antocianinas*

Antocianinas	R1	R2	Espectro visible $\lambda$ (nm)
Pelargonidina	H	H	494 (Naranja)
Cianidina	OH	H	506 (Naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (Azul-rojo)
Peonidina	OCH <sub>3</sub>	H	506 (Naranja-rojo)
Petunidina	OCH <sub>3</sub>	OH	508 (Azul-rojo)
Malvidina	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	510 (Azúl-rojo)

Fuente: Santacruz (2011).

**Importancia de las antocianinas como colorante natural**

Las antocianinas han adquirido una gran relevancia en los últimos años debido a su potencial como colorantes alimentarios naturales, lo que las hace candidatas ideales para remplazar a los colorantes sintéticos. Estas sustancias se utilizan en una variedad de aplicaciones en la industria de alimentos como: bebidas (refrescos, bebidas alcohólicas, bebidas isotónicas), conservas de frutas (mermeladas y conservas de frutas), confiterías de azúcar (jaleas), helados, mezclas secas (para postres y bebidas en polvo ácido) y productos lácteos esencialmente en yogures. De entre estas aplicaciones los refrescos han sido el principal objetivo para el uso de las antocianinas como colorante (Breakey et al., 2002).

Los estudios realizados en ratones alimentados con antocianinas extraídas de maíz morado, en combinación con una dieta alta en grasas, han arrojado resultados prometedores. Observaron que estos ratones no experimentaron un aumento de peso, a diferencia de lo que generalmente ocurre con una dieta alta en grasas como la hiperinsulinemia, hiperglucemia y la hiperleptinemia no se han presentado en los ratones que ingirieron antocianinas. Por lo que recomendaron que las antocianinas como componente funcional en alimentos pueden ayudar en la prevención de la obesidad, diabetes, disfunción del hígado, problemas de visión, hipertensión, diarreas microbianas entre otros (Tsuda et al., 2003).

### 3.1.4. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

- a) pH:** es un parámetro que tiene un impacto significativo en la estabilidad y estructura de las antocianinas. En soluciones acuosas con valores de pH inferiores a 2, básicamente el 100 % de pigmento se encuentra en su forma más estable. Sin embargo, a valores de pH mayores a 4, se produce una pérdida de un protón y la adición de agua en la posición 2 de la molécula, lo que resulta en un equilibrio entre dos formas: la pseudobase carbinol o hemiacetal (B) y la forma chalcona (C), que se presenta como una cadena abierta. Estas dos formas son incoloras y bastante inestables. A pH mayor a 7 se presenta las formas quinoidales (A, A-) de coloración púrpura que se degradan rápidamente por oxidación con la presencia del aire (Márquez, 2011).
- b) Temperatura:** la estabilidad de la antocianina está directamente relacionada con la temperatura, las conversiones estructurales de las antocianinas son relaciones endotérmicas (Fennema, 2000).  
Las temperaturas altas conllevan a la eliminación del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y la apertura del anillo, lo que da como resultado la formación de chalconas incoloras (Timberlake, 1980).
- c) Luz:** es uno de los factores que acelera la degradación de las antocianinas, ya que se ha observado que la sustitución de hidroxilo en el C-5, hace que la antocianina sea más vulnerable a la foto degradación (Davalos, 2019).
- d) Oxígeno:** la presencia de oxígeno afecta las antocianinas ya que estas son rápidamente oxidadas y degradadas cuando se encuentran principalmente en su forma quinoidal, formándose compuestos incoloros o pardos (Davalos, 2019).
- e) Estructura:** Márquez (2011), señala que las antocianinas no son igualmente resistentes a los factores de deterioro causado por diversos agentes debido a su diversidad estructural. Se observa que a medida que aumenta el grado de hidroxilación de la aglicona (parte no azúcar de la molécula), la estabilidad global de las antocianinas disminuye. Por otro lado, la sustitución de grupos metoxi tiene el efecto contrario.

### **3.1.5. Microencapsulación**

La microencapsulación es un proceso en el que se recubre una sustancia de interés, ya sea sólida, líquida o gaseosa, utilizando materiales de distinta naturaleza como polímeros, que actúan como material de recubrimiento. Estos materiales de recubrimientos son resistentes y estables, y deben ser compatibles con el núcleo que se desea encapsular. La interacción entre el material de recubrimiento y el núcleo, que puede ser de naturaleza polimérica o grasa, da como resultado la formación de partículas denominadas “micropartícula”, “microcápsula” o “microesfera”. Estas partículas encapsulan y protegen el núcleo, permitiendo su liberación controlada en aplicaciones específicas, en general el tamaño varía entre 1 y 1000 micrómetros (López y Villalta, 2009).

Esta es una tecnología utilizada para el recubrimiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en pequeñas cápsulas que pueden liberar su contenido a una velocidad controlada bajo determinadas condiciones, es decir, las células son retenidas dentro de una matriz encapsulante denominado membrana o pared de recubrimiento (Pérez et al., 2013).

El tamaño y la forma de las microcápsulas están condicionados por los materiales y métodos utilizados en su preparación. Las propiedades fisicoquímicas del núcleo, la composición de la envoltura y la técnica de microencapsulación generan diversos tipos de partículas que pueden presentar variadas morfologías: desde una forma simple, representada por una esfera recubierta uniformemente, hasta formas irregulares; partículas con núcleos dispersos en una matriz continua de material de la envoltura; múltiples núcleos contenidos en una misma cápsula; o incluso microcápsulas con múltiples capas de envoltura (Gharsallaoui et al., 2007).

#### **3.1.5.1. Materiales encapsulantes**

Los agentes encapsulantes a utilizar deben tener ciertas características idóneas, por lo que es importante tomar en cuenta las propiedades del material a emplear, con el fin de concluir y predecir su comportamiento bajo las condiciones de producción, almacenamiento y consumo; tal es el caso que

Sandoval et al. (2017) mencionan de los materiales que se utilizan deben tener algunas de las características importantes como:

- Buenas propiedades reológicas a altas concentraciones,
- De fácil manejo y facilidad para solubilizarse con el material a encapsular y mantener su estabilidad de la misma,
- No reaccionar con el material a encapsular en el proceso de encapsulación ni en el tiempo de almacenamiento, capacidad de recubrimiento y mantener dentro de su estructura al material encapsulado.
- Deben ser solubles en medios acuosos o disolventes específicos, o responder a cambios controlados de temperatura.
- Deber ser capaces de proporcionar protección efectiva al material encapsulado contra factores externos como la humedad, la luz, el oxígeno y otros.
- Deben permitir la eliminación completa de los disolventes u otros materiales utilizados durante el proceso de microencapsulación, ya sea en el secado o por condiciones de solvatación.
- Deben ser capaces de controlar la liberación del material encapsulado en condiciones específicas, lo que es fundamental para aplicaciones específicas de liberación controlada.

Haciendo referencia dichas características mencionadas, Sandoval *et al.* (2017) y Parra (2010) mencionan que los diferentes tipos de materiales encapsulantes y métodos más utilizados para la encapsulación son las que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Materiales encapsulantes y métodos más usados en la tecnología de encapsulados*

Materiales más comunes	Clasificación	Métodos
<b>Carbohidratos:</b> Maltodextrina, jarabes de maíz, almidón y derivados. Gomas: arábica, mezquite, quitosano, alginato de sodio.	Físicos	secado por aspersión, liofilización, recubrimiento con lecho fluidizado, extrusión estacionaria, cristalización.
<b>Proteínas:</b> caseinatos, gluten, gelatina, proteína de soya.	Químicos	Polimerización interfacial, Gelificación iónica, Inclusión molecular
<b>Lípidos:</b> ceras, parafinas, aceites, grasas, diglicéridos, monoglicéridos, trisetearina.	Fisicoquímicos	coacervación simple, coacervación compleja, atrapamiento en liposomas

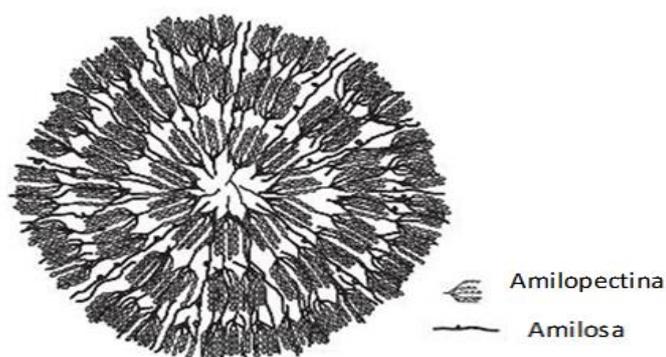
Fuente: Sandoval et al. (2017), Parra (2010).

### **Almidón como material encapsulante.**

El almidón es una mezcla específica de dos polisacáridos amilosa y amilopectina que tienen similitud, se estima que los almidones en general contienen en promedio de entre 17 a 27 % de amilosa y el resto es amilopectina, los cuales son los responsables de las propiedades del almidón como la estabilidad, transparencia, solubilidad, viscosidad (Corzo, 2018).

**Figura 3**

*Estructura del granulo de almidón*



Fuente: Bemiller y Whistler (2009).

El almidón es una fuente de gran interés en la industria debido a sus características ideales para su aplicación en alimentos. Sin embargo, en algunas investigaciones como la de Antonio (2015), se menciona que los almidones de productos nativos como los de la papa, yuca, maíz y otros cereales, son ampliamente utilizados. Se hace referencia también a que son aptos para ser usados como agente encapsulante. Además, la retención de pigmentos parte de los almidones de productos nativos aumenta significativamente cuando éstos son modificados, ya sea mediante hidrólisis ácida, modificación química u otros procesos. Por lo tanto, son preferidos por diversos sectores debido a sus buenas capacidades emulsionantes, bajas viscosidades y propiedades de barrera al oxígeno.

Por otra parte, Rosales et al. (2023) mencionan que el tamaño de los gránulos del almidón incrementa las interacciones entre las cadenas del almidón y los compuestos químicos, lo que mejora la estabilidad de los encapsulados evitando la fácil liberación del compuesto bioactivo encapsulado.

### **Almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) contiene entre 58 y 68% de almidón, lo cual se encuentra localizados en el perisperma en gránulos pequeños de tamaño promedio de 2 micras, es la más pequeñas a comparación de los granos comunes, son parcialmente cristalinos por lo que tiene propiedades únicas, como una alta solubilidad (Arzapalo et al., 2015).

El almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), también presenta una estabilidad alta siendo resistente a altas temperaturas, por lo que son recomendadas como ingrediente potencial en alimentos que son expuestos a tratamientos térmicos y a una agitación mecánica o cortante, destacándose algunas variedades como blanca, negra y cahuil; además poseen muchas propiedades funcionales que permiten ser usado en diversas aplicaciones en la industria alimentaria debido también a su función que cumple como emulsionante, espesante, agente encapsulante, agente anti aglomerante, estabilizante (Zárate, 2019).

### **3.1.5.2. Secado por atomización**

Esta técnica de secado es comúnmente utilizada, de hecho, la encapsulación de las antocianinas realizadas por este método es alrededor del 80 a 90%, debido a que es una alternativa útil para proteger compuestos bioactivos inestables con el fin de evitar su degradación. Con la microencapsulación, la sustancia a conservar es cubierta por el material de pared y forma una micropartícula que puede alcanzar tamaños de 5 a 300 micras (Campo et al., 2021).

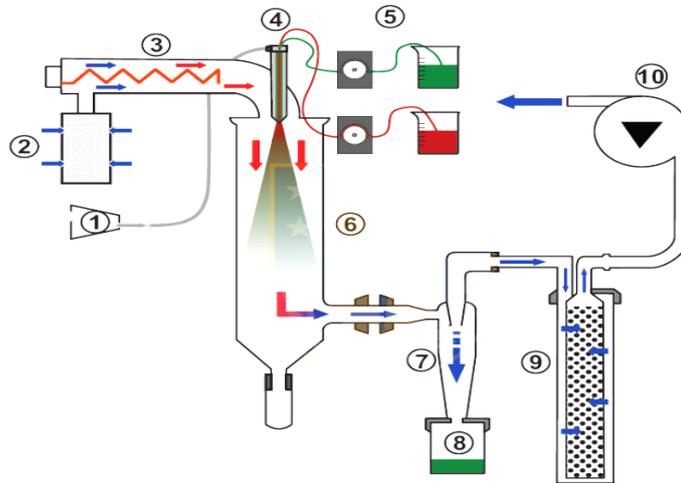
El principio de este método consiste en la obtención de un polvo seco por medio de la atomización de una solución, emulsión o suspensión en una corriente de aire caliente en una cámara de secado, donde el agua se evapora de manera instantánea, permitiendo que el material activo presente en la solución, emulsión o suspensión se pueda micro encapsular y quede protegido por una película del polímero elegido como encapsulante (Kalušević et al., 2017).

Este procedimiento implica la aspiración de una disolución, suspensión o emulsión que contiene el agente encapsulante y el material a encapsular mediante una bomba peristáltica. Posteriormente, esta mezcla se atomiza en el equipo lo que permite obtener un producto seco. En este proceso el líquido bombeado se ve obligado a salir a través de una boquilla de diámetro específico en medio de una corriente de aire caliente que está bajo presión. Esta interacción da como resultado la formación de gotas de tamaño variable que se secan en una cámara diseñada para este propósito. Luego el producto ya seco es aspirado hacia un ciclón donde se separa las partículas, permitiéndolas caer en un colector de productos y aspirando el polvo fino que no haya sido capaz de depositarse en el colector (Aundhia, 2011; como se cita en Beltrán, 2017).

De este modo en el siguiente esquema del principio de funcionamiento de un mini Spray Dryer se ejemplifica las distintas etapas que pasa una muestra líquida, hasta la obtención en seco o denominado microencapsulados.

**Figura 4**

*Esquema de funcionamiento de un atomizador mini Spray Dryer*



Donde: la muestra se aspira (5) mediante una bomba peristáltica, donde se mezcla con un flujo de aire filtrado a una temperatura definida (2-3) y un flujo de aire comprimido (1). Estos flujos confluyen en la boquilla (4) y luego son expulsados hacia la cámara de secado (6). Posteriormente, el flujo se aspira nuevamente (10) hacia un ciclón de separación que recolecta las partículas (8), mientras que el resto es filtrado y eliminado (9).

Fuente: Beltrán (2017).

### **3.2. Marco conceptual**

#### **Compuestos Bioactivos**

Son conocidos como nutraceuticos, son compuestos esenciales y no esenciales que se encuentran en la naturaleza como parte de la cadena alimentaria; son químicos que se encuentran en pequeñas cantidades en productos vegetales y alimentos ricos en lípidos (Gámez, 2020).

#### **Antocianina**

Son el grupo más importante de pigmentos solubles en agua detectables en el rango visible del ojo humano. Estos pigmentos son responsables del rango de color rojo a azul en varias frutas, verduras, frutos y granos y (Rolón, 2018; citado por Aguirre, Oré y Ticsihua, 2021).

#### **Fenoles**

Son sustancias de anillo aromáticos, que tienen uno o más grupos hidroxilo incluidos los derivados funcionales (ésteres, ésteres metílicos y glucósidos). Los polifenoles tienen diferentes propiedades desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta compuestos muy polimerizados como los taninos.

Se presentan en las plantas de manera conjugada con uno o más residuos de azúcar unidos a un grupo hidroxilo (Márquez, 2011).

### **Capacidad Antioxidante**

Es la capacidad total que posee una sustancia para poder impedir la degradación oxidativa; debido a eso, actúa principalmente como un indicador de la capacidad para reaccionar con radicales libres. Es decir, los antioxidantes son sustancias que neutralizan los radicales libres o sus acciones (Cerrón, 2012).

### **Microencapsulación**

El proceso de microencapsulación consiste en recubrir o revestir un material o ingrediente sensible ya sea puro o una mezcla dentro de otros materiales, para formar capsulas cuyo diámetro oscila entre 5 y 300 micras. El material a proteger denominado material del núcleo material activo, suele ser un líquido, o un sólido; el material de revestimiento se denomina cápsula, membrana, material de pared, soporte o cubierta, que puede ser un carbohidrato o un material polimérico (Esquivel et al., 2015).

### **Microcápsulas**

Son pequeñas partículas que contienen un núcleo interno denominada sustancia activa, el cual es cubierto por una capa de polímero denominada membrana de la cápsula. Sin embargo, dependiendo de la distribución nuclear (si el núcleo se divide o no), pueden ser microcápsulas uninucleadas o multinucleadas. Su tamaño de las microcápsulas varía entre 0.2 a 500  $\mu\text{m}$  (Obando, 2021).

### **Almidón**

Es uno de los polisacáridos más abundantes en la naturaleza, y constituye la principal reserva energética de las plantas, representando más del 60% de las semillas de cereales (Jiménez et al., 2012). Se sintetiza en los amiloplastos de las plantas y se almacena principalmente en semillas (maíz, trigo, arroz), raíces o tubérculos, siendo estos dos últimos los que tienen mayor contenido de almidón (Gautam et al., 2020).

### **Actividad del agua ( $a_w$ )**

Es uno de los parámetros de referencia en procesamiento de alimentos, lo cual está relacionado directamente a su estabilidad, cuyo valor máximo es 1 y valor mínimo es 0, mientras más cercano a 1 sea menor será su estabilidad, mientras que si el valor es cercano a 0 es más estable (Antonio, 2015).

### **Color**

El color es una de las principales características de calidad en los alimentos y la principal característica que es percibido por el consumidor (Anaya, 2018).

### **Secado por atomización**

El secado por aspersion, también llamado secado por atomización o *Spray Drying*, es un procedimiento en el cual se ingresa un producto en estado líquido y se hace pasar por un atomizador, transformándose en finas gotas que son secadas por una corriente de aire caliente a temperaturas elevadas, obteniéndose de manera inmediata el extracto seco en forma de polvo (Campo et al., 2021).

