

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**"EFECTO DE LA TEMPERATURA, FLUJO MÁSSICO Y CONCENTRACIÓN  
DE AGENTES ENCAPSULANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS,  
FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE ANTOCIANINAS  
MICROENCAPSULADAS DE MASHUA MORADA  
(*Tropaeolum tuberosum*)"**

**Jhaquelin Coyla Tumi  
Luz Gisela Pfuño Medina**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesor: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo**



**JULIACA - PERÚ  
2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**"EFECTO DE LA TEMPERATURA, FLUJO MÁSSICO Y CONCENTRACIÓN  
DE AGENTES ENCAPSULANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS,  
FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE ANTOCIANINAS  
MICROENCAPSULADAS DE MASHUA MORADA  
(*Tropaeolum tuberosum*)"**

**Jhaquelin Coyla Tumi**  
**Luz Gisela Pfuño Medina**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesor: M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo**



**JULIACA - PERÚ**  
**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EFECTO DE LA TEMPERATURA, FLUJO MÁSSICO Y CONCENTRACIÓN  
DE AGENTES ENCAPSULANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS,  
FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE ANTOCIANINAS  
MICROENCAPSULADAS DE MASHUA MORADA  
*(Tropaeolum tuberosum)*”**

Jhaquelin Coyla Tumi

Luz Gisela Pfuño Medina

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesor:** M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

Juliaca, 2025

Coyla, J.y Pfuño, L. (2025). “*Efecto de la temperatura, flujo másico y concentración de agentes encapsulantes sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales de antocianinas microencapsuladas de mashua morada (Tropaeolum tuberosum)*”. [Tesis de pregrado en Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca].  
Juliaca

**AUTOR:** Jhaquelin Coyla Tumi

Luz Gisela Pfuño Medina

**TÍTULO:** “Efecto de la temperatura, flujo másico y concentración de agentes encapsulantes sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales de antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*)”.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2025.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (172 pp.)

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias-  
Universidad Nacional de Juliaca

**CÓDIGO:** 03-000048-03/C85

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo

**PALABRAS CLAVE:** Antocianinas, Capacidad antioxidante, Colorantes alimentarios, DPPH, Microencapsulación.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**

**“EFECTO DE LA TEMPERATURA, FLUJO MÁSIICO Y CONCENTRACIÓN  
DE AGENTES ENCAPSULANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS,  
FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE ANTOCIANINAS  
MICROENCAPSULADAS DE MASHUA MORADA  
(*Tropaeolum tuberosum*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**Presentada por:**

**Jhaquelin Coyla Tumi**

**Luz Gisela Pfuño Medina**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**D.Sc Elizabeth Huanatico Suarez**

**PRESIDENTE DE JURADO**

**M.Sc. Bradley Condori Mamani**

**JURADO (secretario)**

**Mag. Mateo Quispe Capajaña**

**JURADO (Vocal)**



**2° MIEMBRO**



**3° MIEMBRO**



**M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo**  
**ASESOR DE TESIS**

# Jhaquelin Coyla Tumi Luz Gisela Pfuño Medina

## EFECTO DE LA TEMPERATURA FLUJO MASICO Y CONCENTRACION DE AGENTES ENCAPSULANTES SOBRE PRO...

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:587192013

Fecha de entrega

6 may 2026, 1:29 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

6 may 2026, 1:33 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EFECTO DE LA TEMPERATURA, FLUJO MÁSIICO Y CONCENTRACIÓN DE AGENTES ENCAPSULANTES S....pdf

Tamaño del archivo

5.6 MB

194 páginas

47.170 palabras

248.309 caracteres



Firmado digitalmente por HUANCA  
SUAQUITÁ JHON RICHARD  
DNI:40818674  
Motivo: Doy Vº Bº  
Fecha: 08.05.2026 12:29:17 -05:00




## 11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
170 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño, a mis padres, Mario Coyla Choquehuanca y Reina María Tumi Coyla, por acompañarme siempre y apoyarme en cada etapa de mi vida y de mi formación profesional. Gracias por enseñarme a esforzarme por mis objetivos, por animarme en los momentos difíciles y por inculcarme valores importantes como la responsabilidad, el respeto y la perseverancia. Este logro también es de ellos, porque sin su amor, su paciencia y su confianza en mí, no habría podido llegar hasta aquí.

A mis hermanas, Mary Cruz y Lizet Diana, por su gran cariño, por ser una motivación constante para alcanzar mis propósitos y por acompañarme siempre con sus consejos, confianza y compañía.

A mis amigos y compañeros de la universidad, expreso mi agradecimiento por su apoyo y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias, que han enriquecido este proceso académico.

### **Jhaquelin**

A mis padres por su apoyo incondicional y sus consejos.

A mi hermano que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA y a mis docentes por su orientación.

**Luz Gisela**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) y a la Vicepresidencia de Investigación por el financiamiento brindado para la ejecución de nuestro proyecto. Expresamos también nuestro reconocimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias por ser nuestro centro de formación, así como a las autoridades y docentes de esta prestigiosa casa de estudios por su constante apoyo académico.

Manifestamos nuestro profundo agradecimiento a nuestro asesor, M.Sc. Adaliht Jhony Arisaca Parillo, por su invaluable orientación, acompañamiento, transferencia de conocimientos y permanente disposición durante el desarrollo de esta investigación.

Extendemos nuestro sincero agradecimiento a los miembros del jurado de tesis, Dra. Elizabeth Huanatico Suárez, M.Sc. Bradley Condori Mamani y Mag. Mateo Quispe Capajaña, por sus valiosos aportes y sugerencias que contribuyeron al fortalecimiento y mejora de este trabajo.

Finalmente, expresamos nuestro reconocimiento al Ing. Edwin Chila Choque, Ing. Joel Coaquira Quispe, Ing. Wilfredo Molina Quiza e Ing. Andrés Corimayhua Silva, quienes con su apoyo, conocimientos y colaboración hicieron posible la culminación de nuestro proyecto de tesis.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema general.....	2
1.1.2. Planteamiento problema específico.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3

## CAPÍTULO II.

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. MASHUA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).....	8
2.2.1. Clasificación taxonómica.....	9
2.2.2. Características generales y producción de la mashua.....	10
2.2.3. Valor nutricional y composición química de la mashua.....	12

2.2.4.	Usos alimentarios y medicinales de la mahua.....	13
2.4.	PROPIEDADES FUNCIONALES .....	14
2.4.1.	Antocianinas.....	14
2.4.2.	Antioxidantes Naturales .....	17
2.4.3	Antioxidantes Sintéticos.....	17
2.4.4.	Capacidad antioxidante .....	17
2.4.4.1.	Métodos de determinación de la capacidad antioxidante.....	18
2.5.	MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	18
2.5.1.	Método por atomización (Spray dryng) .....	18
2.5.2.	Microencapsulación de antocianinas mediante secado por atomización. ....	19
2.5.3.	Propiedades físicas de los microencapsulados secados por atomización.....	19
2.5.4.	Agentes microencapsulantes .....	20
2.6.	MEDIDA DE COLOR CIELA*B*.....	25