### **Núcleo**

Es el material activo, el cual es recubierto por el agente encapsulante, de esta manera forman una microcápsula (Esquivel et al., 2015).

### **Microscopia electrónica de barrido (SEM)**

La microscopia electrónica de barrido SEM (de sus iniciales en inglés *Scanning Electron Microscopy*) es una técnica de obtención de imágenes ampliamente utilizado por su alta resolución y capacidad de analizar características estructurales, químicas y morfológicas de las muestras de estudio (Clavijo, 2013 ; Dimas, 2011).

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA), y en el Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA), de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicado en la sede Santa Rosa, Av. 28 de Julio N° 1103 del distrito de Talavera – provincia de Andahuaylas – región Apurímac.

### **4.2. Materiales, instrumentos y equipos**

#### **4.2.1. Materia prima**

Se utilizó 4 kg de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), los cuales, debido a la disponibilidad, fueron recolectados de los productores del distrito de Tumay Huaraca, ubicado al sur de la provincia de Andahuaylas, específicamente entre los puntos geográficos: latitud sur: -13.9692°, longitud oeste: -73.4582°, a una altitud de 3,380 m. Para ello, se seleccionaron tubérculos en buen estado que no presentaran podredumbre.

El almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) utilizado como material encapsulante se extrajo en el Laboratorio de Investigación de Nanotecnología de alimentos (LINA) y el Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA). Para este propósito, la quinua de la variedad blanca Junín fue adquirida del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de la provincia de Andahuaylas.

#### **4.2.2. Materiales, equipos, instrumentos, reactivos e insumos**

Los materiales, equipos, instrumentos y reactivos que fueron necesarios para la ejecución de la investigación se enumeran en las Tablas 5, 6, y 7 respectivamente.

**Tabla 5***Materiales*

N°	Cantidad	Descripción
1	03	Fiolas de 25, 50 y 100 mL
2	08	Vasos de precipitado de 100, 250 y 500 mL
3	06	Probetas de 10, 50 y 100 mL
4	10	Placas Petri
5	04	Embudos de vidrio
6	02	Frascos ámbar de 500 mL
7	02	Baldes de 5 litros
8	08	Cubetas de cuarzo para espectrofotómetro
9	02	Pipetas de 10 mL y 5 mL
10	02	Micropipeta (100 a 1000 µl, 1000 a 5000 µl)
11	01	Cuchillo
12	02	Mortero con pilón
13	02	Pisetas
14	20	Unidades de papel filtro de grado 1
15	02	Espátulas de caucho y metal
16	02	Rollos de papel aluminio
17	12	Tubos de fálcon de 50 mL con tapa rosca
18	01	Rallador de acero inoxidable
19	01	Caja papel tissue
20	01	Caja guantes de nitrilo
21	02	Tijeras, cinta scotch
23	01	Rotulador

**Tabla 6***Equipos e instrumentos*

N°	Cantidad	Descripción	Marca
1	01	Balanza analítica de sensibilidad 0.01g	OHAUS
2	01	Centrífuga refrigerada	Bioridge
3	01	Licuadaora	Oster
4	01	Filtrador al vacío	S/M
5	01	Refrigerador	LG
6	01	Agitador magnético	CAT
7	01	Atomizador mini Spray Dryer	B-290 BUCHI
8	01	Espectrofotómetro UV-vis.	Thermo Scientific
9	01	Desecador	SPCAC
10	01	Microscopio electrónico de barrido (SEM)	Thermo Scientific
11	01	Estufa de secado	Binder
12	01	Purificador de agua ultrapura	PURELAB
13	01	Vortex	ISOLAB
14	01	Colorímetro	Konica minolta
15	01	Medidor de actividad de agua	Rotronic
16	01	pH metro digital	Si-Analytics

**Tabla 7***Reactivos e insumos*

N°	Cantidad	Descripción
1	30 mL	Ácido clorhídrico (37%)
2	50 mg	Acido gálico
3	500 mL	Etanol (99%)
4	25 mL	Reactivo Folin-Ciocalteu
5	300 mg	Reactivo Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil-2-Carboxílico)
6	50 mg	DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)
7	200 mL	Metanol (80%)
8	0.93 g	Cloruro de potasio
9	27.215 g	Acetato de sodio
10	20 g	Carbonato de sodio
11	10 L	Agua ultrapura
12	20 L	Agua destilada
13	100 g	Almidón de quinua (variedad: blanca Junín)

**4.3. Identificación de las variables****4.3.1. Operacionalización**

Las variables de la investigación, así como la dimensión, indicador, unidad de medida, la técnica o métodos usados y el instrumento correspondiente se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8***Operacionalización de las variables*

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	INSTRUMENTO /EQUIPO
<b>Independientes:</b>					
Temperatura de secado	Nivel de temperatura	Temperatura 120 y 160 °C	°C	Termometría *	Medición a través del equipo
Concentración de almidón	Porcentaje	Concentración 5 y 10%	%	Gravimetría	Mini-Spray Dryer *
<b>Dependientes:</b>					
Propiedades físicas	Color	Luminosidad (L)		Colorimetría	Colorímetro
		Croma *a			
		Croma *b			
	Actividad de agua (a <sub>w</sub> )	a <sub>w</sub>		Gravimetría	Medidor de a <sub>w</sub>
Morfología			Microscopía	SEM	
Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	Antocianinas monoméricas	Antocianinas monoméricas	mg cianidina-3-glucósido/g de muestra	Espectrofotometría	Espectrofotómetro UV-vis.
	Fenoles totales	Fenoles totales	mg AGE/g de muestra		
	Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	μmol TE /g de muestra		

**4.4. Población y muestra****Población**

Está referida a la totalidad de los microencapsulados a diferentes temperaturas de secado y porcentaje de concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).

**Muestra**

La muestra está referida a los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), el tamaño de muestra se consideró de acuerdo a los requerimientos para cada análisis según los objetivos planteados. Se

realizó un muestreo no probabilístico, debido a que se realizó a juicio del investigador sin incluir la aleatoriedad.

#### **4.5. Tipo de investigación**

##### **Aplicada**

Debido a que se utilizan metodologías, teorías y conocimientos que se adquieren con la finalidad de verificar que los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), poseen resultados favorables en cuanto a sus propiedades físicas y compuestos bioactivos.

##### **Experimental**

Debido a que esta investigación se realizó a través de la experimentación para probar la hipótesis planteada, mediante la manipulación de la temperatura de secado y concentración de encapsulante en la microencapsulación.

##### **Transversal**

Debido a que se desarrolló utilizando diferentes variables y recopilando datos del desarrollo de los experimentos en un solo tiempo determinado.

#### **4.6. Metodología experimental**

##### **4.5.1. Extracción de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)**

La extracción del almidón de quinua se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Jan et al. (2017) con algunas modificaciones. Se usó la variedad blanca Junín debido a la disponibilidad, y buen rendimiento en almidón como se observó en estudios previos como el de Arzapalo (2015).

##### **Descripción del diagrama de flujo para la obtención de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)**

**Selección:** Se realizó una selección de las impurezas y espigas de la quinua.

**Lavado 1:** Se realizó el lavado con el objetivo de eliminar las saponinas presentes en el grano de quinua. Este proceso se repitió hasta que el agua de lavado dejó de producir espuma.

**Remojo:** Se sumergieron los granos de quinua con agua destilada (en una proporción de 1 a 3) por 24 horas. Esto se hizo para ablandar el grano de quinua para facilitar la extracción del almidón.

**Lavado 2:** Se realizó un lavado para enjuagar el agua de remojo.

**Molienda 1:** Con el fin de romper la estructura del grano, se utilizó una licuadora a máxima velocidad por aproximado de 5 min para homogenizar, empleando agua destilada en una proporción 1 a 2.

**Filtrado:** Se utilizó una muselina como filtro, utilizando la cantidad necesaria de agua destilada para separar el almidón de la fibra y pericarpio de la semilla (bagazo).

**Lavado 3:** El lavado se realizó a través de un centrifugado a 3500 rpm por 5 minutos. Esta operación se repitió 4 veces con la finalidad de obtener un almidón más limpio y libre de fibra.

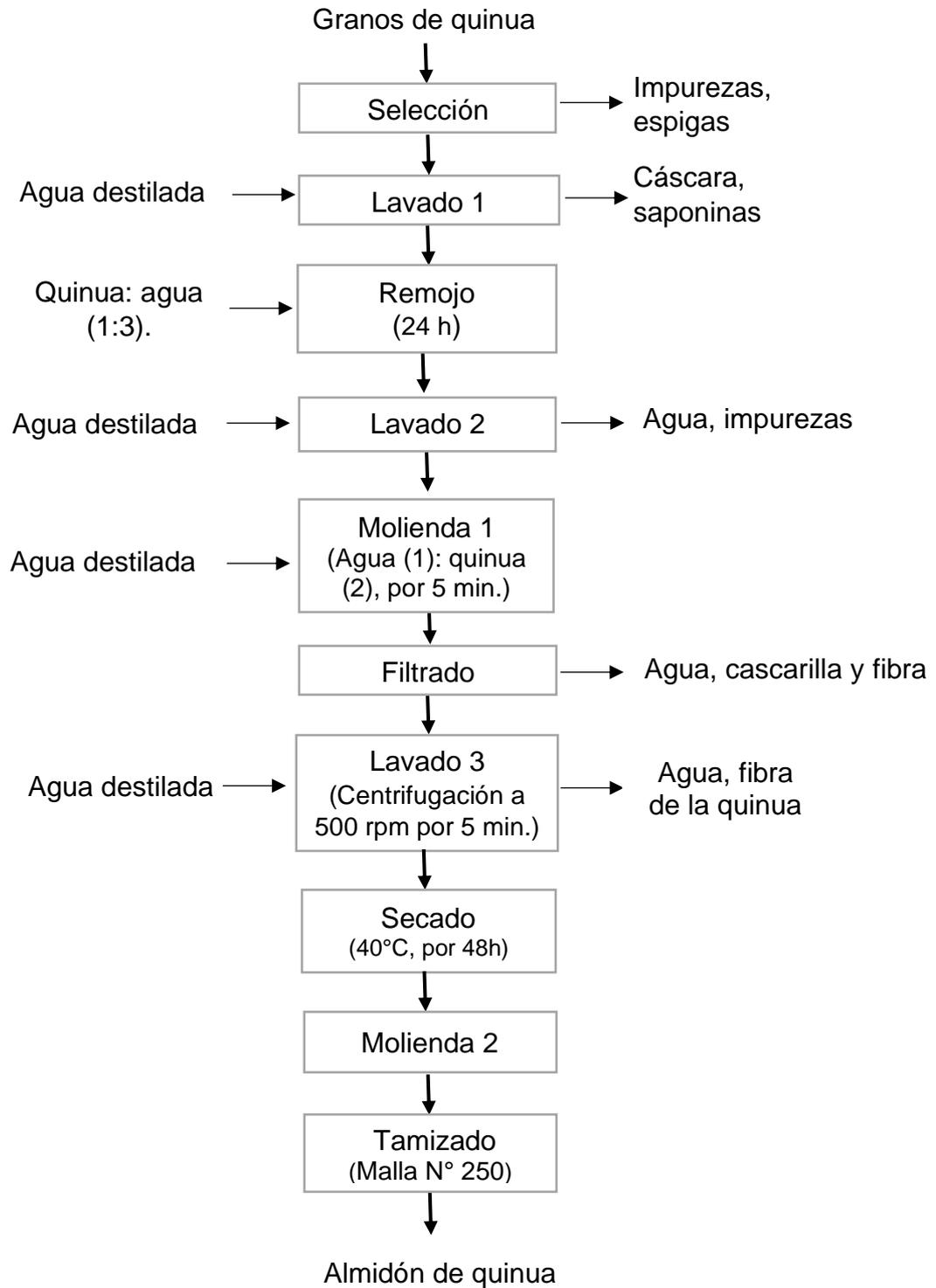
**Secado:** Finalmente, al almidón obtenido a través de la centrifugación se secó a una temperatura de 40 °C por 48 horas, obteniendo así el almidón con humedad inferior a 10%.

**Molienda 2:** Se llevó a cabo utilizando un pilón y mortero para reducir el tamaño del almidón ya seco.

**Tamizado:** Se utilizó un tamiz con malla de 250 micras para homogenizar el tamaño de los gránulos de almidón obtenidos. Posteriormente se almacenaron en un envase de polipropileno con tapa hermética.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo de extracción de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)*



Fuente: adaptado de Jan et al. (2017).

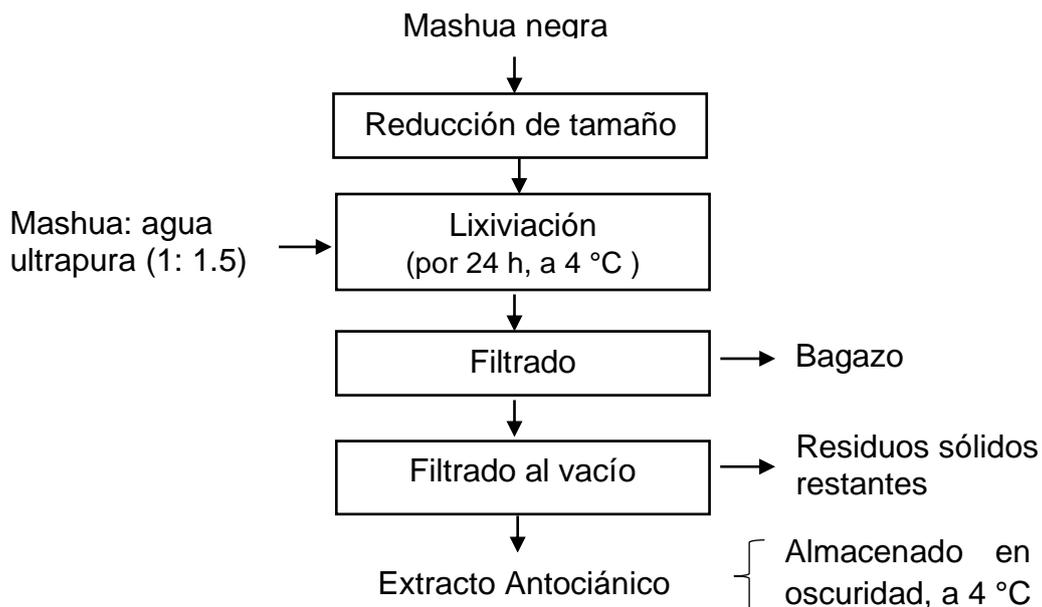
#### 4.5.2. Obtención del Extracto antociánico de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)

##### La extracción de antocianinas

Se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Velásquez y Vélezmore (2022) con algunas modificaciones. Para ello, la mashua negra previamente lavada y desinfectada, se cortó en trozos pequeños. Luego, se pesó una cantidad de 100 g de pulpa y se mezcló con 150 mL de agua ultrapura como solvente (mashua: agua: 1:1.5). La extracción se realizó por lixiviación acuosa en refrigeración durante 24 horas a 4 °C (en oscuridad). Posteriormente, el extracto líquido se filtró utilizando una muselina y luego se sometió a un proceso de filtrado al vacío a través de papel filtro Whatman n°1, para separar el bagazo. El filtrado se conservó bajo condiciones de oscuridad y refrigeración a 4 °C, para evitar la descomposición de las antocianinas. Las operaciones se realizaron, así como se observa en la Figura 6.

##### Figura 6

Diagrama de flujo para obtención del extracto antociánico



#### 4.5.3. Microencapsulación de las antocianinas

##### Preparación de la disolución (almidón: extracto antociánico)

Se preparó suspensiones de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) al 5 y 10 % en extracto antociánico, la mezcla se procedió a homogenizar.

## Microencapsulación

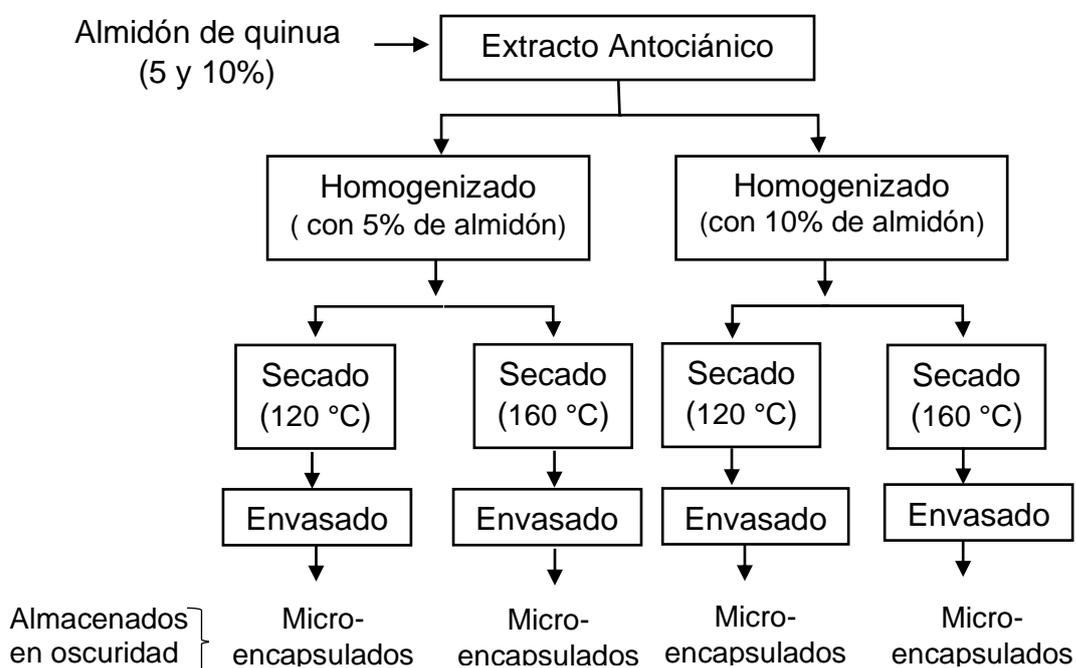
El proceso de microencapsulación se realizó utilizando el equipo atomizador mini Spray Dryer modelo Buchi-290, de acuerdo a la metodología descrito por Aranda (2018), con algunas modificaciones.

Las condiciones de operación fueron realizadas de la siguiente manera:

Se fijaron las temperaturas de secado 120 y 160 °C. Una vez alcanzada la temperatura de secado requerida, se abrió el flujo de aire y de agua y se procedió al secado iniciando la aspiración de la muestra previamente acondicionada con el agente encapsulante. Los microencapsulados fueron dirigidos a través del ciclón hasta llegar al recolector de muestras. Una vez finalizado el proceso, se apagó la temperatura de entrada y se dejó fluir agua ultrapura hasta que la temperatura en el equipo se estabilizara en 100 °C. Posteriormente se cerraron los flujos de agua y aire. Finalmente, cuando la temperatura descendió sobre los 70 °C, se retiró el recolector de muestra. Los microencapsulados fueron recolectados y almacenados a temperatura ambiente en frascos con tapa hermética en oscuridad para proteger de la luz. Se reservaron para su uso en el análisis. El proceso de la microencapsulación se realizó como se muestra en el siguiente diagrama de flujo (Figura 7).

**Figura 7**

*Diagrama de flujo para la microencapsulación*



## **4.7. Métodos de análisis**

### **Determinación de las propiedades físicas y compuestos bioactivos de los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).**

#### **4.7.1. Color**

El color de los microencapsulados se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Mendoza et al. (2016), con algunas modificaciones. 1 g de los encapsulados se colocó en pequeñas placas disponibles para este fin y se puso en el fotodetector del colorímetro marca Konica Minolta modelo CR-5 (Tokio, Japón), previamente calibrado, y seguidamente se realizó las lecturas correspondientes para cada tratamiento y se anotó los valores reportados por triplicado; donde los parámetros de color fueron, **L** (luminosidad) (desde 0 negro a 100 blanco), croma **a\*** (rojo+, verde-) y croma **b\*** (azul-, amarillo+).

#### **4.7.2. Actividad de agua ( $a_w$ ).**

La actividad del agua se midió mediante el uso del equipo medidor de  $a_w$  marca Rotronic. Se tomaron 1 gramo de los microencapsulados y se colocaron en pequeñas placas y se realizó la lectura correspondiente anotando los valores reportados por triplicado.

#### **4.7.3. Morfología de los microencapsulados**

La morfología de los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), se analizó utilizando un microscopio electrónico de barrido (SEM) prisma E (Thermo Scientific, Massachusetts, USA), a un voltaje de aceleración de 30 kV y una magnificación de 3000 $\times$ . Donde se utilizó cinta de carbono microscópico que tiene buena conductividad eléctrica. Esta cinta se cortó a la medida del porta muestras para luego colocar la muestra de microencapsulados sobre la cinta. Posteriormente se procedió a la visualización la estructura de la muestra mediante el microscopio electrónico.

#### **4.7.4. Determinación del contenido de antocianinas monoméricas**

Para determinar el contenido de antocianinas se empleó el método de pH diferencial descrito por Worldad et al. (2005) con ciertas modificaciones, con el uso del equipo espectrofotómetro marca Termo-Scientific GENESYS 150 UV-visible.

Esta se basa en la diferencia entre los espectros de absorbancia presentados por estos compuestos a pH diferentes. Para ello las muestras son tratadas con soluciones buffer de acetato de sodio (pH 1) y cloruro de potasio (pH 4.5) bajo estas condiciones las antocianinas sufren modificaciones estructurales los cuales se manifiestan por la diferencia en los espectros de absorbancia.

#### **Preparación de la solución buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025 M)**

Para ello se pesó 0.930 g de cloruro de potasio (KCl), luego se disolvió en 400 mL de agua ultrapura. A continuación, se ajustó el pH a 1 utilizando ácido clorhídrico (HCl) concentrado. Se agregó 90 mL adicionales de agua ultrapura y se procedió ajustar nuevamente el pH de la solución. Finalmente, se completó el volumen hasta 500 mL con agua ultrapura, logrando así la solución Buffer deseada.

#### **Preparación de la solución buffer pH 4.5 (acetato de sodio (0.4 M)**

Del mismo modo, para la preparación del buffer de acetato de sodio, se pesaron 27.215 g de este reactivo y se diluyeron en 450 mL de agua ultrapura. Se midió el pH de la solución y se ajustó utilizando HCl concentrado. Posteriormente se agregó 20 mL adicionales de agua ultrapura y se verificó que el pH se mantuviera en 4.5. Finalmente, se completó el volumen hasta 500 ml con agua ultrapura para obtener la solución buffer deseada.

#### **Preparación de las muestras microencapsulados**

Se pesaron 0.2 g de los microencapsulados de cada tratamiento respectivamente y se diluyeron en 25 mL de la solución constituida por etanol (99.9%) y HCl (1%) en proporción 85:15 (v/v).

Se dejó macerar por un periodo de 24 horas en condiciones de oscuridad hasta que el solvente se sature, realizando así una extracción sólido - líquido. Posteriormente las muestras fueron centrifugados a 5000 rpm por 10 minutos.

#### **Lectura de las absorbancias en el espectrofotómetro**

Se procedió a determinar el factor de dilución utilizando el buffer cloruro de potasio (pH 1). Esto se hizo para las muestras con 5 y 10% de encapsulante, hasta que la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm se situara dentro del rango 0.4 y 0.6. Finalmente, se calculó el factor de dilución dividiendo el volumen final de la muestra utilizada entre el volumen inicial.

Se emplearon las dos soluciones buffer o tampón: cloruro de potasio pH:1 y acetato de sodio pH 4.5, de acuerdo al FD calculado previamente.

Se dejó reaccionar por un tiempo de 10 minutos y se midió las absorbancias por barrido (a longitud de onda máxima) de cada una de las muestras de cada tratamiento, por triplicado; se usó como blanco etanol puro.

### **Cálculos**

Para cuantificar la concentración de antocianinas monoméricas se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$A = (A_{\lambda_{max}} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{\lambda_{max}} - A_{700})_{pH\ 4.5} \dots \dots \dots \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Antocianinas Monoméricas} \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{(A * PM * FD * V)}{\epsilon * l * W} \dots \dots \dots \text{Ec. (2)}$$

Donde:

A = Es la absorbancia resultante

$A_{\lambda_{max}}$  = Es la absorbancia máxima para la antocianina mayoritaria,

$A_{700}$  = Es la absorbancia mínima obtenida a una longitud de onda de 700 nm.

PM = Peso molecular para cianidina-3-glucósido (449.2 g/mol)

FD = Factor de dilución

V = Volumen del solvente de extracción (mL)

$\epsilon$  = Coeficiente de extinción molar a 510 nm (20941 L/mol.cm) para cianidina-3-glucósido.

C = Espesor de la cubeta (1 cm)

W= Peso de la muestra (g)

#### **4.7.5. Determinación del contenido de fenoles totales**

El contenido de fenoles totales se determinó empleando la metodología señalada por Singleton et al. (1999) con algunas modificaciones.

Para ello se realizó mediante el método espectrofotométrico con el reactivo Folin-Ciocalteu. Este reactivo, que originalmente es de color amarillo, reacciona en presencia de los compuestos fenólicos presentes, causando la oxidación de los grupos fenólicos y resultando en una coloración azulada. Cuya intensidad de color es la que medimos espectrofotométricamente a una longitud de onda de 755 nm. Los resultados obtenidos se expresan en términos de equivalente de ácido gálico (AGE).

### **Preparación de la solución Folin-Ciocalteu (0.25 N)**

Para ello, se midieron 3.125 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y se añadieron a una fiola de 25 mL. Luego, se enrasó con agua ultrapura hasta llegar a la línea de aforo. La solución resultante se almacenó en refrigeración y en oscuridad (por un periodo no mayor a 7 días).

### **Preparación de la solución de carbonato de sodio al 20%**

Se preparó pesando 5 gramos de carbonato de sodio (99.5 % de pureza). Luego, se transfirió a una fiola de 25 mL y se aforó con agua ultrapura.

### **Preparación de la solución madre de ácido gálico (0.1g/L)**

Se preparó una solución patrón tomando 25 mg de ácido gálico, luego se añadió a una fiola de 250 mL aforándolo con agua ultrapura.

### **Curva de calibración**

Para lo cual se realizó diluciones a diferentes concentraciones de 5 a 30 mg/L, como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Diluciones para la curva de calibración*

Concentración ácido gálico (mg/L)	Ácido gálico madre (mL)	Volumen de solvente (mL)
5	2.5	47.5
10	5.0	45.0
15	7.5	42.5
20	10.0	40.0
25	12.5	37.5
30	15.0	35.0

Finalmente, para obtener las absorbancias se tomó 900  $\mu$ L del ácido gálico y se adicionó 2400  $\mu$ L de agua ultrapura, luego se agregó 150  $\mu$ L de carbonato de sodio y 300  $\mu$ L del reactivo Folin-Ciocalteu para después de 15 minutos en reposo se realizó la lectura de las absorbancias a 755 nm. Con dichos datos se construyó la curva de calibración estándar para la cuantificación de fenoles totales.

### Preparación de extractos

Para determinar los fenoles totales se pesaron 0.3 g de microencapsulados de cada tratamiento respectivamente y se diluyeron en 20 mL de metanol al 80 %.

Luego la mezcla se agitó vigorosamente y se almacenó por 24 horas en condiciones de oscuridad y temperatura ambiente.

Una vez transcurrido el tiempo se centrifugó a 5000 rpm por 5 minutos, el sobrenadante fue almacenado a 4 °C en tubos fálcon hasta el análisis.

### Contenido de fenoles totales

Para cuantificar los fenoles totales, se siguió el siguiente procedimiento:

- De las muestras previamente centrifugadas, se tomó una alícuota de 900 µL del extracto de cada tratamiento y se transfirió en tubos de ensayo de 10 mL.
- Seguidamente se adicionaron 2400 µL de agua ultrapura, luego de añadieron 150 µL de carbonato de sodio y 300 µL del reactivo Folin-Ciocalteu a cada tubo de ensayo. La solución resultante se dejó reaccionar por 15 min a temperatura ambiente y en oscuridad.
- Finalmente, las absorbancias de las muestras fueron leídas a 755 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis. Todas las muestras se analizaron por triplicado para asegurar la precisión de los resultados.

Los fenoles totales fueron expresados como equivalentes en miligramos de ácido gálico equivalente (AGE) por g de muestra.

La ecuación de la curva estándar para la cuantificación de fenoles totales es:

$$Y = ax + b \dots \dots \dots \text{Ec. (3)}$$

Donde:

Y = Es la absorbancia obtenida

x = Corresponde a la concentración del ácido gálico equivalente (AGE) (mL/L).

a y b = Fueron los valores tomados de la ecuación de la curva de calibración.

Los resultados de fenoles totales se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$F.T = \left( \frac{Y * FD * V * 100}{p} \right) \dots \dots \dots \text{Ec. (4)}$$

Donde:

F.T = Fenoles totales en mg AGE/g de muestra.

Y = mg AGE / mL

FD = Es el factor de dilución

V = Volumen de muestra en mL

p = Peso de la muestra en gramos

#### **4.7.6. Determinación de la capacidad antioxidante**

Se realizó por el método espectrofotometría UV-vis con el reactivo DPPH, de acuerdo a la metodología desarrollada por Brand-Williams et al. (1995) para extractos hidrofílicos, con ciertas modificaciones.

En este método, las muestras que contienen compuestos antioxidantes reaccionan con el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) existente en una solución de metanol. Cuyo radical absorbe la luz a una longitud de onda de 515 nm.

##### **Preparación de la solución madre de DPPH**

La solución madre se realizó en una fiola de 50 mL disolviendo 0.012 g del reactivo DPPH con metanol al 80 %. La solución se homogenizó en Vortex por aproximado de 1 minuto y luego fue almacenado a 4 °C (en oscuridad).

##### **Preparación de la solución diluida de DPPH**

Primeramente, se calibró el espectrofotómetro usando metanol como blanco de referencia. Luego, se tomaron 10 mL de la solución madre previamente almacenada en refrigeración y se diluyeron en 45 mL de metanol (80%). Se midió la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm, lo que dio un valor de  $1.1 \pm 0.02$ , la solución resultante se almacenó en un frasco ámbar.

##### **Preparación de la solución madre de Trolox**

Para ello se pesó 20 mg del reactivo Trolox, se vertió sobre una fiola de 20 mL y se disolvió con metanol al 80% completando así el volumen.

##### **Curva de calibración**

Para este fin, primeramente, se realizó utilizando la solución madre de Trolox a diferentes concentraciones y con el uso de metanol al 80 % como blanco, para ello se tomaron diferentes volúmenes de la solución madre de Trolox, como se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10***Diluciones para la curva estándar de capacidad antioxidante*

Metanol al 80 % (mL)	Solución madre Trolox (mL)	Concentración ( $\mu\text{mol/L}$ )
16.5	3.5	699.19
17.0	3.0	599.31
17.5	2.5	499.42
18.0	2.0	399.54
18.5	1.5	299.65
19.0	1.0	199.77
19.5	0.5	99.88
20.0	0.0	50.00

La curva de calibración se realizó tomando 150  $\mu\text{L}$  de Trolox de dichas concentraciones en tubos de ensayo forrados con papel aluminio, y se agregó 2850  $\mu\text{L}$  de la solución madre DPPH diluida, del mismo modo se preparó el blanco con metanol al 80 % (en lugar de la muestra). Las diluciones se dejaron reaccionar por 15 minutos y se procedió a leer las absorbancias a 515 nm.

### **Preparación de los extractos**

Para la lectura de capacidad antioxidante de las muestras primero se utilizó metanol como solvente de extracción, en este sentido se realizó de la siguiente manera:

- Se pesaron 0.3 gramos de los microencapsulados correspondientes a cada tratamiento, y se disolvieron añadiendo 20 mL de metanol al 80%.
- Luego se agitó utilizando un agitador vórtex durante aproximadamente 1 minuto.
- El homogenizado resultante se almacenó a temperatura ambiente por 24 horas en condiciones de oscuridad.
- Luego las muestras se centrifugaron durante 10 minutos a 5000 rpm.
- El sobrenadante se almacenó en refrigeración. Esta fracción líquida se conservó para su análisis posterior.

### Procedimiento para la lectura de capacidad antioxidante

- ❖ Primeramente, se procedió a calibrar el espectrofotómetro, ajustándolo al valor cero utilizando metanol como referencia.
- ❖ Seguidamente se midió la absorbancia de la solución DPPH diluida a una longitud de onda de 515 nm, y se obtuvo un valor de  $1.107 \pm 0.02$ .
- ❖ Se tomó 150  $\mu\text{L}$  de extracto de las respectivas muestras utilizando una micropipeta. Luego, se agregó 2850  $\mu\text{L}$  de la solución DPPH diluida, esto se realizó en tubos de ensayo. Este proceso se llevó a cabo en condiciones de oscuridad para proteger las muestras de la luz.
- ❖ Así mismo se preparó un blanco con 150  $\mu\text{L}$  de metanol al 80% en lugar de la muestra y se agregaron 2850  $\mu\text{L}$  de la solución DPPH diluida.
- ❖ Después de preparar las muestras y el blanco, se permitió que las reacciones tuvieran lugar durante 15 minutos, y se procedió a medir las absorbancias a una longitud de onda de 515 nm.

Con la lectura de la absorbancia final se calcularon la actividad antioxidante de los microencapsulados, usando la curva de calibración estándar de Trolox, y se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{\mu\text{g Trolox Eq}}{\text{g de muestra}} = \left( (bX) * (0.25) * \left(\frac{\text{ml}}{p}\right) * (FD) \right) \dots \dots \dots \text{Ec. (5)}$$

Donde:

**bX** = Se calcula mediante la ecuación de la curva de calibración de Trolox.  
siendo X: La variación de las absorbancias (**Abs** blanco – **Abs** muestra).

**ml** = Este es el volumen de la muestra expresado en mililitros (mL).

**p** = Representa el peso de la muestra en gramos.

**FD** = Corresponde al factor de dilución, el cual se obtiene dividiendo el volumen final de la muestra utilizado para la lectura entre el volumen inicial.

#### 4.8. Diseño experimental

El diseño utilizado fue del tipo factorial 2<sup>2</sup>, donde la temperatura (T1 y T2) y la concentración de almidón de quinua (C1 Y C2) son las variables independientes, las propiedades físicas y compuestos bioactivos son las variables dependientes. Para ello la matriz del diseño planteado se muestra en la siguiente Tabla 11.

**Tabla 11**

*Matriz de diseño experimental del tipo 2<sup>2</sup>*

Tratamientos	Variables independientes		Variables dependientes	
	Temperatura (°C)	Concentración de almidón de quinua (%)	Propiedades físicas	Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante
T*1	T1	C1	R <sub>1.1</sub>	R <sub>1.1</sub>
			R <sub>1.2</sub>	R <sub>1.2</sub>
			R <sub>1.3</sub>	R <sub>1.3</sub>
T*2	T2	C1	R <sub>2.1</sub>	R <sub>2.1</sub>
			R <sub>2.2</sub>	R <sub>2.2</sub>
			R <sub>2.3</sub>	R <sub>2.3</sub>
T*3	T1	C2	R <sub>3.1</sub>	R <sub>3.1</sub>
			R <sub>3.2</sub>	R <sub>3.2</sub>
			R <sub>3.3</sub>	R <sub>3.3</sub>
T*4	T2	C2	R <sub>4.1</sub>	R <sub>4.1</sub>
			R <sub>4.2</sub>	R <sub>4.2</sub>
			R <sub>4.3</sub>	R <sub>4.3</sub>

Donde:

T\*1, T\*2, T\*3 y T\*4, son los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

T1, es la temperatura de secado a 120 °C.