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	27
3.2.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.3.	MATERIALES .....	28
3.3.1.	Materia prima .....	28
3.3.2.	Materiales, equipos y reactivos .....	28
3.4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	30
3.4.1.	Obtención del extracto acuoso de mashua morada. ....	30
3.4.2.	Procedimiento metodológico general.....	31
3.5.	DIAGRAMA EXPERIMENTAL.....	32
3.6.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	35
3.6.1.	Para el objetivo 1.....	35
3.6.2.	Para el objetivo 2. ....	41

3.6.3. Para el objetivo 3.....	44
3.7. HIPÓTESIS.....	45
3.7.1. Hipótesis general.....	45
3.7.2. Hipótesis específicas.....	45

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	46
4.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA.....	46
4.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MICROCÁPSULA DE MASHUA MORADA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ). .....	48
4.3.1 Tiempo de humectabilidad.....	48
4.3.2. Dispersabilidad.....	51
4.3.3. Solubilidad.....	54
4.3.4. Higroscopicidad.....	57
4.3.5. Densidad aparente. ....	59
4.3.6. Rendimiento .....	62
4.3.7. Determinación del color (croma C*).....	65
4.4. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LA MICROCÁPSULA DE MASHUA MORADA ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ). .....	68
4.4.1. Contenido de humedad.....	68
4.4.2. Medida de pH. ....	71
4.4.3. Sólidos solubles (°Brix).....	74
4.4.4. Medición de acidez.....	76
4.5. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES.....	79
4.5.1. Contenido de antocianinas monoméricas. ....	79

4.5.2. Capacidad antioxidante .....	82
4.6. ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO .....	84

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES .....	95
5.2. RECOMENDACIONES.....	97
ANEXOS.....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variedades de la mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ).....	11
Tabla 2: Producción de mashua a nivel nacional 2022. ....	11
Tabla 3: Producción de mashua a nivel provincial de la región Puno 2021-2022. ....	12
Tabla 4: Composición química de la mashua morada (g/100 g). ....	13
Tabla 5: Contenido de antocianinas de tres variedades de Mashua. ....	15
Tabla 6: Actividad antioxidante de tres variedades de mashua. ....	18
Tabla 7: Características fisicoquímicas del extracto acuoso de mashua morada. ....	47
Tabla 8: Resultados de la determinación de la humectabilidad (min) en las microcápsulas .....	49
Tabla 9: Resultados de la dispersabilidad en las microcápsulas. ....	52
Tabla 10: Resultados de la determinación de la solubilidad (%) en las microcápsulas. ....	54
Tabla 11: Resultados de la determinación de la higroscopicidad (%) en las microcápsulas .....	57
Tabla 12: Resultados de la determinación de densidad aparente en las microcápsulas. ....	59
Tabla 13: Resultados del rendimiento de las microcápsulas de mashua morada. ....	62
Tabla 14: Determinación del color de las microcápsulas de mashua morada, expresado en el sistema CIE L*a*b*. ....	65
Tabla 15: Resultados de la determinación de humedad en las microcápsulas de antocianinas.....	68
Tabla 16: Resultados de la determinación del pH en las microcápsulas. ....	71
Tabla 17: Resultados de la determinación de los °Brix en las microcápsulas.....	74
Tabla 18: Resultados de la determinación de acidez en las microcápsulas.....	77
Tabla 19: Resultados del contenido de antocianinas en las microcápsulas.....	79
Tabla 20: Resultados de la capacidad antioxidante en las microcápsulas de mashua morada.....	82
Tabla 21: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura ambiente. ....	85
Tabla 22: Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura ambiente. ....	87
Tabla 23: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura de refrigeración..	89
Tabla 24: Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura de refrigeración..	91
Tabla 25: ANOVA del tiempo de humectabilidad en las microcápsulas de mashua morada.....	133

Tabla 26: Medias para la humectabilidad en las microcápsulas por agentes. ....	133
Tabla 27: Medias y agrupamiento según la prueba de Tukey para la humectabilidad en las microcápsulas. ....	134
Tabla 28: ANOVA del porcentaje de dispersabilidad en las microcápsulas. ....	135
Tabla 29: Medias de la dispersabilidad en las microcápsulas por agentes encapsulantes. ....	135
Tabla 30: Medias y agrupamiento de Tukey de la dispersabilidad en las microcápsulas. ....	136
Tabla 31: ANOVA de la determinación de la solubilidad en las microcápsulas. ....	137
Tabla 32: Medias para la determinación de la solubilidad en las microcápsulas. ....	137
Tabla 33: Medias y agrupamiento de Tukey para la solubilidad en las microcápsulas por agentes. ....	138
Tabla 34: ANOVA de la higroscopicidad en las microcápsulas de la mashua morada. ...	139
Tabla 35: Medias para la higroscopicidad en las microcápsulas por agentes. ....	139
Tabla 36: Medias y agrupamiento de Tukey para la higroscopicidad en las microcápsulas por agentes. ....	140
Tabla 37: ANOVA de la densidad aparente en las microcápsulas de la mashua morada. ....	141
Tabla 38: Medias para la densidad aparente en las microcápsulas por agentes. ....	141
Tabla 39: Medias y agrupamiento de Tukey para la densidad aparente en las microcápsulas. ....	142
Tabla 40: ANOVA del rendimiento en las microcápsulas de la mashua morada. ....	143
Tabla 41: Medias para el rendimiento en las microcápsulas por agentes. ....	143
Tabla 42: Medias y agrupamiento de Tukey para el rendimiento en las microcápsulas por agentes. ....	144
Tabla 43: ANOVA del color (Croma *C) en las microcápsulas de la mashua morada. ...	145
Tabla 44: Medias para el color en las microcápsulas por agentes. ....	145
Tabla 45: Medias y agrupamiento de Tukey para el color (croma C*) en las microcápsulas por agentes. ....	146
Tabla 46: ANOVA de la humedad en las microcápsulas de la mashua morada. ....	147
Tabla 47: Medias para la humedad en las microcápsulas por agentes. ....	147
Tabla 48: Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas por agentes. ....	148
Tabla 49: ANOVA del pH en las microcápsulas de la mashua morada. ....	149
Tabla 50: Medias para el pH en las microcápsulas por agentes. ....	149

Tabla 51: Medias y agrupamiento de Tukey para el pH en las microcápsulas por agentes.....	150
Tabla 52: ANOVA de los sólidos solubles (°Brix) en las microcápsulas. ....	151
Tabla 53: Medias para los sólidos solubles (°Brix) en las microcápsulas por agentes. ....	151
Tabla 54: Medias y agrupamiento de Tukey para los sólidos solubles (°Brix) en las microcápsulas por agentes. ....	152
Tabla 55: ANOVA para la acidez en las microcápsulas de la mashua morada.....	153
Tabla 56: Medias para la acidez en las microcápsulas por agentes.....	153
Tabla 57: Medias y agrupamiento de Tukey para la acidez en las microcápsulas por agentes. ....	154
Tabla 58: ANOVA del contenido de antocianinas en las microcápsulas.....	155
Tabla 59: Medias para el contenido de antocianinas en las microcápsulas por agentes. ..	155
Tabla 60: Medias y agrupamiento de Tukey para las antocianinas en las microcápsulas por agentes. ....	156
Tabla 61: ANOVA para la capacidad antioxidante en las microcápsulas.....	157
Tabla 62: Medias para la capacidad antioxidante en las microcápsulas por agentes. ....	157
Tabla 63: Medias y agrupamiento de Tukey para la capacidad antioxidante en las microcápsulas por agentes. ....	158
Tabla 64: ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 3 semanas de almacenamiento.....	159
Tabla 65: Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento. ....	159
Tabla 66: Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento. ....	160
Tabla 67: ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 6 semanas de almacenamiento. ....	161
Tabla 68: Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.....	161
Tabla 69: Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.....	162
Tabla 70: ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.....	163