T2, es la temperatura de secado a 160 °C.

C1, es la concentración de almidón de quinua (5%).

C2 es la concentración de almidón de quinua (10%).

#### 4.8.1. Análisis de datos

Previamente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el marco de un diseño completamente al azar (DCA) con el fin de comparar los tratamientos. En este análisis, el criterio se basó en un valor de p-value > 0.05, lo que indicaría que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos, para ello la hipótesis estadística fueron:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$$

$$H_A: \tau_i \neq 0; \text{ para algún } i \neq j$$

Donde:  $H_0$ : los tratamientos no muestran diferencia significativa

$H_A$ : los tratamientos muestran diferencia significativa.

En el presente trabajo de investigación se realizó un análisis de varianza bifactorial para probar la hipótesis nula, para lo cual se empleó un nivel de significancia de 5%, donde las hipótesis nulas a probar fueron:

$H_{0A}$ : la temperatura de secado no tiene efecto significativo sobre las propiedades físicas y compuestos bioactivos de las microcápsulas de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

$H_{0B}$ : la concentración de almidón no tiene efecto significativo sobre las propiedades físicas y compuestos bioactivos de las microcápsulas de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

$H_{0AB}$ : la interacción de temperatura de secado y concentración de almidón no tienen efecto significativo sobre las propiedades físicas y compuestos bioactivos de las microcápsulas de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

El criterio para probar las hipótesis se basó en el valor de p-value < 0.05, lo que indica que los factores tienen efecto o influye de manera significativa sobre las variables de respuesta.

Se utilizó los programas estadísticos: Statgraphics Centurión XVI.I para la superficie de respuesta, Minitab 17.1 para las gráficas de efecto e interacción, y Excel versión 2021 para los cálculos respectivos.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Propiedades físicas de los microencapsulados

#### 4.1.1. Color de los microencapsulados

##### A. Luminosidad (L)

Los resultados obtenidos para luminosidad (L) se presentan en la Tabla 12, se pudo observar que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p\text{-value}<0.05$ ). Los valores de L oscilaron entre 39.08 a 57.11, lo cual indica una baja tendencia hacia el blanco. Los valores más altos se observaron en los tratamientos T3 (120 °C, 10% de almidón) y T4 (160 °C y 10% de almidón), seguidos de los tratamientos T2 (120 °C y 5% de almidón) y T1 (160 °C y 10% de almidón).

Con respecto al coeficiente de variabilidad los valores fueron inferiores al 0.9 %, siendo menores al 30%, lo cual indica una homogeneidad de los datos con una media representativa (Martínez, 2007).

**Tabla 12**

*Luminosidad (L) de los microencapsulados*

Tratamientos	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	39.08	$\pm$	0.13	0.33	A
T2	45.61	$\pm$	0.11	0.25	B
T3	56.87	$\pm$	0.47	0.83	C
T4	57.11	$\pm$	0.15	0.26	C

*Donde:*  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes indican diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 1.

Kar et al. (2019), reportaron valores menores a 30.61 para L en antocianinas de zanahoria negra (*Daucus carota ssp*) microencapsuladas con almidón de semilla de jaca, lo cual fue cercano a los valores del tratamiento T1 y T2 (Tabla 12). Asimismo, Ersus y Yurdagel (2007) reportaron valores similares para microencapsulados de antocianinas con diferentes maltodextrinas (Stardri 10, Glucodry 210 y MDX 29), cuyos valores para L oscilaron entre 50.68 a 56.82. Estos autores también mencionan que el color de las antocianinas microencapsuladas se vuelve más pálido debido al aumento del encapsulante,

lo que concuerda con lo señalado por Laqui et al. (2013), quien indica que esto se debe a que los gránulos del almidón, compuestos por amilosa y amilopectina, tienen mayor incidencia al color blanco. Por lo tanto, se pudo apreciar que los tratamientos T3 y T4 con 10% de almidón de quinua presentaron mayor luminosidad, mostrando una tonalidad más clara de los microencapsulados.

El análisis de varianza del diseño factorial para luminosidad (L) (Tabla 13), muestra que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón presentaron efecto significativo sobre la luminosidad (L), además se observó que existe interacción entre ambos factores.

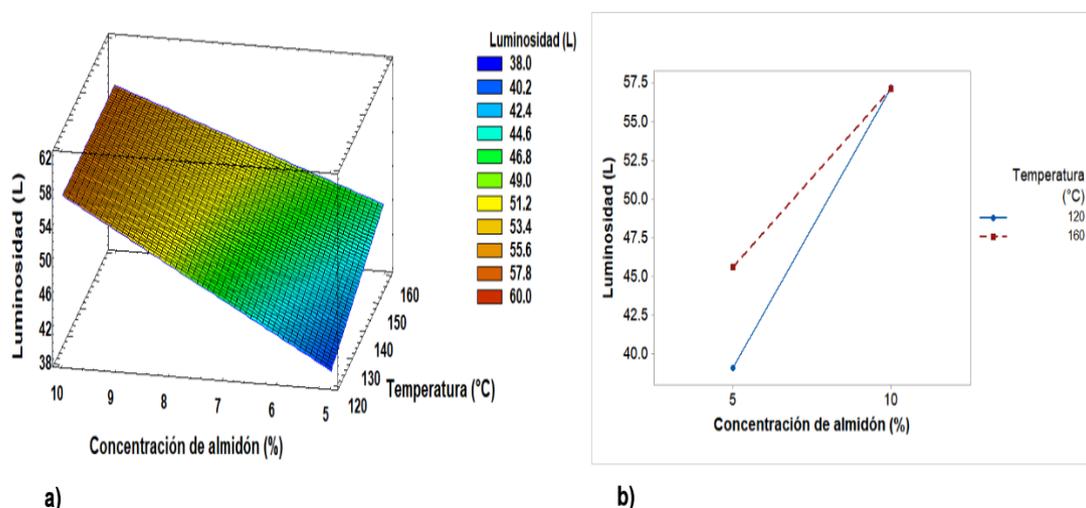
**Tabla 13**

*Análisis de varianza para luminosidad (L)*

Fuente	P-value
A: Temperatura	0.0000
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura*Concentración de almidón	0.0000

**Figura 8**

*Superficie de respuesta e interacción para luminosidad (L)*



En la Figura 8.a se observa la superficie de respuesta para la luminosidad (L), la cual indica que con el uso de 5% de almidón se obtuvieron valores más bajos (39 a 46) a temperaturas de entrada de 120 y 160 °C. De la interacción

de los factores (Figura 8.b), se puede notar que, empleando temperatura y concentración de almidón en su nivel alto, se obtuvieron microencapsulados con mayor valor de luminosidad (L). Esto se debe a que si la concentración de almidón incrementa al 10% cuando la temperatura es igual a 160 °C, la luminosidad también incrementa, de manera similar con la temperatura en su nivel bajo (120 °C); el punto de intersección indica una fuerte interacción ya que los valores del promedio muestral de 2 tratamientos son similares (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Es así que Mancebo (2020) menciona que valores altos de luminosidad (L), están relacionados con la adición de encapsulante como el almidón que por lo general son de color blanco. Esto indica que, además del efecto de la temperatura, la luminosidad de los microencapsulados estaría asociado a la claridad del almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Will*) que tiene una luminosidad cercana a 100 (Maza, 2020), lo que implica que provoca una reducción en la tonalidad de los microencapsulados. Esto es consistente con los resultados obtenidos al utilizar 10 % de almidón en los tratamientos T3 y T4, los cuales mostraron un mayor valor de L, indicando una tendencia hacia el color blanco.

### **B. Croma a\***

Los resultados para croma a\* se muestran en la Tabla 14, en la cual se pudo observar que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p\text{-value}<0.05$ ). Los valores de croma a\* oscilaron entre 9.87 a 11.10, lo que indica una tendencia hacia el color rojo. Los valores más altos se observaron en los tratamientos T1 (120 °C y 5% de almidón) y T2 (160 °C y 5% de almidón), seguido del tratamiento T3 (120 °C y 19% de almidón) y T4 (160 °C y 10% de almidón).

Los valores del coeficiente de variabilidad fueron inferiores al 2% lo que indica que los datos son homogéneos con una media representativa (Martínez, 2007).

**Tabla 14***Croma a\* de los microencapsulados*

Tratamientos	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	11.10	$\pm$	0.062	0.56	A
T2	11.47	$\pm$	0.168	1.47	B
T3	9.24	$\pm$	0.065	0.70	C
T4	9.87	$\pm$	0.060	0.61	D

Donde:  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes indican diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 1.

Resultados mayores fueron reportados por Ersus y Yurdagel (2007), en microencapsulados de zanahoria negra (*Daucus carota ssp*) con valores entre 24.42 a 31.11, asimismo Kar et al. (2019) reportaron valores promedio de 29.39, la variación de los valores estaría relacionados con la concentración del encapsulante, además del efecto del nivel de la temperatura de secado (Vergara et al., 2020). Por otro lado, Ersus y Yurdagel (2007) mencionan que valores de croma a\* altos, confieren mayor tonalidad a los microencapsulados denotando incidencia al color rojo púrpura, por lo tanto, los tratamientos T1 y T2 con 5% de almidón de quinua presentaron tonalidades más oscuras debido al mayor contenido de antocianinas.

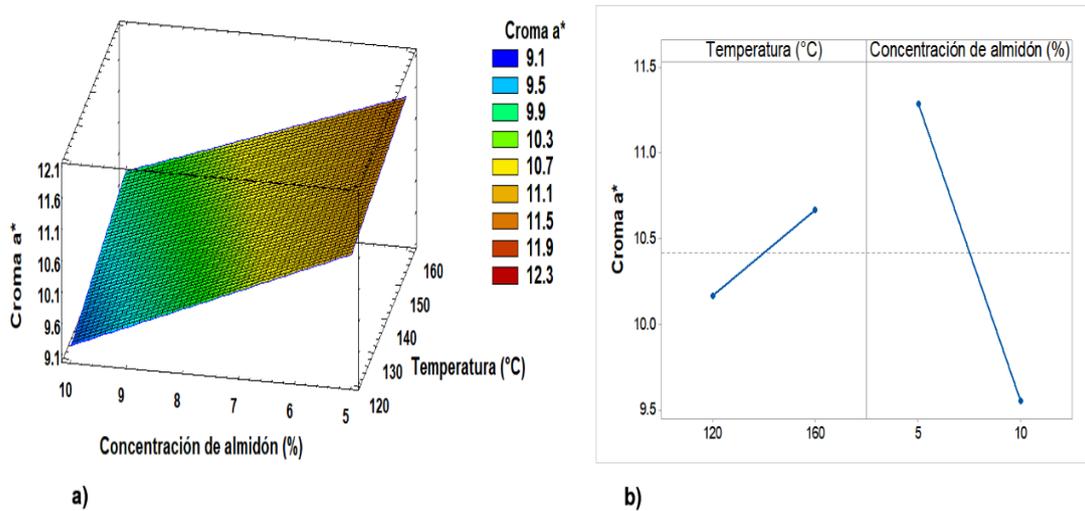
El Análisis de varianza del diseño factorial para la croma a\* (Tabla 15), muestra que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón presentó efecto significativo, sin embargo, no mostró interacción significativa entre ambos factores.

**Tabla 15***Análisis de varianza para croma a\**

Fuente	P-value
A: Temperatura	0.0000
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura * Concentración de almidón	0.0521

**Figura 9**

*Superficie de respuesta y efectos principales para croma a\**



La Figura 9.a muestra la superficie de respuesta para el croma a\*, que oscilaron entre 9.2 a 11.7, lo cual indica que el uso de 5% de almidón produce resultados más preferibles para croma a\* de los microencapsulados.

La Figura 9.b presenta el grafico de efectos principales para el croma a\*, donde se puede observar que al emplear la temperatura en su nivel alto (160 °C), los resultados mostraron mayor valor para croma a\*. Por otro lado, al utilizar la temperatura en su nivel bajo (120 °C), se presentó una ligera disminución en los valores. Asimismo, en relación a la concentración de almidón de quinua, en su nivel bajo (5%), se observaron valores más altos para croma a\*, mientras que en su nivel alto (10%) se obtuvieron valores más bajos. De acuerdo a lo mencionado por Antonio et al. (2021), el color se ve afectado por el material encapsulante utilizados como por la estructura química de las antocianinas (mayores metoxilaciones producen coloraciones rojas). Por otro lado, los valores mayores de croma a\* en el producto encapsulado están relacionados con una apariencia agradable para el consumidor.

### **C. Croma b\***

Los resultados para croma b\* se muestran en la Tabla 16, así mismo se pudo apreciar que los tratamientos mostraron diferencia significativa (p-value < 0.05). Los valores oscilaron entre -10.81 a -13.43, lo cual indica una tendencia

hacia el color azul. Los valores más altos se pudieron observar en los tratamientos T1 (120 °C y 5% de almidón) y T2 (160 °C y 5% de almidón), seguido de los tratamientos T3 (120 °C y 10% de almidón) y T4 (160 °C y 10% de almidón).

Los valores referentes al coeficiente de variabilidad fueron menores a 1%, indicando que los datos son homogéneos por lo cual la media es representativa (Martínez, 2007).

**Tabla 16**

*Croma b\* de los microencapsulados*

Tratamientos	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	-13.43	$\pm$	0.03	-0.19	A
T2	-11.17	$\pm$	0.14	-1.23	B
T3	-10.34	$\pm$	0.21	-2.01	C
T4	-10.81	$\pm$	0.04	-0.38	D

Donde:  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes indican diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 1.

Arrazola et al. (2014), reportaron valores bajos de croma b\* en microencapsulados de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena L.*), con valores entre -4.1 a -5.8, mencionando que valores negativos de croma b\* en los microencapsulados indican una tendencia hacia el color azul. Por otro lado, Ersus y Yurdagel (2007) mencionan que la temperatura de secado tienen efecto significativo sobre el color de los microencapsulados, lo que puede resultar en una pérdida del color. Además, la variabilidad del color de las antocianinas microencapsuladas estarían relacionados con la variación de su estructura química de las antocianidinas predominantes en cada fruto y tubérculo (Brown et al., 2005).

Por lo tanto, los microencapsulados de antocianinas de mashua negra mostraron tendencia al color púrpura azulado. Sin embargo, los tratamientos T3 y T4 mostraron una ligera disminución en la intensidad del color, lo cual estaría relacionado con la concentración del almidón de quinua añadido como

material encapsulante. Esto se debe a que los almidones tienen una gran cantidad de grupos hidroxilos que actúan como sitios activos para la unión de moléculas de antocianinas a través de puentes de hidrogeno (Villacrez, 2013). En general los valores negativos de croma  $b^*$  de los microencapsulados obtenidos se puede asociar al atributo de color llamativo para el consumidor

El Análisis de varianza del diseño factorial para croma  $b^*$  (Tabla 17), muestra que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón mostraron efecto sobre el croma  $b^*$  del color, además de que existe la interacción entre ambos factores.

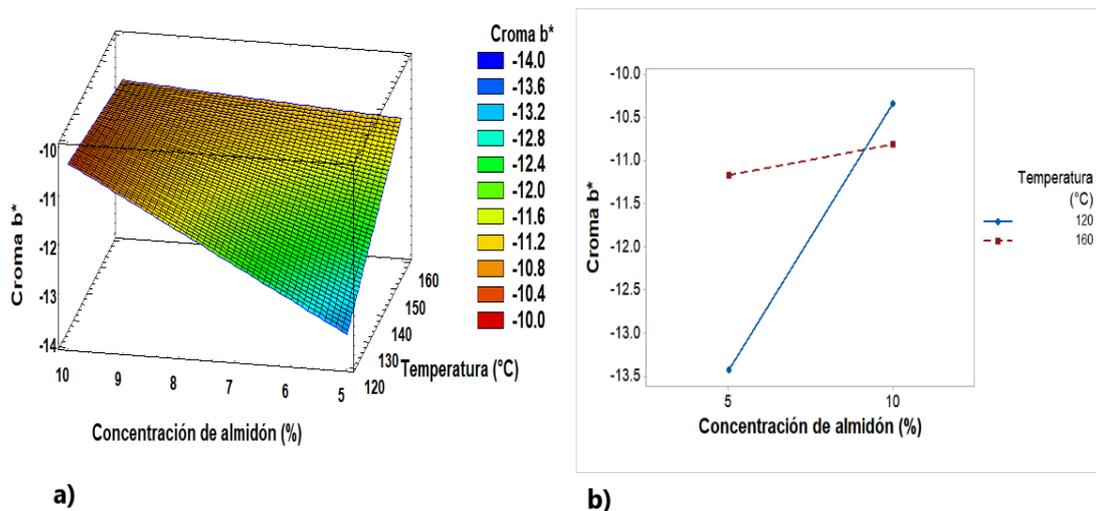
**Tabla 17**

*Análisis de varianza para croma  $b^*$*

Fuente	P-value
A: Temperatura	0.0000
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura * Concentración de almidón	0.0000

**Figura 10**

*Superficie de respuesta e interacción para croma  $b^*$*



La Figura 10.a muestra la superficie de respuesta para croma  $b^*$  que oscilaron entre 10.5 a 13.5, lo cual indica que al utilizar 5% de almidón se obtienen

mejores resultados de croma b en los microencapsulados. Asimismo, de la interacción de los factores para croma b (Figura 10.b), se puede apreciar que empleando el nivel bajo de temperatura (120 °C) y concentración de almidón de quinua en su nivel bajo (5%), los valores para croma b\* fueron menores. Mientras que, empleando la temperatura y concentración de almidón en su nivel alto (160 °C y 10%) los valores fueron relativamente mayores. Es evidente que, si la concentración aumenta el croma b\* aumenta, independientemente de la temperatura. El punto en que se intersecan indica que existe una interacción fuerte. Asimismo, los resultados de croma b\* estarían vinculados a la reacción de los grupos hidroxilos del almidón con las antocianinas actuando como sitios activos. Esto provoca que las antocianinas se retengan tanto en la superficie como en la parte interna de los gránulos (Villacrez, 2013). Los valores negativos de croma b\* menores indican una mayor incidencia hacia el azul, esto debido al incremento en la hidroxilación de la antocianina predominante (Garzón, 2010).

#### **4.1.2. Actividad de agua de los microencapsulados**

Los resultados de actividad de agua se presentan en la Tabla 18, en la cual se aprecia que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p\text{-value}<0.05$ ). Los valores de la actividad de agua oscilaron entre 0.23 a 0.29. Los valores más altos se observaron en los tratamientos T1 (120 °C, 5% almidón), y T2 (160 °C, 5% almidón), seguidos por los tratamientos T3 (120 °C, 10% almidón) y T4 (160 °C, 10% almidón). Los valores de coeficiente de variabilidad fueron inferiores al 1%, indicando que los datos son homogéneos (Martínez, 2007).

**Tabla 18***Actividad de agua ( $a_w$ ) de los microencapsulados*

Tratamientos	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	0.29	$\pm$	0.002	0.710	A
T2	0.26	$\pm$	0.002	0.814	C
T3	0.25	$\pm$	0.000	0.000	C
T4	0.23	$\pm$	0.001	0.251	D

Donde:  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes muestran diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 2.

Velásquez y Vélezmore (2022), reportaron mayores resultados con valores entre 0.27 a 0.44 en antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) a 120 °C. Además, resultados similares fueron reportados por Vergara et al. (2020) con valores entre 0.22 a 0.27 en microencapsulados de papa morada (*solanum tuberosum*). De manera similar Arrazola et al. (2014) mostraron valores entre 0.25 a 0.27 para antocianinas microencapsuladas de berenjena (*solanum melongena*) que fueron secados a 180 °C. Las diferencias observadas en los valores estarían relacionadas con la temperatura de secado, ya que, al aumentar la temperatura de secado y encapsulante, generalmente se obtienen menor valor de actividad de agua, debido a su efecto directo sobre la humedad del atomizado (Santos y Santos, 2021), lo cual a su vez determina la estabilidad de los microencapsulados (Masaquiza, 2018).

Por otro lado, Belitz y Grosch (1998) mencionan que valores de actividad de agua menores a 0.60 hacen que el producto sea estable debido a la menor concentración del agua libre en su composición, lo que inhibe parcialmente la actividad microbiana. Por lo tanto, los valores obtenidos fueron menores a 0.3, con lo cual se puede indicar que estos microencapsulados son productos que se puede conservar durante un periodo de tiempo de almacenamiento.

Del análisis de varianza del diseño factorial (Tabla 19), se puede apreciar que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón

tuvieron efecto sobre la actividad de agua de los microencapsulados, además de que existe la interacción significativa entre ambos factores.

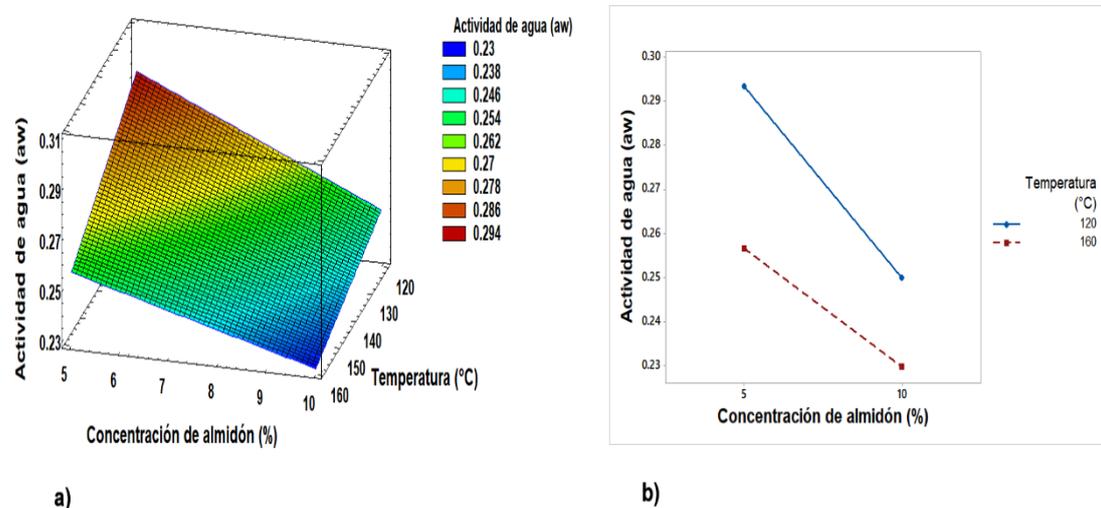
**Tabla 19**

*Análisis de varianza para actividad de agua ( $a_w$ )*

Fuente	P-value
A: Temperatura (°C)	0.0000
B: Concentración de almidón (%)	0.0000
AB: Temperatura * Concentración de almidón	0.0077

**Figura 11**

*Superficie de respuesta e interacción para actividad de agua ( $a_w$ )*



La Figura 11.a muestra la superficie de respuesta para actividad de agua ( $a_w$ ) entre 0.22 a 0.29, donde el incremento de temperatura (160 °C) y almidón (10%) permiten obtener menores valores para  $a_w$ . Asimismo, se presenta la interacción para actividad de agua (Figura 11.b), en la cual se puede observar que al emplear la temperatura y la concentración de almidón en su nivel bajo (120 °C, 5% de almidón), se obtuvieron microencapsulados con mayor actividad de agua. Por otro lado, a temperatura y concentración del almidón en su nivel alto (160 °C, 10%), se obtuvieron menores resultados para actividad de agua en los microencapsulados. Es evidente que, a mayor temperatura, la actividad de agua también disminuye, lo cual tiene una relación proporcional con la temperatura de secado (Aguilar, 2017). Además,

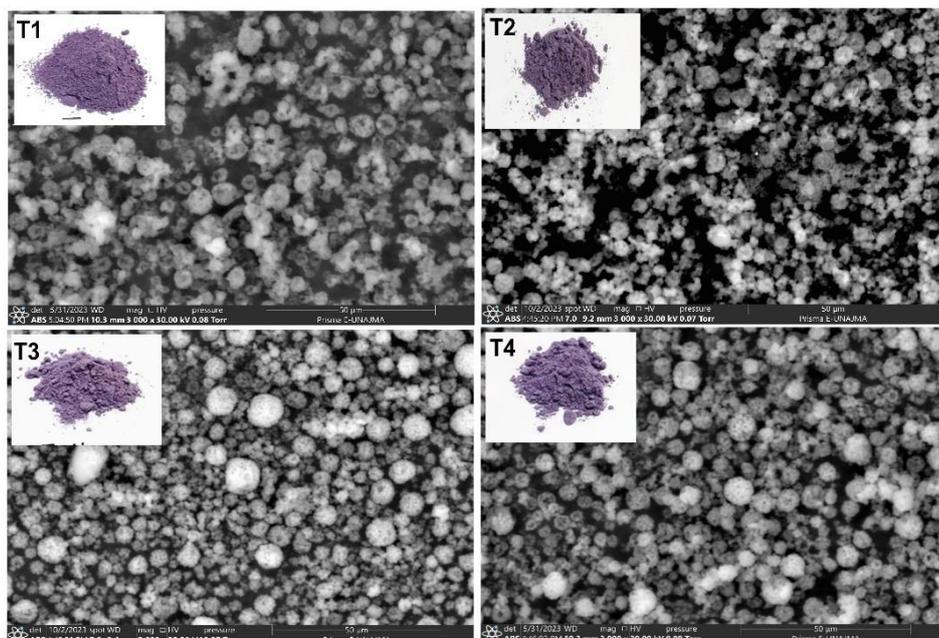
Righi Da Rosa et al. (2010) mencionan que el uso de diferentes encapsulantes o combinaciones en diferentes proporciones conduce a la obtención de microencapsulados con propiedades físicas diferentes, como el valor de  $a_w$ .

#### 4.1.3. Morfología de los microencapsulados

La morfología de los microencapsulados observadas mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) se muestra en la Figura 12. En estas imágenes, se puede observar claramente la formación de microesferas, pero también se aprecia la presencia de hendiduras en la superficie de los microencapsulados, lo que les confiere una estructura amorfa agrietada de diferentes tamaños. En particular en los tratamientos con 5% de almidón (T1 y T2), se puede notar la formación de aglomeraciones debido a la mayor presencia de antocianinas y la formación lenta de las microcápsulas a 120 °C. Por otro lado, en los tratamientos T3 y T4 con un 10% de almidón de quinua se aprecia que los microencapsulados muestran microesferas más definidas y separadas.

**Figura 12**

*Morfología de los microencapsulados*



Donde: T1 y T2 representan las imágenes SEM de los microencapsulados a 120 y 160 °C con 5% de almidón de quinua, T2 y T3 representan las imágenes SEM de los microencapsulados a 120 y 160 °C con 10% de almidón de quinua.

Resultados similares fueron presentados por Villacrez (2013), en microencapsulados con almidón de maíz y yuca donde se observó una aglomeración de partículas pequeñas de almidón, según Villacrez, estos cambios en la morfología se deben al efecto de los procesos hidrotérmicos en las características fisicoquímicas de los almidones, ya que a temperaturas mayores a 80 °C los enlaces de hidrógeno entre la cadena del almidón se rompen incrementando la hidratación de los gránulos, produciendo hinchamiento. Asimismo, también se observó que hubo formación de microcápsulas similares a los microencapsulados denominados multinúcleo (Esquivel et al., 2015) debido a la aglomeración de partículas de almidón. Por otra parte Halahlah et al. (2022), indican que la estructura amorfa de los microencapsulados se debe al uso de almidones nativos, que tienen esta particularidad cuando se emplean como matriz. Además, serían atribuidos a que los almidones nativos no realizan un encapsulamiento como tal, sino que se hablaría de una absorción por interacciones o fuerzas de polímero inducido (Villacrez, 2013).

## **4.2. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los microencapsulados**

### **4.2.1. Antocianinas monoméricas**

Los resultados se muestran en la Tabla 20, del mismo modo se pudo apreciar que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Los valores oscilaron entre 3.90 y 7.80 mg de cianidina-3-glucósido/g en base seca (b.s.), los valores altos fueron para el tratamiento T1 (120 °C, 5 % de almidón), seguido de los tratamientos T2 (160 °C, 5% de almidón), T3 (120 °C, 10% de almidón) y T4 (160 °C, 10% de almidón).

En cuanto al coeficiente de variabilidad los valores fueron menores al 2 %, lo cual indica que los tratamientos no presentaron mayor dispersión, por lo tanto, son homogéneos (Martínez, 2007).

**Tabla 20***Antocianinas monoméricas en los microencapsulados*

Tratamientos	mg de cianidina-3-glucósido/g (b.s.).				
	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	7.80	$\pm$	0.02	0.30	A
T2	7.32	$\pm$	0.01	0.12	B
T3	4.35	$\pm$	0.04	0.99	C
T4	3.90	$\pm$	0.04	1.07	D

Donde:  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes muestran diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 3.

Ersus y Yurdagel (2007), reportaron valores cercanos que oscilaron de 4.829 a 6.309 mg de cianidina-3-glucósido/g en microencapsulados de zanahoria negra (*Daucus carota ssp.*). Por su parte, Orellano y Valverde (2017) indicaron valores de 1.347 a 2.077 mg de cianidina-3-glucósido/g (b.s.) en antocianinas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) microencapsulados con maltodextrina. Por otra parte Vergara et al. (2020), reportaron un valor promedio de 1.340 mg de cianidina-3-glucósido/g (b.s.) para antocianinas de papa morada (*Solanum tuberosum*) microencapsulados con maltodextrina a temperaturas de secado de 130 °C. A su vez mencionaron que la variación en el contenido de antocianinas en los microencapsulados está relacionados al efecto de la temperatura de secado y la relación del extracto con el encapsulante. Kar et al. (2019) y Ersus y Yurdagel (2007), afirman que a mayor temperatura de secado hay mayor pérdida de antocianinas durante el secado por aspersión.

El análisis de varianza del diseño factorial (Tabla 21) muestra que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón mostró efecto sobre el contenido de antocianinas monoméricas, mientras que mostró que no existe la interacción entre ambos factores.

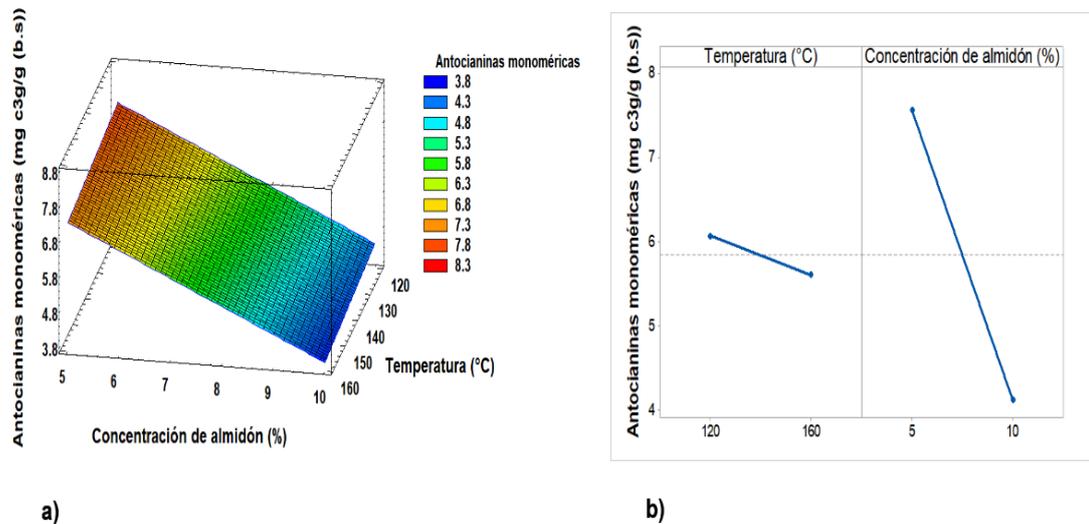
**Tabla 21**

*Análisis de Varianza para antocianinas monoméricas*

Fuente	P-value
A: Temperatura	0.0000
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura * Concentración de almidón	0.4441

**Figura 13**

*Superficie de respuesta y efectos principales para contenido de antocianinas monoméricas*



En la Figura 13.a se muestra la superficie de respuesta para el contenido de antocianinas monoméricas entre 4 a 7.9 mg de cianidina-3-glucósido/g (b.s.), obteniéndose valores altos con 5% de almidón, lo cual puede deberse a la mayor nucleación debido a la aglomeración de las partículas del almidón. En la Figura 13.b, se muestran los efectos principales donde se observa que al emplear temperatura en su nivel bajo (120 °C), se obtuvieron mayor contenido de antocianinas monoméricas. Del mismo modo, al usar una concentración de almidón de quinua en su nivel bajo (5%), se obtuvieron un mayor contenido de antocianinas monoméricas. Dado que no se muestra interacción entre la concentración de almidón y el nivel de la temperatura por lo que las líneas tienen pendientes similares que son aproximadamente paralelas. Este fenómeno podría ser atribuido al efecto de la temperatura sobre las

antocianinas retenidas en la parte superficial del granulo del almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), cuya característica es propio del almidón (Villacrez, 2013). Además, estaría relacionado con el efecto de las temperaturas elevadas, que ocasionan la degradación e hidrolisis de las antocianinas (García et al., 2022). Por otra parte Sánchez (2007), menciona que los grupos hidroxilos disponibles en la estructura del granulo del almidón tienden a saturarse por efecto de la temperatura, lo que podría explicar su capacidad de absorción de antocianinas monoméricas del almidón de quinua en su estado natural.

#### 4.2.2. Fenoles totales

Los resultados se muestran en la Tabla 22. Asimismo, se pudo observar que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p$ -valúe  $< 0.05$ ). Los valores oscilaron entre 1.56 a 2.02 mg AGE/g en (b.s.). Los tratamientos T1 (120 °C y 5% de almidón) y T2 (160 °C y 5% de almidón) presentaron la mayor concentración de fenoles totales, seguido del tratamiento T3 (120 °C y 10% de almidón) y T4 (160 °C y 10% de almidón).

Respecto al coeficiente de variabilidad los valores fueron menores a 1% indicando de que los datos son homogéneos (Martínez, 2007).

**Tabla 22**

*Fenoles totales en los microencapsulados*

Tratamientos	mg AGE/g (b.s.)				
	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	1.94	$\pm$	0.00	0.17	A
T2	2.02	$\pm$	0.01	0.28	B
T3	1.56	$\pm$	0.00	0.17	C
T4	1.63	$\pm$	0.00	0.23	D

Donde:  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, \* letras diferentes muestran diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en anexo 4.

Los resultados obtenidos fueron cercanos a los reportados por Velásquez y Vélezmore (2022) en microencapsulados de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), los cuales fueron secados a temperaturas similares, entre 120 °C

y 160 °C, empleando concentraciones de 3.5 a 12 % de almidón de oca rosa y oscilaron entre 1.96 y 4.17 mg AGE/g (b.s.). La variación en los resultados estaría relacionada con las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón, lo cual varía según la fuente de extracción. Sin embargo, también es válido destacar que muchos almidones nativos son utilizados en la encapsulación de compuestos bioactivos hidrofílicos (Velásquez y Vélezmor, 2022).

Por otra parte, Lindeboom et al. (2005) y Li y Zhu (2018), mencionan que los almidones de quinua naturales presentan buena capacidad de retención, aptos para ser usados en la encapsulación de compuestos bioactivos. Por lo tanto, se puede apreciar que los tratamientos mostraron microencapsulados con valores favorables de contenido de fenoles totales.

El Análisis de varianza del diseño factorial (Tabla 23) muestra que el factor principal temperatura de secado, no mostró efecto significativo sobre el contenido de fenoles totales. Sin embargo, el factor de concentración de almidón de quinua si tuvo efecto significativo, además de que no existe interacción entre ambos factores.