Tabla 71: Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento. ....	163
Tabla 72: Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento. ....	164
Tabla 73: ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento. ....	165
Tabla 74: Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento por agentes. ....	165
Tabla 75: Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento. ....	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón (mashua) de piel y pulpa morada. ....	9
Figura 2: Estructura básica de las antocianinas. ....	14
Figura 3: Funciones versátiles de la carragenina como ingrediente. ....	21
Figura 4: Disco de color - Sistema CIELa*b* ....	25
Figura 5: Diagrama de flujo del proceso de microencápsulas de antocianina de mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ). ....	30
Figura 6: Diagrama experimental de la investigación. ....	33
Figura 7: Porcentaje de humectabilidad en las microcápsulas de la mashua morada. ....	50
Figura 8: Tiempo de dispersabilidad en las microcápsulas de la mashua morada. ....	53
Figura 9: Porcentaje de solubilidad en las microcápsulas de la mashua morada. ....	55
Figura 10: Porcentaje de higroscopicidad en las microcápsulas de la mashua morada. ....	58
Figura 11: Porcentaje de la densidad aparente en las microcápsulas. ....	60
Figura 12: Porcentaje de rendimiento en las microcápsulas. ....	63
Figura 13: Determinación de color croma (C*) de las microcápsulas. ....	66
Figura 14: Valor obtenido de humedad de las microcápsulas de la mashua morada. ....	69
Figura 15: Porcentaje del pH de las microcápsulas de la mashua morada. ....	72
Figura 16: Porcentaje de sólidos solubles de las microcápsulas de la mashua morada. ....	75
Figura 17: Acidez de las microcápsulas de la mashua morada. ....	78
Figura 18: Contenido de antocianinas de las microcápsulas de la mashua morada. ....	80
Figura 19: Contenido de capacidad antioxidante de las microcápsulas de la mashua. ....	83
Figura 20: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura ambiente. ....	86
Figura 21: Humedad (%) en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura ambiente. ...	88
Figura 22: Humedad (%) en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura de refrigeración. ....	90
Figura 23: Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura de refrigeración. ....	92
Figura 24: Medias con desviación estándar de la humectabilidad en las microcápsulas ..	133
Figura 25: Medias por tratamiento y agrupamiento de la humectabilidad en las microcápsulas. ....	135
Figura 26: Medias por tratamiento con desviación estándar de la dispersabilidad en las microcápsulas. ....	136

Figura 27: Medias por tratamiento y agrupamiento de la dispersabilidad en las microcápsulas.....	137
Figura 28: Medias por tratamiento con desviación estándar de la solubilidad en las microcápsulas.....	138
Figura 29: Medias por tratamiento y agrupamiento de la solubilidad en las microcápsulas.....	139
Figura 30: Medias por tratamiento con desviación estándar de la higroscopicidad en las microcápsulas. ....	140
Figura 31: Medias por tratamiento y agrupamiento de la higroscopicidad en las microcápsulas de mashua morada.....	141
Figura 32: Medias con desviación estándar para la densidad aparente en las microcápsulas.....	142
Figura 33: Medias por tratamiento y agrupamiento de la densidad aparente en las microcápsulas.....	143
Figura 34: Medias con desviación estándar para el rendimiento en las microcápsulas. ...	144
Figura 35: Medias por tratamiento y agrupamiento del rendimiento en las microcápsulas de mashua morada.....	145
Figura 36: Medias por tratamiento con desviación estándar para el color (croma C*) en las microcápsulas. ....	146
Figura 37: Medias por tratamiento y agrupamiento del color (croma C*) en las microcápsulas.....	147
Figura 38: Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad de las microcápsulas.....	148
Figura 39: Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas.....	149
Figura 40: Medias por tratamiento con desviación estándar para el pH de las microcápsulas.....	150
Figura 41: Medias por tratamiento y agrupamiento para el pH en las microcápsulas.....	151
Figura 42: Medias por tratamiento con desviación estándar para los sólidos solubles (°Brix) de las microcápsulas. ....	152
Figura 43: Medias por tratamiento y agrupamiento para los sólidos soluble (°brix) en las microcápsulas de mashua morada. ....	153

Figura 44: Medias por tratamiento con desviación estándar para la acidez de las microcápsulas. ....	154
Figura 45: Medias por tratamiento y agrupamiento para la acidez en las microcápsulas.....	155
Figura 46: Medias por tratamiento con desviación estándar para las antocianinas de las microcápsulas. ....	156
Figura 47: Medias por tratamiento y agrupamiento para las antocianinas en las microcápsulas. ....	157
Figura 48: Medias por tratamiento con desviación estándar para la capacidad antioxidante de las microcápsulas de mashua morada.....	158
Figura 49: Medias por tratamiento y agrupamiento para la capacidad antioxidante en las microcápsulas. ....	159
Figura 50: Medias con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento. ....	160
Figura 51: Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento. ....	161
Figura 52: Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 6 semanas de almacenamiento. ....	162
Figura 53: Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento. ....	163
Figura 54: Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración tras 3 semanas de almacenamiento. ....	164
Figura 55: Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento. ....	165
Figura 56: Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento. ....	166
Figura 57: Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración tras 6 semanas de almacenamiento. ....	167

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados de antocianinas monoméricas (25 % flujo másico).....	124
Anexo 2: Resultados de la determinación de la capacidad antioxidante (fm: 25%). .....	125
Anexo 3: Resultados de la determinación de antocianinas monoméricas (fm:35 %) .....	126
Anexo 4: Resultados de la determinación de la capacidad antioxidante (fm: 35 %). .....	128
Anexo 5: Panel fotográfico del proyecto de investigación.....	130
Anexo 6: Datos estadísticos de ANOVA del tiempo de humectabilidad.....	133
Anexo 7: Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de dispersabilidad.....	135
Anexo 8: Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de solubilidad.....	137
Anexo 9: Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de higroscopicidad.....	139
Anexo 10: Datos estadísticos de ANOVA de la densidad aparente.....	141
Anexo 11: Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de rendimiento.....	143
Anexo 12: Datos estadísticos de ANOVA del color (Croma *C).....	145
Anexo 13: Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de humedad.....	147
Anexo 14: Datos estadísticos ANOVA del pH.....	149
Anexo 15: Datos estadísticos ANOVA de los sólidos solubles (°Brix).....	151
Anexo 16: Datos estadísticos ANOVA de acidez.....	153
Anexo 17: Datos estadísticos ANOVA del contenido de antocianinas.....	155
Anexo 18: Datos estadísticos ANOVA de la capacidad antioxidante.....	157
Anexo 19: Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura ambiente después de 3 semanas de almacenamiento.....	159
Anexo 20: Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.....	161
Anexo 21: Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura de refrigeración despues de 3 semanas de almacenamiento.....	163
Anexo 22: Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento.....	165
Anexo 23: Determinación de color de las microcápsulas de antocianinas.....	168

## RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la temperatura de secado (110, 120 y 130 °C), el flujo másico (25 % y 35 %) y la concentración de agentes encapsulantes (carragenina: 0.9 % y 1.5 %; goma guar: 0.2 % y 0.4 %) sobre las propiedades de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*). Los resultados indicaron que la mejor humectabilidad se obtuvo a 130 °C con 0.9 % de carragenina, la mayor dispersabilidad (90.747 %) a 110 °C con 0.4 % de goma guar y la máxima solubilidad (99.510 %) a 120 °C con 0.9 % de carragenina. La higroscopicidad fue de 29.726 %, la densidad aparente de 0.442 g/mL y el rendimiento bajo (10.319 %) debido a la alta viscosidad del extracto. Se observó un color intenso ( $C^* = 38.160$ ), bajo contenido de humedad a 130 °C con 1.5 % de carragenina, pH de 5.38 y sólidos solubles de 1.303 °Brix, mientras que la baja acidez titulable contribuyó a la estabilidad de las antocianinas. El mayor contenido de antocianinas (23.280 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/g) se logró a 110 °C, 25 % de flujo másico y 0.4 % de carragenina, y la capacidad antioxidante más alta (90.760) a 110 °C con 0.2 % de goma guar, evidenciando una adecuada conservación de compuestos bioactivos. Durante seis semanas de almacenamiento en refrigeración, las microcápsulas mantuvieron una humedad estable, lo que confirma su buena estabilidad. En conclusión, las condiciones óptimas fueron 120 °C, 25 % de flujo másico y 0.9 % de carragenina, permitiendo obtener un polvo con buena solubilidad, color intenso, baja humedad y potencial aplicación en alimentos funcionales.

**Palabras clave:** Antocianinas, capacidad antioxidante, colorantes alimentarios, DPPH, microencapsulación.

## ABSTRACT

The study evaluated the effect of drying temperature (110, 120, and 130 °C), mass flow rate (25% and 35%), and the concentration of encapsulating agents (carrageenan: 0.9% and 1.5%; guar gum: 0.2% and 0.4%) on the properties of microencapsulated anthocyanins from purple mashua (*Tropaeolum tuberosum*). The results showed that the best wettability was obtained at 130 °C with 0.9% carrageenan, the highest dispersibility (90.747%) at 110 °C with 0.4% guar gum, and the maximum solubility (99.510%) at 120 °C with 0.9% carrageenan. Hygroscopicity was 29.726%, bulk density was 0.442 g/mL, and yield was relatively low (10.319%) due to the high viscosity of the extract. A high color intensity ( $C^* = 38.160$ ) was observed, along with the lowest moisture content at 130 °C with 1.5% carrageenan, a pH of 5.38, and soluble solids of 1.303 °Brix, while low titratable acidity contributed to anthocyanin stability during drying. The highest anthocyanin content (23.280 mg cyanidin-3-glucoside equivalents/g) was achieved at 110 °C, 25% mass flow rate, and 0.4% carrageenan, while the highest antioxidant capacity (90.760) was obtained at 110 °C with 0.2% guar gum, indicating good preservation of bioactive compounds. During six weeks of refrigerated storage, the microcapsules maintained stable moisture content, confirming good stability. In conclusion, the optimal conditions were 120 °C, 25% mass flow rate, and 0.9% carrageenan, producing a powder with high solubility, intense color, low moisture content, and potential application in functional foods.

**Keywords:** Anthocyanins, antioxidant capacity, food colorings, DPPH, microencapsulation.

## INTRODUCCIÓN

Las antocianinas, una categoría de compuestos fenólicos, son uno de los pigmentos solubles en agua más importantes en la naturaleza (Cavalcanti, Santos y Meireles, 2011). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas con diversa estructura, peso molecular, propiedades físicas, químicas y biológicas (Ataie *et al.*, 2008; Daneshzad *et al.* 2018; Duthie *et al.*, 2006). Se encuentran ampliamente en la savia celular de las flores, frutos, tallos, hojas y raíces de las plantas, y son responsables de la coloración roja, púrpura y azul de frutos y flores (Marathe *et al.*, 2021; Qin *et al.*, 2021; Chorfa, Savard y Belkacemi, 2016).

En la industria alimentaria, las antocianinas se utilizan como colorantes naturales en productos como repostería, golosinas, bebidas, gelatinas y postres etc. (Boldt, Meyer, y Erwin, 2014; Cazzonelli 2011; Novais *et al.*, 2022). Además, el Reglamento (UE) n.º 231/2012 estableció especificaciones para aditivos alimentarios, incluida la antocianina, con el código E-163 (Comisión Europea 2012). Esta aplicación se ve respaldada por la creciente demanda de colorantes naturales como alternativa a los sintéticos (Nayak y Rastogi, 2010; Delgado, Jimenez ; Paredes 2000 y Johnson 2002).

Además de su uso como pigmento, las antocianinas han demostrado poseer varios efectos terapéuticos potenciales, incluyendo actividad antidiabética (Wang *et al.*, 2021), anticancerígena, especialmente contra el cáncer de colon (Yu *et al.*, 2021; Jokioja *et al.*, 2020), así como efectos beneficiosos en enfermedades cardiovasculares (Kruger *et al.*, 2014) y anti ateroscleróticas (García y Blesso, 2021). Además, estudios recientes también sugieren que las antocianinas ser un potencial suplemento dietético para prevenir enfermedades neurodegenerativas (Li *et al.*, 2021).

Sin embargo, la principal limitación para su uso generalizado es la relativa inestabilidad de las antocianinas, lo que limita sus aplicaciones, especialmente en comparación con los colorantes sintéticos, que presentan una mayor estabilidad (Zeng *et al.*, 2018; Carocho *et al.*, 2014; Cortez *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2016 y Phan *et al.*, 2020). Los factores que causan inestabilidad incluyen el tipo y concentración del disolvente de extracción, la temperatura, el oxígeno, las enzimas, la luz (UV-visible), el pH, el ácido ascórbico y otras sustancias, como los copigmentos e iones metálicos (Echegaray *et al.*, 2022 ; Weber y Larsen 2017; Contreras-Lopez *et al.*, 2014 ; Yoshida *et al.* 2006; Quagliari *et al.*, 2017). Dado que son compuestos biológicamente activos y altamente sensibles, se requiere

su protección mediante técnicas adecuadas, como la microencapsulación, con el fin de prolongar su estabilidad y vida útil (Ying-Jie *et al.*, 2018).

La microencapsulación se define como un proceso mediante el cual diminutas partículas son recubiertas por una capa protectora para formar microcápsula (Jafari *et al.*, 2008). Es una estrategia eficaz para proteger las antocianinas frente a condiciones ambientales desfavorables, mejorar su estabilidad, controlar su liberación, aumentar su bioaccesibilidad y facilitar su manejo y almacenamiento (Mohammadalinejad y Kurek, 2021). Esta técnica consiste en encapsular un compuesto bioactivo mediante un sistema de pared a base de biopolímeros, que actúa como barrera protectora contra el oxígeno, el agua u otras condiciones, con el mejorar su estabilidad y controlar sus interacciones con otros componentes de los alimentos, así como su liberación en un lugar y/o momento específico (Desai y Park 2005; Saénz *et al.*, 2009; Zheng *et al.*, 2011). En particular, el secado por atomización es una operación unitaria ampliamente utilizada para microencapsular compuestos sensibles, en la cual un producto líquido se pulveriza en una corriente de gas caliente, formando instantáneamente un polvo estable (Osorio *et al.*, 2010).