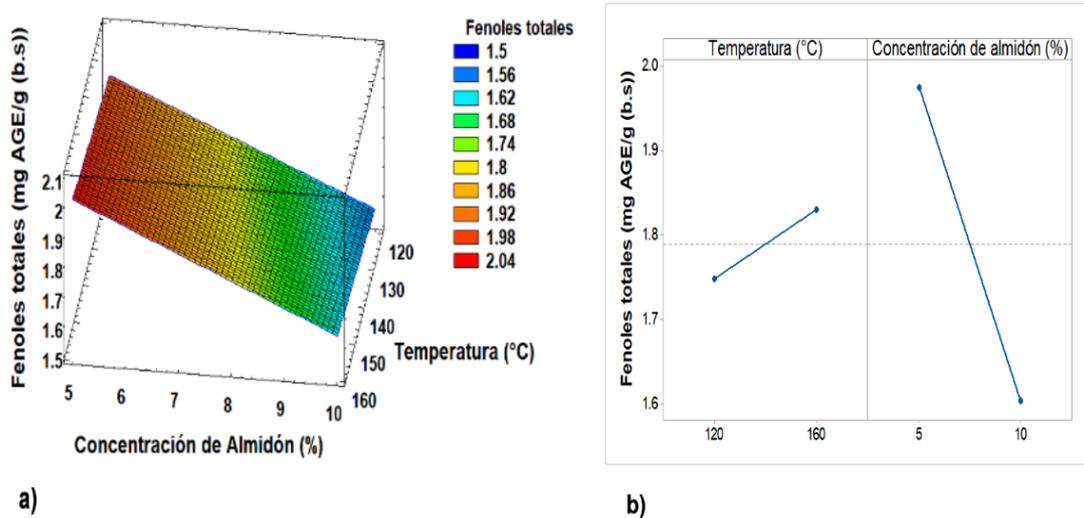
**Tabla 23**

*Análisis de Varianza para fenoles totales*

Fuente	P-valúe
A: Temperatura	0.0000
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura * Concentración de almidón	0.1720

**Figura 14**

*Superficie de respuesta y efectos principales para fenoles totales*



En la Figura 14.a se aprecia la superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales, con valores entre 1.6 y 1.9 mg AGE/g (b.s.), indicando que incrementos en la temperatura mejoró la retención de fenoles totales. En la Figura 14.b es notable que al emplear temperatura en su nivel alto (160 °C) y concentración de almidón de quinua en su nivel bajo (5%) se ha obtenido mayor concentración de fenoles totales. Por otro lado, el aumento en el contenido de fenoles podría estar relacionado con las altas temperaturas de secado, esto debido a la formación casi inmediata de una costra en la parte superficial de las microcápsulas, como resultado de la aceleración de la velocidad de secado en las gotas, lo que evita la pérdida de calor y contribuye a la conservación del contenido de fenoles totales, (Rosales et al., 2023).

#### **4.2.3. Capacidad antioxidante**

Los resultados se muestran en la Tabla 24, se pudo apreciar que los tratamientos mostraron diferencia significativa ( $p$ -value < a 0.05). Los valores oscilaron entre 131.64 y 134.39  $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalente/g (b.s.).

El tratamiento T2 (120 °C, 10% de almidón) presentó mayor nivel de capacidad antioxidante, seguido por los tratamientos T1 (120 °C 5% de almidón), T3 (160 °C, 5% de almidón) y T4 (160 °C, 10% de almidón).

En cuanto al coeficiente de variabilidad los valores fueron inferiores al 1%, lo que indica que los datos son homogéneos y no muestra una dispersión significativa, lo que refleja en una media representativa (Martínez, 2007).

**Tabla 24**

*Capacidad antioxidante en los microencapsulados*

Tratamientos	$\mu\text{mol TE /g (b.s.)}$				
	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV (%)	*
T1	132.25	$\pm$	0.42	0.32	A
T2	134.39	$\pm$	0.24	0.18	B
T3	131.64	$\pm$	0.33	0.25	A
T4	131.78	$\pm$	0.28	0.22	A

*Donde:*  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, letras diferentes muestran diferencia significativa, evaluadas a través de la prueba de Fisher con un 95% de confianza, datos completos en Anexo 5.

Orellano y Valverde (2017), reportaron resultados con valores mayores, oscilando entre 352.89 y 543.96  $\mu\text{mol de TE/g (b.s.)}$ , en microencapsulados de mashua morada empleando maltodextrina (5%, 7.5% y 10%) y temperaturas entre 120, 130 y 140 °C. De igual manera Velásquez y Vélezmore (2022) mostraron resultados menores, variando entre 30.56 a 47.83  $\mu\text{mol TE/g (b.s.)}$ , la variación en los resultados estaría relacionados con el nivel de capacidad antioxidante en las variedades de los tubérculos y el tipo de matriz utilizados. Por otro lado, Quispe et al. (2019) y Figueroa (2021), señalan que la capacidad antioxidante tiene una relación directa con el contenido de polifenoles, ya que el contenido de polifenoles totales contribuye predominantemente en la actividad de eliminar los radicales libres. Por otra parte, García et al. (2022), señala que el aumento de la capacidad antioxidante podría atribuirse a la degradación de las antocianinas, lo que conduce a la formación de varios compuestos polifenólicos que mantienen una mayor correlación con la actividad antioxidante a comparación de la baja correlación que presenta las antocianinas.

Del análisis de varianza del diseño factorial (Tabla 25), se puede notar que los factores principales temperatura de secado y concentración de almidón mostraron efecto significativo sobre la capacidad antioxidante. Asimismo, muestra que existe la interacción entre ambos factores

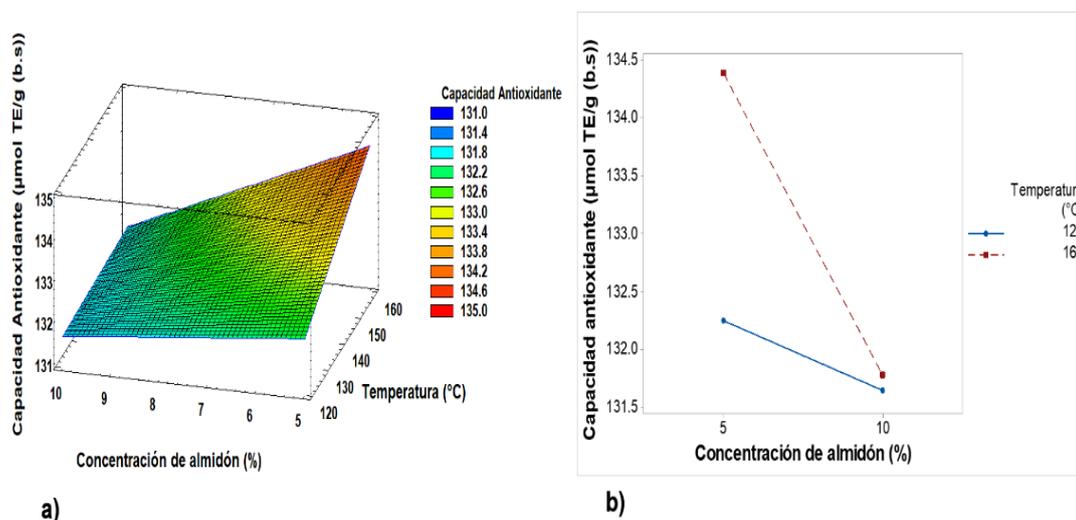
**Tabla 25**

*Análisis de Varianza para capacidad antioxidante de los microencapsulados*

Fuente	p-value
A: Temperatura (°C)	0.0003
B: Concentración de almidón	0.0000
AB: Temperatura*Concentración de almidón	0.0007

**Figura 15**

*Superficie de respuesta e interacción para capacidad antioxidante*



La Figura 15.a muestra la superficie de respuesta para la capacidad antioxidante con valores entre 131.5 y 134 mg TE/g (b.s.), notándose un incremento a mayor temperatura de entrada (160 °C). Por otro lado, la Figura 15.b muestra la interacción de los factores. En el cual se puede observar que empleando el nivel más alto de temperatura (160 °C) y el nivel bajo de concentración de almidón de quinua (5%) se obtuvieron mayor nivel de capacidad antioxidante. Asimismo, en la interacción de la temperatura cuando la concentración de almidón es igual a 10% el nivel de la capacidad antioxidante disminuyó debido al menor contenido del material activo en los

microencapsulados. En el punto cercano a la intersección los valores del promedio muestral de dos tratamientos son similares (Gutiérrez y De la Vara, 2008), y existe una fuerte interacción entre ambos factores.

Por otro lado, se podría decir que existe una correlación entre la capacidad antioxidante con el contenido de compuestos fenólicos totales (Campos et al., 2006; Navarro et al., 2020), por su parte Rosales et al., (2022) indican que la protección y biodisponibilidad del material activo en productos encapsulados depende de la temperatura de entrada, la cantidad de núcleo y la proporción de materiales de pared utilizados. En este sentido, Vargas y Suquillo (2022) mencionan que los microencapsulados de extractos antociánicos también representan una fuente importante de nutrientes y antioxidantes. Por lo tanto, los microencapsulados obtenidos mostraron resultados favorables para su posible uso.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- Se observó que la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) presentaron efecto significativo en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Los resultados fueron convenientes para su posible utilización como colorante natural.
- Se observó un efecto significativo de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en las propiedades físicas de los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Fue evidente que los factores principales presentaron efecto significativo ( $p\text{-value} < 0.05$ ) sobre el color y actividad de agua ( $a_w$ ) de los microencapsulados. No obstante, los microencapsulados de los tratamientos T1 (120 °C, 5% almidón) y T2 (160 °C, 5% almidón) mostraron mejores resultados en cuanto al color, mientras que los microencapsulados de los tratamientos T3 (120 °C, 10% almidón) y T4 (160 °C, 10% almidón) presentaron mejores resultados en cuanto a la actividad de agua.
- Se pudo apreciar que la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mostraron efecto significativo en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Se pudo observar que los factores concentración de almidón de quinua y la temperatura de secado presentaron efecto significativo en las antocianinas monoméricas y el contenido de fenoles totales ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Sin embargo, no se observó interacción entre ambos factores. En cuanto a la capacidad antioxidante, ambos factores también mostraron efecto significativo ( $p\text{-value} < 0.05$ ), además de una interacción significativa entre los dos factores principales.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a la población, a los investigadores, a los estudiantes y a los egresados de la escuela profesional de ingeniería agroindustrial:

- ✓ Evaluar la estabilidad de los compuestos bioactivos de los microencapsulados de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) utilizando como colorante natural en alimentos.
- ✓ Congelar los tubérculos para facilitar la obtención del extracto antociánico.
- ✓ Para obtener el extracto antociánico, se sugiere realizar la extracción mediante lixiviación acuosa, ya que de esta manera se reduce el uso de solventes químicos que no son amigables con el ambiente.
- ✓ En la extracción del almidón, se recomienda controlar el pH (no menor a 4) para evitar la acidificación del almidón y las variaciones en su comportamiento.
- ✓ Se recomienda usar el ultra-turrax con el fin de lograr una mejor homogenización de las partículas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroperú. (2022). *Mashua, rica fuente de nutrientes*.  
<https://www.agroperu.pe/mashua-rica-fuente-de-nutrientes/>
- Aguirre, H. L. L., Oré, A. F., & Ticsihua, H. J. (2021). *Evaluación de Factores determinantes en el rendimiento y antioxidación de antocianinas extraídas de mashua negra (tropaeolum tuberosum) por fluidos supercríticos (FSC)* (E. Ana Barp, G. Bonetto Bambi, G. Bueno, I. Zanardi, J. Becker, & J. Liebl Miranda, Eds.; Editorial UnC).
- Anaya, S. R. E. (2018). *Contenido de antocianinas, polifenoles totales, vitamina C y rendimiento de colorante en mashua negra (tropaeolum tuberosum) cultivado en tres altitudes de la Región de Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán], Huánuco, Perú.  
<http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/3957>
- Antonio, G. M. V., Salinas, M. Y., Hernández, R. F., Martínez, B. F., Andrade, G. I., & Herrera, C. J. A. (2021). Optimized extraction, microencapsulation, and stability of anthocyanins from ardisia compressa k. fruit. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 71(3), 299-310.  
<https://doi.org/10.31883/pjfn/140404>
- Aranda, N. C. I. (2018). «Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de papa nativas (Solanum spp.), variedades Puca-shungo y Yana-shungo». *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1). [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato], Ambato, Ecuador.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27504>
- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información Tecnológica*, 25(3), 43-51.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Arteaga Cano, D., Chacón Calvo, L., Samamé Herrera, V., Valverde Cerna, D., & Paucar Menacho, L. M. (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos

- y propiedades beneficiosas para la salud. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95-101. <https://doi.org/10.17268/AGROIND.SCI.2022.01.12>
- Arzapalo, Q. D., Huamán, C. K., Quispe, S. M., & Espinoza, S. C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca Junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1), 1-11. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i1.9>
- Badui, D. S. (2006). *Química de Los Alimentos* (Cuarta Edición), Editorial PRINTICE HALL, México.
- Belitz H. y Grosch W. (1998). Book Reviews : Química de los alimentos. *Food Science and Technology International*, Editorial Acibia 4(3). <https://doi.org/10.1177/108201329800400310>
- Beltrán, G. F. A. (2017). *Desarrollo y caracterización de micropartículas de pramipexol obtenidas mediante secado por atomización*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/2735>
- Bemiller, J. N., & Whistler, R. L. (2009). *Starch: Chemistry and Technology (Third)* (I. Series. Food Science and Technology, Ed.; 3ra edición). Academic Press.
- Breakey, J. O. A. N. , Reilly, C. O. N. O. R., Connell, H. E. L. E. N., Branen, A. L., Davidson, M., Salminen, S., & Thorngate, J. H. (2002). The role of food additives and chemicals in behavioral, learning, activity, and sleep problems in children. *Food science and technology-new york-marcel dekker*, 5 (1), 87-100. [Doi: 10.1201/9780824741709.ch5](https://doi.org/10.1201/9780824741709.ch5)
- Brown, C. R., Culley, D., Yang, C. P., Durst, R., & Wrolstad, R. (2005). Variation of anthocyanin and carotenoid contents and associated antioxidant values in potato breeding lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 174-180. <https://doi.org/10.21273/jashs.130.2.174>
- Campo Fernández, M., Granja Rizzo, D. F., Matute Castro, N. L., Cuesta Rubio, O., & Márquez Hernández, I. (2021). Microencapsulation by spray drying from an extract of the calyces of hibiscus sabdariffa l. *Revista*

- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón*), Oca (*Oxalis tuberosa Mol*) and ulluco (*Ullucus tuberosus Caldas*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1481-1488. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Cerrón, M. L. M. (2012). Evaluación del efecto del tipo de cocción en el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante en papa nativa cuchipelo. [Tesis de pregrado, *Universidad Nacional del Centro del Perú*, Huancayo, Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1228>
- Clavijo, J. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *ELEMENTOS*, 3(3), 133-146. <https://doi.org/10.15765/e.v3i3.420>
- Corzo, R. D. L. (2018). *Evaluación de las características del almidón de quinua (chenopodium quinoa Willd) de dos variedades de Cundinamarca como una posible alternativa tecnológica en la industria de alimentos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD], Bogotá, Colombia. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/21312>
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>
- Dávalos, C. D. (2019). Determinación de parámetros óptimos de extracción de antocianinas en Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac], Apurímac, Perú. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/829>
- Dimas, R. G. (2011). *Estudio de la interacción de metales pesados (Pb, Cd, Zn Y Cr) en el proceso de biosorción por tres tipos de biomasa*. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León], México.

- Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805-812. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>
- Esquivel, G. B. E., Ochoa, M. L. A., & Rutiaga, Q. O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180-192. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176006>
- Fennema, O. R. (2000). *Química de los Alimentos*. Editorial acribia, 52-58.
- Figueroa, H. J. N. (2020). *Microencapsulación de antocianinas con actividad antioxidante extraídas a partir de la cáscara de pitahaya roja (Hylocereus undatus)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato], Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30832>
- Gámez, V. J. (2020). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía*, 19.
- García, T. S. M., Chire, F. G. C., Repo, C. R., & Ureña, P. M. O. (2022). Efecto de la fritura sobre los componentes bioactivos de la papa nativa (*Solanum tuberosum* sp.) Puka Ambrosio. *Revista chilena de nutrición*, 49(1), 7-16. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182022000100007>
- Garzón, G. A. (2010). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. En *Acta Biológica Colombiana* 13(3).
- Gautam, N., Garg, S., & Yadav, S. (2020). Underutilized finger millet crop for starch extraction, characterization, and utilization in the development of flexible thin film. *Journal of Food Science and Technology* 2020 58:11, 58(11), 4411- 4419. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04926-0>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.
- Grau, A., Dueñas, R. O., Cabrera, C. N., & Hermann, M. (2003). Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) Ruíz & Pav. *Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops* 25., 52(4), 427- 427.

<https://www.researchgate.net/publication/239602353> Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crop

- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. 3ra edición, Editorial Mc Grau Hill, Guanajuato, México.
- Halahlah, A., Piironen, V., Mikkonen, K. S., & Ho, T. M. (2022). Polysaccharides as wall materials in spray-dried microencapsulation of bioactive compounds: Physicochemical properties and characterization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2038080>
- Jan, K. N., Panesar, P. S., Rana, J. C., & Singh, S. (2017). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 315-322. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.04.027>
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology* 2012 5:6, 5(6), 2058-2076. <https://doi.org/10.1007/S11947-012-0835-4>
- Kalušević, A., Lević, S., Čalića, B., Pantić, M., Belović, M., Pavlović, V., Bugarski, B., Milić, J., Žilić, S., & Nedović, V. (2017). Microencapsulation of anthocyanin-rich black soybean coat extract by spray drying using maltodextrin, gum Arabic and skimmed milk powder. *Journal of Microencapsulation*, 34(5), 475-487. <https://doi.org/10.1080/02652048.2017.1354939>
- Kar, A., Kumar Mahato, D., Singh Patel, A., & M. Bal, L. (2019). The Encapsulation Efficiency and Physicochemical Characteristics of Anthocyanin from Black Carrot (*Daucus Carota Ssp. Sativus*) as Affected by Encapsulating Materials. *Current Agriculture Research Journal*, 7(1). <https://doi.org/10.12944/carj.7.1.04>
- Laqui, V. C., Guerrero, K. M. L., & Laqui, W. (2013). Agroindustria, sociedad y ambiente. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(19), 37-58. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7365257>

- Li, G., & Zhu, F. (2018). Quinoa starch: Structure, properties, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 181, 851-861. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.067>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Falk, K. C., & Tyler, R. T. (2005). Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal Chemistry*, 82(2), 216-222. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0216>
- López, C. L. C., & Villalta, H. M. A. (2009). *Propuesta de un método para la elaboración de microesferas matriciales de ácido acetilsalicílico utilizando alginato de sodio por la técnica de gelificación iónica* [Tesis de grado, Universidad De El Salvador], El Salvador, Centro América. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/159269>
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., Tay, D., & Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP), 8-123.
- Márquez, M. G. del C. (2011). Capacidad antioxidante y caracterización estructural de las antocianinas de los frutos rojos de ciruelo (*Prunus domestica* L.), Higo (*Ficus carica* L.) y Uva (*Vitis vinífera* L. c.v.) cultivados en Perú. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/2594>
- Martínez, B. (2007). *Estadística y muestreo* (13.<sup>a</sup> ed.).
- Masaquiza, J. I. M. (2018). *Evaluación de la actividad antimicrobiana y antioxidante de antocianinas microencapsuladas de maíz morado (Zea mays L.), papa morada (Solanum Tuberosum L.) y mortiño (Vaccinium floribundum Kunth)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato], Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27559>
- Maza, I. N. N. (2020). *Extracción y caracterización fisicoquímica y tecnofuncional de carbohidratos tipo almidón de cinco variedades de Quinoa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4465>

- Mendoza, S. 1, 2, E. v., Curi Borda, C. K., Rojas Mercado, V. J., Alvarado Kirigin, J. A., & Bello, A. (2016). Encapsulation, characterization and thermal stability of anthocyanins from zea mays l. (purple corn). *Revista Boliviana de Química*, 33(5), 183-189.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602016000500005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602016000500005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Muñoz, O. F., Robles, C. R., Chirre, F. J. H., Santisteban Rojas, O., Feliciano, N. J. C., & León, W. D. F.-P. de. (2021). Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña. *Ingeniería Industrial*, 40, 171-190.  
<https://doi.org/10.26439/ING.IND2021.N40.5150>
- Navarro Valdez, K., Capillo Herrera, N., Calixto Cotos, M. R., & Santisteban Rojas, O. P. (2020). Extracción y Microencapsulación de compuestos antioxidantes de la semilla de Oenocarpus bataua mart. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 547-554.  
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.04.10>
- Núñez, C. B. I. (2022). *Extracción, microencapsulación y evaluación de la capacidad antioxidante de las antocianinas presentes en las flores de jamaica (Hibiscus sabdariffa) cultivadas en el cantón Milagro, provincia del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato], Ambato, Ecuador.  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/36009>
- Obando, M. M. (2021). *Retención de antocianinas, rendimiento y características físico-mecánicas de comprimidos efervescentes del extracto de maíz morado (Zea mays L.) microencapsulado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo], Trujillo, Perú.  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17145>
- Orellano, G. E. V., & Valverde, T. J. M. (2017). Propiedades físicas, antocianinas y capacidad antioxidante del atomizado de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) encapsulado con maltodextrina. [Tesis de

- pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú], Huancayo, Perú.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4776>
- Parra, H. R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5669-5684.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472010000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Pérez Leonard, H., Bueno García, G., Brizuela Herrada, M. A., Tortoló Cabañas, K., & Gastón Peña, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 14-25.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223126409003>
- Quispe, S. M., Espinoza, S. C., Corilla, F. D., Manyari, C. G., & Flores, R. O. (2019). Microencapsulación de polifenoles a partir de residuos del Café. *Journal of Agri-food Science*, 1, 1-11.
- Ramos, C. E. (2021). *Antocianinas: revisión bibliográfica de su procesamiento y potencial uso como colorante natural en alimentos* [Tesis de maestría, Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas], Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/185067>
- Rosales, C. S., Navarro, C. R. O., Bello, P. L. A., Vargas, T. A., & Palma, R. H. M. (2023). Optimal conditions for anthocyanin extract microencapsulation in taro starch: Physicochemical characterization and bioaccessibility in gastrointestinal conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 227, 83-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.136>
- Sánchez, G. I. (2007). *Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión*. [Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional - Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada], México.
- Sandoval, P. V., Cu-Cañetas, Mercado, P. G., & Acereto, E. P. O. (2017). Propiedades Funcionales de Hoy. En O. M. E. Ramírez (Ed.), *Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas*. (OmniaScience, 7(1), 181-218.

- Santacruz, C. L. (2011). Análisis químico de antocianinas en frutas silvestres colombianas. En *Phys. Rev. E* (Número June).
- Santos, C. D. J. A., & Santos, C. L. M. (2021). *Microencapsulación del jugo de mora (Rubus Glaucus) usando goma garrofín en el proceso de atomización* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo], Lambayeque, Perú.  
<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9546>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.  
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Tapia, E. M., & Frías, A. M. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. En *FAO- Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú*. (pp. 23-24).
- Timberlake, C. F. (1980). Anthocyanins-Occurrence, extraction and chemistry. *Food Chemistry*, 5(1). [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(80\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(80)90065-5)
- Tsuda, T., Horio, F., Uchida, K., Aoki, H., & Osawa, T. (2003). Dietary cyanidin 3-O-β-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *Journal of Nutrition*, 133(7).  
<https://doi.org/10.1093/jn/133.7.2125>
- Vargas, L. J. H., & Suquillo, B. M. B. (2022). *Caracterización fisicoquímica, nutricional, evaluación del potencial antioxidante del extracto micro encapsulado mediante secado por aspersión y su formulación de uva camarona (Macleania rupestris Kunth) A.C. Sm.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato], Ambato, Ecuador.  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/34944>
- Velásquez, B. F. F., & Vélezmore, S. C. E. (2022). Microencapsulation of Purple Mashua Extracts Using Andean Tuber Starches Modified by Octenyl Succinic Anhydride. *International Journal of Food Science*, 2022.  
<https://doi.org/10.1155/2022/8133970>
- Vergara, C., Pino, M. T., Zamora, O., Parada, J., Pérez, R., Uribe, M., & Kalazich, J. (2020). Microencapsulation of Anthocyanin Extracted from

- Purple Flesh Cultivated Potatoes by Spray Drying and Its Effects on In Vitro Gastrointestinal Digestion. *Molecules* 2020, 25(3), 1-14. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25030722>
- Villacrez, Y. J. L. (2013). *Desarrollo de microencapsulados por SPRAY DRYING a partir de frutos de mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*, [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia], Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52827>
- Yapias, R. J. M., Astete, J. M. A., Uscuchagua, Y. Y. C., & Sánchez, M. C. R. (2022). Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón*): Una revisión. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 41-51. <https://doi.org/10.37815/RTE.V34N2.891>
- Zárate, P. L. M. (2019). *Aplicación del almidón de quinua (Chenopodium quinoa) en la industria alimentaria de acuerdo a su potencial tecnológico* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia], Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76596>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. ANOVA y prueba de rangos múltiples para color (L, a\*, b\*)

**Tabla ANOVA para Luminosidad (L)**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	722.342	3	240.781	984.62	0.0000
Intra grupos	1.95633	8	0.245		
Total (Corr.)	724.299	11			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad (L)

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	39.08	A
2	3	45.61	B
3	3	57.11	C
4	3	57.20	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-6.5333	0.931091
1 - 3	*	-18.1233	0.931091
1 - 4	*	-18.0367	0.931091
2 - 3	*	-11.5900	0.931091
2 - 4	*	-11.5033	0.931091
3 - 4		0.0867	0.931091

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza (ANOVA) bifactorial para Luminosidad (L\*)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
A: Temperatura	31.169	1	31.170	127.460	0.0000
B: Concentración de Almidón	658.305	1	658.305	2691.990	0.0000
AB: Temperatura * concentración de almidón	32.868	1	32.868	134.410	0.0000
Error total	1.956	8	0.245		
Total (corr.)	724.299	11			

R-cuadrada = 99.7299% indica la variabilidad en Luminosidad (L). R-cuadrada ajustada = 99.6286%.

### Tabla ANOVA para croma a\*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	9.803	3	3.268	326.50	0.0000
Intra grupos	0.080	8	0.010		
Total (Corr.)	9.883	11			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Croma a\* por Tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	9.24	C
4	3	9.87	D
1	3	11.10	A
2	3	11.47	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0.3700	0.1884
1 - 3	*	1.8633	0.1884
1 - 4	*	1.2300	0.1884
2 - 3	*	2.2333	0.1884
2 - 4	*	1.6000	0.1884
3 - 4	*	-0.6333	0.1884

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza bifactorial para Cromo a\*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
A: Temperatura	0.7550	1	0.7550	75.44	0.0000
B: Concentración de Almidón	8.9960	1	8.9960	898.85	0.0000
AB: Temperatura * concentración de almidón	0.0520	1	0.0520	5.20	0.0521
Error total	0.0800	8	0.0100		
Total (corr.)	9.8831	11			

R-cuadrada = 99.1899%, indica la variabilidad en croma a\*.

R-cuadrada ajustada = 98.8861%.

### Tabla ANOVA para croma b\*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	16.932	3	5.645	344.68	0.0000
Intra grupos	0.131	8	0.016		
Total (Corr.)	17.063	11			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo b\* por Tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	-13.433	A
2	3	-11.173	B
4	3	-10.810	D
3	3	-10.343	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-2.260	0.2409
1 - 3	*	-3.090	0.2409
1 - 4	*	-2.623	0.2409
2 - 3	*	-0.830	0.2409
2 - 4	*	-0.363	0.2409
3 - 4	*	0.467	0.2409

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza (ANOVA) bifactorial para Cromo b\*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
A: Temperatura	2.412	1	2.412	147.30	0.0000
B: Concentración de Almidón	8.944	1	8.944	546.21	0.0000
AB: Temperatura * concentración de almidón	5.576	1	5.576	340.52	0.0000
Error total	0.131	8	0.016		
Total (corr.)	17.063	11			

R-cuadrada = 99.2323%, indica la variabilidad en cromos b\*.

R-cuadrada ajustada = 98.9444%.

### Resultados para color L, a\*, b\*

Temperatura (°C)	Concentración de Almidón de quinua (%)		R1	R2	R3	PROMEDIO
120	5	L*	38.93	39.15	39.15	39.08
		a*	11.03	11.12	11.15	11.10
		b*	-13.46	-13.43	-13.41	-13.43
160	5	L*	45.68	45.48	45.67	45.61
		a*	11.66	11.41	11.34	11.47
		b*	-11.33	-11.12	-11.07	-11.17
120	10	L*	56.34	57.02	57.24	56.87
		a*	9.17	9.30	9.24	9.24
		b*	-10.41	-10.51	-10.11	-10.34
160	10	L*	56.94	57.20	57.20	57.11
		a*	9.93	9.87	9.81	9.87
		b*	-10.86	-10.81	-10.76	-10.81

**Anexo 2. ANOVA y prueba de rangos múltiples para actividad de agua ( $a_w$ )**

**Tabla ANOVA para Actividad de agua ( $a_w$ ) por Tratamientos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	0.0063	3	0.0021	125.83	0.0000
Intra grupos	0.0001	8	0.0001		
Total (Corr.)	0.0064	11			

**Pruebas de Rangos Múltiples para Actividad de agua ( $a_w$ ) por Tratamientos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Tratamientos</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	3	0.2300	D
3	3	0.2500	C
2	3	0.2600	C
1	3	0.2900	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
1 - 2	*	0.0367	0.0077
1 - 3	*	0.0433	0.0077
1 - 4	*	0.0633	0.0077
2 - 3		0.0067	0.0077
2 - 4	*	0.0267	0.0077
3 - 4	*	0.0200	0.0077

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza (ANOVA) bifactorial para Actividad de agua ( $a_w$ )

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>P-value</i>
A: Temperatura (°C)	0.0024	1	0.0024	144.50	0.0000
B: Concentración de almidón (%)	0.0037	1	0.0037	220.50	0.0000
AB: Temperatura (°C) * Concentración de almidón (%)	0.0002	1	0.0002	12.50	0.0077
Error total	0.0001	8	0.0000		
Total (corr.)	0.0064	11			

R-cuadrada = 97.9248%, indica la variabilidad en actividad de agua ( $a_w$ ).

R-cuadrada ajustada = 97.1466%.

### Resultados de actividad de agua ( $a_w$ )

Temperatura (°C)	Concentración de Almidón de quinua (%)	$a_w$			$\bar{x}$	Temperatura (°C)			$\bar{x}$
		R1	R2	R3		R1	R2	R3	
120	5	0.29	0.30	0.29	0.293	20.3	20.51	20.73	20.50
160	5	0.26	0.26	0.25	0.256	21.8	21.88	21.99	21.88
120	10	0.25	0.25	0.25	0.247	21.2	21.37	21.50	21.36
160	10	0.23	0.23	0.23	0.230	22.3	22.37	22.42	22.37

### Anexo 3. ANOVA y prueba de rangos múltiples para antocianinas monoméricas

**Tabla ANOVA para Antocianinas monoméricas por Tratamientos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	36.0378	3	12.0126	<b>11532.08</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	0.0083	8	0.0010		
Total (Corr.)	36.0461	11			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Antocianinas monoméricas por Tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	3	3.9000	D
3	3	4.3460	C
2	3	7.3200	B
1	3	7.7960	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	<b>0.4767</b>	0.0608
1 - 3	*	<b>3.4500</b>	0.0608
1 - 4	*	<b>3.8967</b>	0.0608
2 - 3	*	<b>2.9733</b>	0.0608
2 - 4	*	<b>3.4200</b>	0.0608
3 - 4	*	<b>0.4467</b>	0.0608

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de varianza (ANOVA) bifactorial para antocianinas monoméricas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
A: Temperatura	0.6395	1	0.6395	613.8	0.0000
B: Concentración de almidón	35.3977	1	35.3977	33981.7	0.0000
AB: Temperatura (°C)* Concentración de almidón de quinua (%)	0.0007	1	0.0007	0.6	0.4441
Error total	0.0083	8	0.0011		
Total (corr.)	36.0461	11			

R-cuadrada = 99.9769%, indica la variabilidad en antocianinas monoméricas.

R-cuadrada ajustada = 99.9682%.

## Resultados para antocianinas monoméricas

Temperatura (°C)	Concentración de Almidón de quinua (%)	$\lambda$ max.	pH 1		pH 4.5		Absorbancia final	Peso de la muestra (g)	Volumen de la muestra (mL)	FD
			Abs. a $\lambda$ max nm	Abs. a 700 nm	Abs. a $\lambda$ max nm	Abs. a 700 nm				
120	5	525	0.2810	0.0025	0.0340	0.0013	0.246	0.2009	25	11
			0.2820	0.0005	0.0374	0.0003	0.244	0.2009	25	11
			0.2815	0.0015	0.0361	0.0008	0.245	0.2009	25	11
160	5	525	0.2656	0.0020	0.0342	0.0014	0.231	0.2018	25	11
			0.2652	0.0008	0.0347	0.0017	0.231	0.2018	25	11
			0.2654	0.0014	0.0344	0.0015	0.231	0.2018	25	11
120	10	530	0.3441	0.0003	0.0472	0.0026	0.299	0.2019	25	5
			0.3510	0.0013	0.0458	0.0012	0.305	0.2019	25	5
			0.3476	0.0008	0.0465	0.0019	0.302	0.2019	25	5
160	10	530	0.3193	0.0001	0.0468	0.0017	0.274	0.2058	25	5
			0.3272	0.0022	0.0451	0.0001	0.280	0.2058	25	5
			0.3232	0.0012	0.0459	0.0009	0.277	0.2058	25	5

#### Anexo 4. ANOVA y prueba de rangos múltiples para fenoles totales

**Tabla ANOVA para Fenoles totales por Tratamientos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	0.4616	3	0.1538	<b>4616.25</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	0.0003	8	0.0003		
Total (Corr.)	0.4619	11			

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Fenoles totales por Tratamientos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	1.5633	A
4	3	1.6333	B
1	3	1.9433	C
2	3	2.0233	D

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	<b>-0.0800</b>	0.0109
1 - 3	*	<b>0.3800</b>	0.0109
1 - 4	*	<b>0.3100</b>	0.0109
2 - 3	*	<b>0.4600</b>	0.0109
2 - 4	*	<b>0.3900</b>	0.0109
3 - 4	*	<b>-0.0700</b>	0.0109

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de varianza (ANOVA) bifactorial para fenoles totales

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>P-value</i>
A: Temperatura (°C)	0.0169	1	0.0169	506.25	0.0000
B: Concentración de Almidón (%)	0.4447	1	0.4447	13340.25	0.0000
AB: Temperatura (°C) * Concentración de almidón de quinua (%)	0.0001	1	0.0001	2.25	0.1720
Error total	0.0003	8	0.0000		
Total (corr.)	0.4619	11			

R-cuadrada = 99.9423 %, indica variabilidad en fenoles totales.

R-cuadrada ajustada = 99.9206 %.