Las propiedades físicas de los micro encapsulados, resultan fundamentales para el diseño y control de las operaciones de procesamiento, manipulación y control de calidad del producto (Martinelli, Gabas, y Telis-Romero, 2007). Por otro lado, la selección de un agente encapsulante adecuado es crucial para garantizar la estabilidad de los extractos ricos en polifenoles, considerando las elevadas temperaturas experimentadas durante el proceso de secado (Rehman *et al.*, 2024). Diversos agentes encapsulantes utilizados incluyen gomas, polisacáridos, lípidos, proteínas, fibras y/o sus mezclas sinérgicas (Minemoto *et al.*, 2002; True y Wallick, 2012).

La mashua (*tropaeolum tuberosum*), un tubérculo andino tradicional, es una fuente rica en antocianinas, lo que lo convierte en un alimento de gran potencial funcional debido a su contenido de compuestos bioactivos (Grau *et al.*, 2003). La mashua morada presenta una alta actividad antioxidante, siendo comparado con la del arándano, reconocido por su elevado contenido de flavonoides y polifenoles. Además, se ha reportado que la mashua negra y morada posee una capacidad antioxidante hasta diez veces mayor que los genotipos amarillos (Chirinos *et al.*, 2007a). No obstante, para aprovechar plenamente sus propiedades, es necesario estabilizar las antocianinas mediante procesos adecuados de microencapsulación (Saénz *et al.*, 2009).

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo principal, determinar el efecto de la temperatura, el flujo másico y la influencia de los agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, funcionales y la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) mediante secado por atomización.

Asimismo, se busca proteger los compuestos bioactivos mediante el uso de los agentes encapsulantes frente a diferentes factores que afectan su vida útil, con el fin de mantener su estabilidad y viabilidad en el tiempo. De esta manera, se espera desarrollar una alternativa viable para su aplicación industrial en alimentos funcionales, como jugos, bebidas y otros productos, aportando beneficios a la salud del consumidor.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los alimentos además de aportar nutrientes, contienen una serie de sustancias no nutritivas que intervienen en el metabolismo secundario de los vegetales: colorantes (pigmentos), sustancias aromáticas, etc. que no tienen una función nutricional definida, o no son considerados esenciales para la salud humana (Lutz, 2013).

La mashua es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca; la cual presenta un alto contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Tiene presencia de antocianinas, pigmento que tiene efectos terapéuticos y beneficiosos, así como efectos anticancerígenos (Ríos, 2004).

Drago, López, y Sainz (2006), afirman que los antioxidantes, son un grupo amplio de compuestos como vitaminas, compuestos fenólicos, minerales, colorantes naturales y enzimas. Entre los antioxidantes por excelencia encontramos al  $\beta$ -caroteno, la vitamina C, la vitamina E, y el selenio (Pokorny, 2001).

Las antocianinas (AC), son un tipo de compuestos fenólicos, están presentes en el reino vegetal. Cai y Corke (2000), mencionan que las antocianinas son pigmentos hidrosolubles a base de polifenoles que absorben la luz cerca de 500 nm y contribuyen a los colores púrpura, rosa, rojo, azul, negro y naranja de los tubérculos, granos cereales, verduras y frutas. Además, los colorantes naturales, en el ámbito alimentario son ideales como alternativa potencial a los colorantes sintéticos (Delgado, Jimenez, y Paredes 2000).

Las antocianinas se ven fácilmente afectadas por las condiciones ambientales como el pH, luz, temperatura de almacenamiento, estructura química, concentración, oxígeno, solventes, presencia de enzimas, entre otros se degradan en un 30% bajo la influencia del sol, pero después de un tratamiento a 70°C durante 30 minutos, solo quedan un 29.1%. Por lo cual las antocianinas micro encapsuladas tienen mayor estabilidad de almacenamiento. En ese sentido, resulta fundamental determinar las condiciones de secado por atomización y las

concentraciones de los agentes encapsulantes en las propiedades físicas, fisicoquímicas, funcionales y estabilidad de las antocianinas de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) que contienen cantidades significativas de fitoquímicos bioactivos como la antocianina, pueden ser beneficiosos para la salud deseables más allá de la nutrición básica para reducir el riesgo de enfermedades (Kruger *et al.*, 2014).

A raíz de esta problemática surge las siguientes interrogantes.

### **1.1.1 Planteamiento del problema general**

- ¿Cuál será el efecto de la temperatura, flujo másico y la influencia de los agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) en las propiedades físicas, fisicoquímicas, funcionales y estabilidad en la microencapsulación de antocianinas de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), secado por atomización?

### **1.1.2 Planteamiento problema específico**

- ¿Cuál será el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización en las propiedades físicas y fisicoquímicas de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*)?
- ¿Cuál será el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización en las propiedades funcionales de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*)?
- ¿Qué efecto tienen las temperaturas de ambiente y refrigeración, evaluadas mediante la humedad, sobre la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas obtenidas a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*)?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la temperatura, flujo másico y la influencia de los agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) en las propiedades físicas, fisicoquímicas, funcionales y la estabilidad de antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), en el secado por atomización.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización en las propiedades físicas y fisicoquímicas de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).
- Evaluar el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización sobre las propiedades funcionales de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).
- Evaluar la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas obtenidas a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la humedad a temperaturas de ambiente y refrigeración.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Perú es un país rico en biodiversidad que ofrece valiosos recursos vegetales, sin embargo, la falta de conocimiento y difusión sobre sus beneficios ha limitado su producción en distintas zonas. La mashua morada (*tropaeolum tuberosum*), a pesar de poseer propiedades benéficas para la salud, ser tolerante a enfermedades y plagas, presentar buen rendimiento y requerir bajos insumos para su cultivo, aún no cuenta con una demanda significativa en el mercado.

Entre sus genotipos pigmentados, la mashua contiene una alta concentración de colorantes naturales y compuestos polifenólicos con propiedades antioxidantes, que pueden tener efectos anticancerígenos, ayuda a prevenir el envejecimiento y el estrés oxidativo celular, mejorar la agudeza visual y proteger el sistema cardiovascular (Arteaga-Cano *et al.*, 2022)

Diversos estudios indican que los genotipos morados de la mashua (*tropaeolum tuberosum*) presentan una capacidad antioxidante hasta diez veces mayor que los genotipos amarillos. Además, se ha demostrado que los extractos de mashua inducen una supresión dependiente

de la concentración en la proliferación de células de carcinoma de la próstata humana DU145, células adenoma de colon Caco -2 humanas y células de melanoma murino B16F10 (Chirinos *et al.*, 2007b). Estas propiedades promotoras de la salud podrían estar asociadas con la presencia de glucosinolatos y los compuestos fenólicos en el tubérculo (Cai *et al.*, 2022).

Las antocianinas son un grupo de pigmentos naturales cuya importancia en la industria alimentaria radica en la capacidad para proporcionar colores naturales y atractivos, actuando como sustitutos de colorantes artificiales. Además, poseen un potencial beneficio para la salud debido a sus propiedades antioxidantes. La modificación y la encapsulación de las antocianinas son procesos esenciales para mejorar su estabilidad y conservar sus características funcionales. En ese sentido, la microencapsulación se utiliza para proteger y prolongar la actividad biológica de estas sustancias, permitiendo una liberación controlada y asegurando la conservación de sus propiedades funcionales durante un período más prologando (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009; Giusti y Wrolstad, 2003).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### **Internacionales**

Kanha *et al.*, (2020) realizaron un estudio enfocado en la microencapsulación de un extracto de arroz negro rico en antocianinas (ATC) y antocianinas copigmentadas (ATC-CTC), mediante los métodos de emulsión doble y coacervación compleja utilizando diferentes emulsionantes hidrófilos: gelatina-goma de acacia (GE-AG) y quitosano-carboximetilcelulosa (CS-CMC). Se prepararon cuatro variedades de microcápsulas liofilizadas (GE-AG/ATC, GE-AG/ATC-CTC, CS-CMC/ATC y CS-CMC/ATC-CTC).

Los investigadores evaluaron la morfología, el desempeño de la microencapsulación y las propiedades físico-químicas de las microcápsulas. Las emulsiones dobles coacervadas complejas elaboradas con GE-AG y CS-CMC mostraron estructuras con núcleos simples y múltiples, respectivamente. La formulación GE-AG/ATC-CTC presentó las mejores características químicas, con un alto contenido de antocianinas (0.76 g/100 g de peso seco) y una capacidad antioxidante elevada (5.8 µg de Trolox/100 g de peso seco), medida mediante la eliminación del radical catión ABTS.

Las interacciones electrostáticas entre las aminas protonadas y el carboxilato del emulsionante hidrófilo fueron confirmadas por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Asimismo, los espectros de difracción de rayos X evidenciaron una estructura amorfa en las microcápsulas. Durante el almacenamiento, la formulación CS-CMC/ATC-CTC mantuvo el mayor contenido de antocianinas y presentó los índices de vida media más altos (150 días).

Álvarez *et al.*, (2019), realizaron una investigación sobre el uso de antocianina microencapsulada obtenida de col morada en bebidas lácteas fermentadas. En este estudio se establecieron las condiciones de extracción y microencapsulación de las antocianinas de

*Brassica oleracea*, así como la estabilidad del pigmento natural incorporado en una bebida láctea fermentada. Para la inactivación de enzimas en las hojas de col morada (*Brassica oleracea L. ssp. capitata f. rubra*), se aplicó el escaldado. La extracción de compuestos bioactivos se realizó mediante tecnologías ecológicas (microondas), concentrando la solución de antocianinas y mezclándola con componentes de pared como la maltodextrina, inulina y goma arábiga, con el objetivo de microencapsular y posteriormente añadirla a la bebida fermentada. La estabilidad del color se evaluó durante ocho días, observándose que la variación cromática ( $\Delta E$ ) era levemente perceptible al ojo humano. El contenido de antocianinas alcanzó los 199 mg/L en una solución de agua y alcohol etílico al 2 %, empleando una potencia de 880 W durante 90 segundos. El rendimiento de secado máximo obtenido fue de 58.9 %.

Laokuldilok y Kanha (2015), realizaron un estudio en el que examinaron los efectos de las condiciones de procesamiento sobre las características del polvo de antocianinas derivadas del salvado de arroz glutinoso negro (*Oryza sativa L.*), obtenido mediante secado por aspersión y liofilización. En este proceso, el arroz glutinoso negro (BGR) fue procesado y su salvado recolectado para la extracción de antocianinas. El arroz partido se transformó enzimáticamente en maltodextrinas de arroz glutinoso negro (BRM) con diferentes equivalentes de dextrosa (DE): DE10 (BRM10), DE20 (BRM20) y DE30 (BRM30). Durante los procesos de microencapsulación, los BRM se emplearon como materiales de pared. Las muestras fueron secadas por aspersión a tres temperaturas de entrada de aire (140 °C, 160 °C y 180 °C) y liofilizadas a -45 °C. Se evaluaron el rendimiento del proceso, la retención de antocianinas y las propiedades físicas del polvo. Los resultados mostraron que un aumento en la temperatura del aire de entrada redujo la densidad aparente y la retención de antocianinas. Asimismo, el incremento de temperatura mejoró la deshidratación, el rendimiento del proceso, la solubilidad, la dispersabilidad, la fluidez y la uniformidad superficial de las partículas

Arazola *et al.*, (2014), realizaron una investigación en la que se obtuvieron antocianinas a partir de la cáscara de berenjena (*Solanum melongena L.*), utilizando diversas concentraciones de etanol acidificado al 1%. Los extractos de antocianinas fueron microencapsulados para analizar el impacto de las condiciones de secado por aspersión en sus características fisicoquímicas. Se evaluaron la temperatura de entrada del aire (170 y 180 °C) y la concentración de maltodextrina (15, 20 y 30%). Así mismo, se determinaron el contenido de antocianinas, parámetros cromáticos, humedad, actividad antioxidante,

higroscopicidad, solubilidad, densidad y micromorfología mediante microscopía electrónica de barrido. La mayor concentración de antocianinas obtenida de la cáscara de berenjena (115 mg/100 g) se alcanzó con un etanol al 53%, durante 3 horas y a una temperatura de 29 °C. Además, se observó un efecto estadísticamente significativo de la temperatura y del porcentaje de maltodextrina utilizados durante la microencapsulación por secado por aspersión ( $p < 0.05$ ) sobre la mayoría de las características fisicoquímicas de los extractos.

Tonon *et al.*, (2010), analizaron la estabilidad de las antocianinas y el efecto antioxidante del zumo de açaí en polvo durante un período de 120 días. Los polvos se elaboraron mediante secado por aspersión, utilizando agentes transportadores: maltodextrina 10DE, maltodextrina 20DE, goma arábiga y almidón de tapioca. Las muestras se almacenaron a diferentes temperaturas (25 °C y 35 °C) y actividades de agua (0.328 y 0.529), con el objetivo de evaluar el impacto de estas condiciones en la degradación de las antocianinas y la reducción de la actividad antioxidante. El proceso de degradación mostró dos fases principales: la primera con una velocidad de reacción constante hasta los 45–60 días, y una segunda con una tasa de degradación más lenta. Tanto la temperatura como la actividad del agua afectaron negativamente la estabilidad de las antocianinas. Asimismo, la actividad antioxidante disminuyó al aumentar la actividad del agua, aunque fue mayor en los polvos conservados a 35 °C. Entre los agentes portadores, la maltodextrina 10DE ofreció la mejor protección del pigmento y mantuvo la mayor actividad antioxidante en todas las condiciones evaluadas.