### Resultados para fenoles totales

Temperatura (°C)	Concentración de Almidón de quinua (%)	Absorbancias de la muestra				Concentración Ácido gálico (mg/L)	Volumen de la muestra (L)	Peso de la muestra (g)
		R1	R2	R3	Promedio			
120	5	1.334	1.425	1.436	1.398	27.598	0.020	0.3081
		1.334	1.428	1.436	1.399	27.618	0.020	0.3081
		1.339	1.431	1.438	1.403	27.687	0.020	0.3081
160	5	1.447	1.477	1.420	1.448	28.624	0.020	0.3059
		1.448	1.452	1.430	1.443	28.528	0.020	0.3059
		1.447	1.429	1.445	1.440	28.466	0.020	0.3059
120	10	1.030	1.279	1.120	1.143	22.322	0.020	0.3095
		1.039	1.271	1.124	1.145	22.357	0.020	0.3095
		1.035	1.276	1.129	1.147	22.398	0.020	0.3095
160	10	1.167	1.343	1.067	1.192	23.342	0.020	0.3095
		1.164	1.349	1.075	1.196	23.417	0.020	0.3095
		1.163	1.347	1.082	1.197	23.445	0.020	0.3095

**Anexo 5. ANOVA y prueba de rangos múltiples para capacidad antioxidante**

**Tabla ANOVA para Capacidad Antioxidante por Tratamientos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
Entre grupos	14.6724	3	4.8908	46.64	0.0000
Intra grupos	0.8389	8	0.1049		
Total (Corr.)	15.5113	11			

**Pruebas de Múltiple Rangos para capacidad antioxidante por Tratamiento**

Método: 95.0 porcentaje LSD

tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	131.64	A
4	3	131.77	A
1	3	132.25	A
2	3	134.39	B

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
1 - 2	*	-2.1400	0.6097
1 - 3		0.6067	0.6097
1 - 4		0.4733	0.6097
2 - 3	*	2.7467	0.6097
2 - 4	*	2.6133	0.6097
3 - 4		-0.1333	0.6097

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza (ANOVA) bifactorial para Capacidad antioxidante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-value
A: Temperatura (°C)	3.8760	1	3.8760	36.96	0.0003
B: Concentración del almidón (%)	7.7763	1	7.7763	74.15	0.0000
AB: Temperatura (°C) * concentración de almidón (%)	3.0200	1	3.0200	28.80	0.0007
Error total	0.8389	8	0.1048		
Total (corr.)	15.5113	11			

R-cuadrada = 94.5915%, indica la variabilidad en capacidad antioxidante.

R-cuadrada ajustada = 92.5633%.

### Resultados para capacidad antioxidante

Temperatura (°C)	Concentración de Almidón de quinua (%)	Absorbancia de las muestras microencapsuladas				Abs Real (blanco-muestra)	Concentración Trolox (µmol/L)	volumen del extracto (L)	Peso de la muestra (g)
		R1	R2	R3	Promedio				
120	5	0.153	0.152	0.153	0.153	0.845	1867.67	0.02	0.3081
		0.150	0.150	0.150	0.150	0.847	1876.00	0.02	0.3081
		0.152	0.151	0.152	0.151	0.846	1871.56	0.02	0.3081
160	5	0.143	0.143	0.143	0.143	0.854	1899.33	0.02	0.3059
		0.145	0.145	0.145	0.145	0.852	1892.67	0.02	0.3059
		0.144	0.144	0.144	0.144	0.853	1896.00	0.02	0.3059
120	10	0.138	0.137	0.138	0.138	0.860	1917.67	0.02	0.3045
		0.152	0.152	0.152	0.152	0.845	1869.33	0.02	0.3045
		0.145	0.145	0.145	0.145	0.852	1893.22	0.02	0.3045
160	10	0.233	0.232	0.233	0.233	0.765	1601.00	0.02	0.3095
		0.230	0.230	0.230	0.230	0.767	1609.33	0.02	0.3095
		0.232	0.231	0.232	0.232	0.766	1604.33	0.02	0.3095

## Anexo 6. Humedad de los microencapsulados

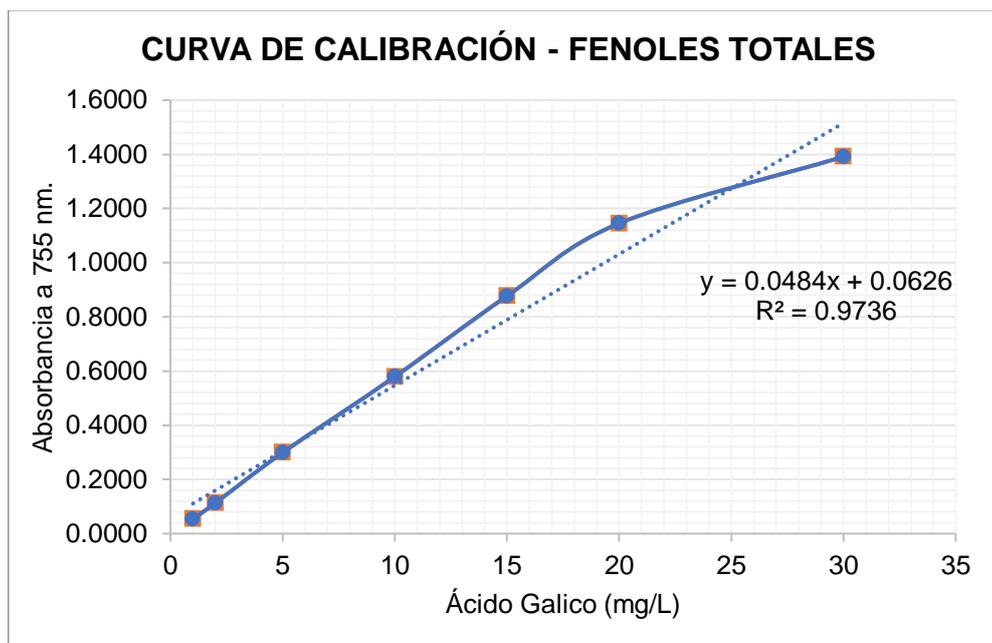
Tratamientos	Concentración de Almidón de quinua	peso de la placa (g)	Peso de las muestras en gramos			% humedad (bh)	Promedio (%)
			peso de la muestra húmeda (g)	P1	P2		
T1 - (120)	5%	47.7741	1.0101	48.7842	48.7047	7.8705	7.76
		50.9438	1.0685	52.0123	51.9305	7.6556	
T2 - (160)	5%	46.5520	1.0179	47.5699	47.4909	7.7611	7.76
		51.4945	1.0158	52.5103	52.4315	7.7574	
T3 - (120)	10%	51.2454	1.0219	52.2673	52.1879	7.7698	7.65
		48.0187	1.0174	49.0361	48.9594	7.5388	
T4 - (160)	10%	48.8562	1.0166	49.8728	49.7944	7.7120	7.39
		50.6918	1.0180	51.7098	51.6378	7.0727	

Donde:

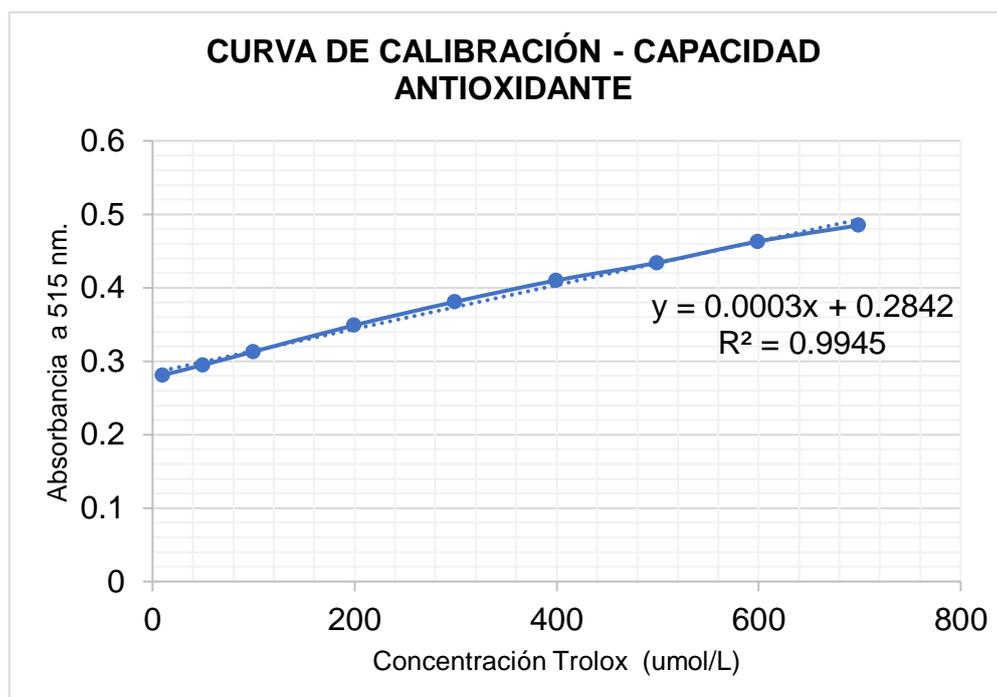
P1: peso de la placa + muestra húmeda

P2: peso de la placa + muestra seca

### Anexo 7. Curva de calibración para fenoles totales



### Anexo 8. Curva de calibración para capacidad antioxidante

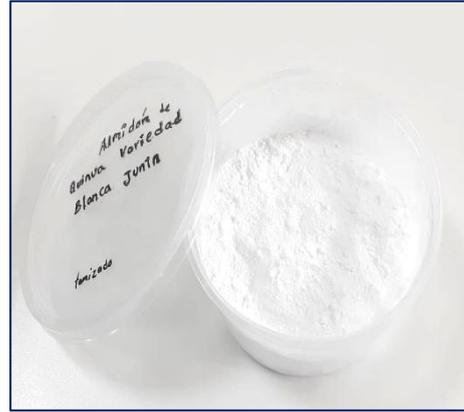


**Anexo 9. Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)**



**Anexo 10. Imágenes de la extracción de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)**

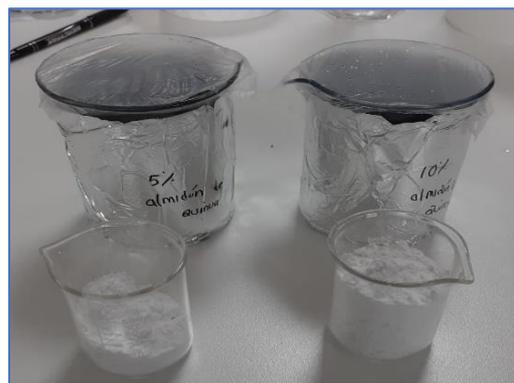




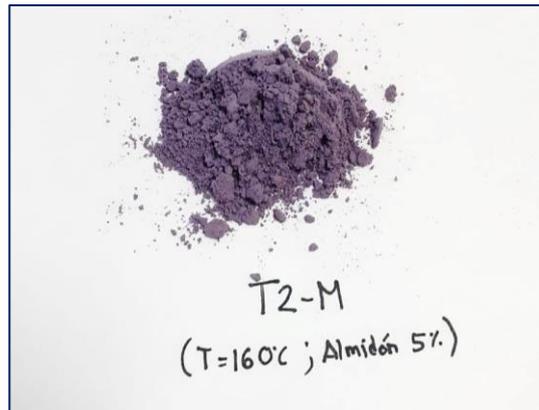
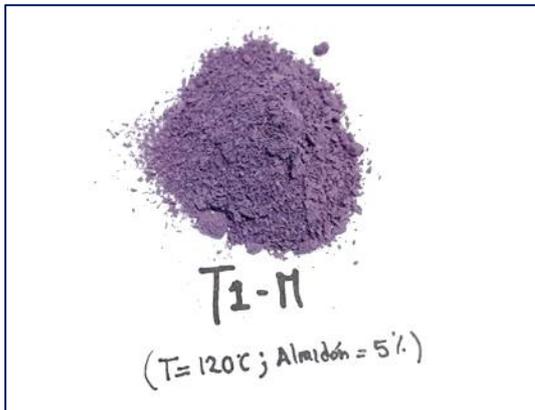
**Anexo 11. Imágenes de la extracción de las antocianinas de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)**



Anexo 12. Imágenes referentes a la microencapsulación de antocianinas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)



### Anexo 13. Imágenes de los microencapsulados de antocianinas



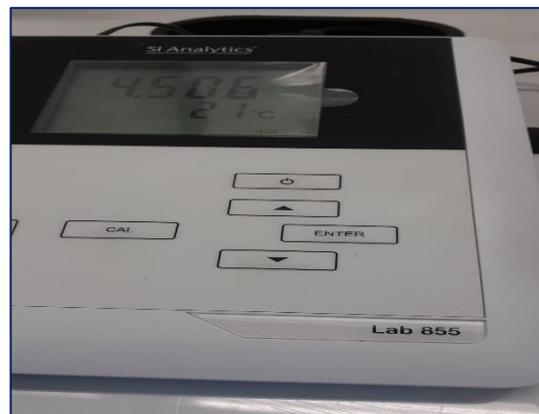
### Anexo 14. Imágenes de la evaluación del color de los microencapsulados



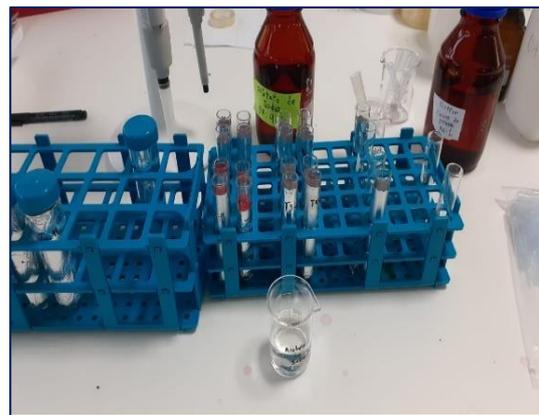
**Anexo 15. Imágenes de la evaluación de la actividad de agua de los microencapsulados**



**Anexo 16. Imágenes de la preparación de soluciones buffer pH 1 y pH 4.5 para la determinación de antocianinas.**

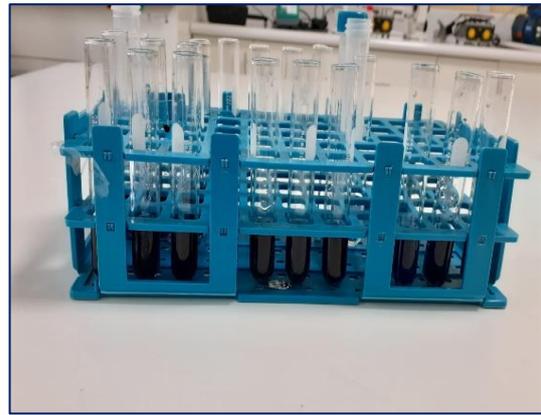


**Anexo 17. Imágenes de la determinación de antocianinas monoméricas de los microencapsulados**





**Anexo 18. Imágenes de la determinación del contenido de fenoles totales de los microencapsulados**



**Anexo 19. Imágenes de la determinación de capacidad antioxidante de los microencapsulados**





## Anexo 20. Microscopio electrónico de barrido (SEM)



## Anexo 21. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
G	¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )?	Evaluar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en la microencapsulación de antocianinas de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).	La temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) mejorarán la microencapsulación de antocianinas de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).	<b>Variables Independiente:</b> • Temperatura de secado.  • Concentración de almidón.	Nivel de temperatura  Porcentaje.	Temperatura 120 y 160°C  Concentración 5 y 10%	Secado por atomización  Equipo atomizador Mini - Spray Dryer
E1	¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en las propiedades físicas de los micro encapsulados?	Determinar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en las propiedades físicas de los micro encapsulados.	La temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) modifican las propiedades físicas de los micro encapsulados de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).	<b>Variables Dependientes:</b> • Propiedades físicas.	Color.  Actividad del agua (a <sub>w</sub> ).  Morfología.	L *a *b  *Medida de a <sub>w</sub>  Espectroscopía	*Colorímetro.  *Medidor a <sub>w</sub> .  Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).
E2	¿Cuál será el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los micro encapsulados?	Determinar el efecto de la temperatura de secado y concentración de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los micro encapsulados	La temperatura de secado y concentración de almidón de quinua confieren mayor duración a los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los micro encapsulados de mashua negra ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).	• Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.	Antocianinas monoméricas.  Fenoles totales.  Capacidad antioxidante.	Antocianinas monomérica en mg c-3-g / g d muestra mg AGE / g de muestra (b.s.). μmol TE / g muestra (b.s.).  Espectro- fotometría  Espectro- fotometría.	Espectro- fotómetro UV- visible.

**Anexo 22.** Ficha técnica de la quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*)



EEA CHUMBIBAMBA

FICHA TÉCNICA		
	Registro de producción	021 - 2021 - MIDAGRI- SENASA - APURIMAC.
	Semilla de: Quinoa	Categoría: registrada
	Variedad: Blanca de Junin	Clase: Certificada
	Fecha de cosecha:	01 de Julio del 2022
Peso de Lote: 320 kg.	: Tratamiento: s/t	
Código de Lote N°	: APU - 09 - 22	
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i>	
Pureza física	: 99.99%	
Aspecto del grano	: Blanco opaco	
Semillas de malezas tolerables/kg	: 0%	
Porcentaje de germinación	: 94%	
Porcentaje de Humedad	: 9.60%	
Condiciones de almacén recomendado	: Ambientes que no excedan los 10°C y 50% de HR.	
Fecha de análisis	: 21/11/2022	
<p>La semilla proviene de campos semilleros controlados por el INIA, garantizado, que la semilla envasada reúne las características indicadas dentro de los límites de tolerancia establecido por ley.</p>		
<p>ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA CHUMBIBAMBA Unidad Vecinal Chumbibamba Distrito Talavera, Provincia, Andahuaylas – Apurímac <a href="http://www.inia.gob.pe">www.inia.gob.pe</a></p>		