### **Nacionales**

Arteaga y Arteaga (2016), realizaron una investigación con el propósito de mejorar la capacidad antioxidante (CAx), el contenido de antocianinas (CA) y la capacidad de rehidratación (CR) del polvo microencapsulado de arándano, utilizando una combinación de hidrocoloides como goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado. Se empleó arándano de la variedad Biloxi madura para la extracción del zumo, elaborándose soluciones con una composición del 85% de zumo y 15% de mezclas de los hidrocoloides en distintas proporciones, según un diseño simplex con centroide expandido. La microencapsulación se realizó mediante secado por atomización a 120 °C, obteniéndose el polvo de arándano microencapsulado, al cual se determinaron la CAx, CA y CR. Se efectuó un análisis de varianza (ANVA) para los modelos de regresión, seleccionándose aquel con significancia estadística ( $p < 0,05$ ) y buen ajuste ( $R^2 > 0,7$ ). El modelo especial cúbico resultó significativo

( $p < 0,03$ ) y con un ajuste adecuado ( $R^2 > 0,9$ ). De dicho modelo se obtuvieron los valores óptimos que maximizan la CAx (52,7% de inhibición) y la CA (81,56 mg de cianidina-3-glucósido/100 g), correspondientes a las siguientes proporciones: maltodextrina (11,89%), almidón modificado (12,13%) y goma arábica (75,98%). No obstante, las proporciones empleadas no mostraron un efecto significativo en la CR.

Velásquez (2019), realizó una investigación sobre la microencapsulación del extracto de mashua morada utilizando almidones de tubérculos modificados con anhídrido octenil succínico (OSA). El propósito del estudio fue mejorar las condiciones de secado por atomización de los extractos fenólicos de mashua morada microencapsulados con almidones modificados. Se obtuvieron extractos de mashua morada que fueron secados mediante atomización usando almidones autóctonos y OSA provenientes de oca amarilla, oca rosada y olluco amarillo (a 140 °C y con una concentración de 4% de almidón). Los polvos resultantes se evaluaron considerando la eficacia de encapsulación de antocianinas (EE), el contenido total de fenoles y la capacidad antioxidante, con el fin de determinar el almidón más adecuado para la optimización del proceso. El almidón de oca rosada OSA fue seleccionado por presentar la mayor eficacia de encapsulación. Las condiciones óptimas de secado se establecieron mediante un diseño central compuesto rotatorio (CCDR) y la metodología de superficie de respuesta, considerando como variables la proporción de encapsulante (2–12%) y la temperatura de entrada del aire de secado (IDT, 120–160 °C). El secado por pulverización optimizado se realizó a 160 °C (IDT) y con un 2% de encapsulante, logrando incrementar la eficacia de encapsulación, el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante y la solubilidad, además de reducir la actividad de agua y la higroscopicidad del polvo. En conclusión, el almidón de oca rosada OSA podría emplearse como encapsulante efectivo para extractos fenólicos, debido a su capacidad para producir polvos con alta actividad antioxidante.

## **2.2 MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)**

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), también conocida como “añu”, “isaño” o “cubio”, es un tubérculo andino que ha sido cultivado durante siglos en Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela y Colombia (Chirinos *et al.*, 2008). Según Manrique *et al.*, (2013), forma parte del grupo de cultivos comestibles autóctonos de las zonas andinas del Perú y se extiende también a países como Bolivia, Colombia y Ecuador.

En el Perú, se han registrado más de 100 variedades de este producto en las regiones de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Puno y Junín (Gallardo, 2017). Este tubérculo,

destaca por su alto rendimiento, crece a alturas de 3000 a 3900 msnm, alcanzando su mejor producción entre 3500 y 3800 msnm. Es considerado uno de los tubérculos más importantes después de la papa, ya que puede ser cultivada en suelos pobres y sin fertilizantes (Cuya, 2009).

### 2.2.1. Clasificación taxonómica.

Según Hernández, (1992), la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

División: Espermatofila

Clase: Dicotiledónea

Orden: Geraniales

Familia: Tropaeolaceae

Género: *Tropaeolum*

Especie: (*Tropaeolum tuberosum*)

Sub especie: *Tuberosum*

FUENTE: (Hernández, 1992).



**Figura 1: *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón (mashua) de piel y pulpa morada.**

FUENTE: Inostroza *et al.*, (2015).

### **2.2.2. Características generales y producción de la mashua.**

La planta presenta un crecimiento erecto en su fase inicial y una forma semi postrada en su madurez. Sus hojas son ovaladas, de color verde con puntas rojas, y los tallos aéreos son cilíndricos, con múltiples ramificaciones y de color púrpura claro. En su madurez, desarrolla tallos postrados con follaje compacto. La cara superior de las hojas es de un verde mate, mientras que la inferior muestra un verde más claro. Las flores, generalmente solitarias, presentan colores anaranjados o rojizos y son polinizadas por insectos y aves. Miden entre 5 y 15 cm de largo y pueden tener tres, cuatro o cinco lóbulos. Los tubérculos poseen yemas alargadas y profundas, con formas cónicas o elipsoidales. A diferencia de la oca y el olluco, la mashua tiende a formar una gran cantidad de semillas viables (Hernández, 1992).

Según su coloración se pueden clasificar en:

- Color uniforme generalmente blanco, amarillo o anaranjado.
- Con pigmentos de antocianina ubicados sólo en las yemas.
- Tubérculos muy coloreados en las yemas con antocianinas.
- Con yemas pigmentadas y con franjas longitudinales rojas o moradas (Hernández, 1992).

#### **a. Variedades nativas**

La diversidad de la mashua es menor que la de la oca y la del olluco, sin embargo, se ha encontrado variación en el color de tubérculos, formas, características de yemas y coloración de la pulpa esta se detalla en la siguiente tabla 1.

- Amarilla: Thayacha (Kkayacha), Zapallo
- Negra: chiara (Tapia-Núñez *et al.*, 2007).

**Tabla 1: Variedades de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).**

<b>Variedad</b>	<b>Color</b>
Occeaño	Plomizo
Yanaaño	Negruzco
Pucaaño	Rojizo
Muruaño	Morado
Muruaño	Gris
Zapallo año	Amarillo
Yuracaño	Blanco

FUENTE: (Barrera, 2003).

#### **b. Producción a nivel nacional y local**

La mashua es un cultivo andino que tiene una producción estable y relevante en el Perú, especialmente en zonas de altura. Su producción se concentra en pocas regiones, pero ha mostrado mejoras tanto en volumen como en rendimiento. Tabla 2 y 3.

**Tabla 2: Producción de mashua a nivel nacional 2022.**

<b>Región</b>	<b>Producción (t)</b>
<b>Nacional</b>	<b>49,914</b>
Amazonas	110
Apurímac	7,840
Ayacucho	10,095
Cusco	14,025
Huancavelica	2,721
Huánuco	2,342
Junín	3,602
La Libertad	86
Moquegua	65
Pasco	20
Puno	9,007

FUENTE: MIDAGRI (2022)

**Tabla 3: Producción de mashua a nivel provincial de la región Puno 2021-2022.**

<b>Provincia</b>	<b>Producción (t)</b>
Azángaro	1,299.80
Carabaya	2,582.80
Chucuito	92.00
El Collao	90.40
Huancané	1,169.30
Lampa	624.40
Melgar	428.40
Moho	337.20
Putina	140.90
San Román	393.20
Sandia	434.50
Yunguyo	508.00

FUENTE: GRDA (2022)

### **2.2.3 Valor nutricional y composición química de la mashua**

Este tubérculo presenta un alto contenido de proteínas, superior al de la papa, la oca y el olluco, además de carbohidratos, fibra, ácido ascórbico (vitamina C) y calorías. Contiene también una elevada concentración de glucosinolatos aromáticos, los cuales, al ser hidrolizados, se transforman en isotiocianatos, compuestos responsables del característico sabor picante del tubérculo. Estos isotiocianatos poseen propiedades antibióticas, insecticidas, nematocidas, anticancerígenas y diuréticas (Manrique *et al.*, 2013).

La mashua es uno de los tubérculos con mayor contenido de vitamina C a nivel mundial. En cuanto a su composición de aminoácidos, se destacan la valina (25–46 mg), leucina (35–43 mg), lisina (35–41 mg), isoleucina (25–37 mg), fenilalanina + tirosina (14–37 mg), treonina (22–24 mg), metionina + cistina (12–15 mg) y triptófano (4.7–5.3 mg) (León, 2019). Tabla 4.

**Tabla 4: Composición química de la mashua morada (g/100 g).**

Composición	Unidades	(g/100g de muestra húmeda)	(g/100g de muestra seca)
Humedad	%	87.4	-
Proteínas	g	1.5	9.17
Grasa	g	0.7	-
Carbohidratos	g	9.8	75.4
Fibra	g	0.9	5.86
Ceniza	g	0.6	4.81
Calcio	mg	12	6
Fosforo	mg	29	320
Hierro	mg	1	4.2
Tiamina	mg	0.1	0
Riboflavina	mg	0.12	-
Antocianinas	mg	58.3	-

FUENTE: Guevara-Freire et al. (2018) ;Chirinos *et al.*, (2008)

#### 2.2.4 Usos alimentarios y medicinales de la mahua

- **Uso en la alimentación**

Puede consumirse fresca en pequeñas cantidades; sin embargo, si se ingiere de manera habitual, debe secarse al sol de uno a tres días o someterse a cocción por algunos minutos. Este proceso reduce la cantidad de isotiocianatos, compuestos responsables del sabor picante de la mashua, que puede resultar desagradable (Moraes *et al.*, 2006).

- **Uso medicinal**

Es ampliamente utilizada en la medicina tradicional debido por sus múltiples beneficios para la salud. Según Leiva-Revilla *et al.*, (2012), su consumo ayuda a aliviar dolores renales y hepáticos, trastornos de la próstata y otras afecciones, debido a la presencia de compuestos biológicos como fenoles, glucosinolatos, isotiocianatos y antocianinas. Por su parte, Chirinos *et al.*, (2015), destacan que los tubérculos de mashua de color púrpura son especialmente ricos en antocianinas y antioxidantes. Asimismo, Vásquez, Gonzáles, y Pino (2012), señalan que este tubérculo se utiliza para combatir la anemia, mejorar la visión, desinflamar la próstata y las vías urinarias, así como para depurar la sangre.

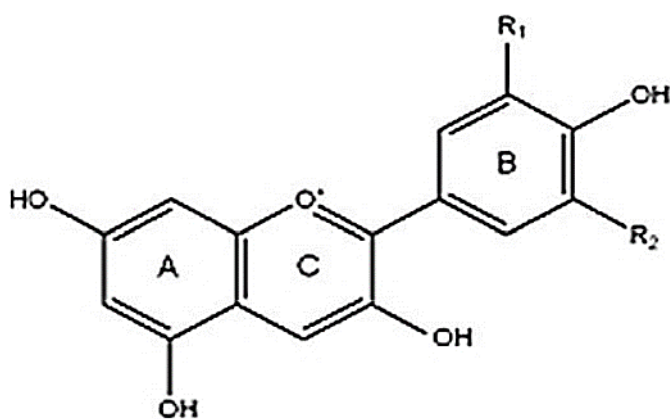
## 2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES

### 2.4.1 Antocianinas

Las antocianinas (del griego *anthos*, flor, y *kyanos*, azul) son consideradas una subclase de flavonoides, también conocidas como flavonoides azules, que se encuentran ampliamente distribuidas en flores, frutas y vegetales. Son compuestos vegetales no nitrogenados pertenecientes a la familia de los flavonoides, uno de los grupos de pigmentos más extendidos en el mundo vegetal (Badui, 2006a). En la tabla 5 se presenta el contenido de antocianinas de tres variedades de Mashua.

Una de las características más importantes de las antocianinas es su función antioxidante, esencial en la prevención de enfermedades cardiovasculares y neuronales. La estructura de las antocianinas depende de diversos factores, como el número, la ubicación y el grado de grupos hidroxilo y metoxilo presentes en la molécula. Además, el tipo, la cantidad y la ubicación de los azúcares unidos, así como la naturaleza y el número de ácidos aromáticos o alifáticos ligados a estos, también influyen en su estructura (Cao *et al.*, 2021).

Las antocianidinas (agliconas) constituyen la estructura básica de las antocianinas. Estas se componen de un anillo aromático (A) unido a un anillo heterocíclico (C) que contiene oxígeno, el cual se enlaza mediante un enlace carbono-carbono a un tercer anillo aromático (B) (Badui, 2006a).



**Figura 2: Estructura básica de las antocianinas.**

FUENTE: Wrolstad, Durst, y Lee, (2005).

**Tabla 5: Contenido de antocianinas de tres variedades de Mashua.**

<b>Variedad</b>	<b>MAP (mg CGE/g DM)</b>
Morada	29,20 - 148,90
Amarilla-morada	0,79 - 0,03
Amarilla	ND

FUENTE: Coloma *et al.*, (2022).

#### **2.4.1.1. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas.**

Las antocianinas presentan ventajas frente a los colorantes artificiales; sin embargo, su incorporación en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos es limitada debido a su baja estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento (Wrolstad *et al.*, 2005).

La degradación de antocianinas ocurre no solo durante la extracción del tejido vegetal, sino también durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos que las contienen, lo que limita su aplicación efectiva en la industria alimentaria (Fennema y Tannenbaum, 2010).

A continuación, se describen algunos factores que afectan la estabilidad de las antocianinas.

- **pH.**

El pH influye directamente en la estructura y estabilidad de las antocianinas. La acidez ejerce un efecto protector sobre la molécula. En soluciones acuosas con valores de pH inferiores a 2, casi el 100% del pigmento se encuentra en su forma más estable, el ión oxonio o catión flavilio (AH<sup>+</sup>), de color rojo intenso. A medida que el pH aumenta, ocurre una pérdida del protón y la adición de agua en la posición 2, generando un equilibrio entre la pseudobase carbinol o hemicetal (B) y la forma chalcona (C), de cadena abierta.

En valores de pH superiores a 7, predominan las formas quinoidales (A, A<sup>-</sup>), de color púrpura, que se degradan rápidamente por oxidación con el aire. Las antocianinas se diferencian de otros subgrupos de flavonoides por presentar una carga estructural positiva en medios ácidos (Villanueva, 2008).

- **Temperatura**

La temperatura es uno de los principales factores que provocan la degradación de antocianinas durante el procesamiento de alimentos. La estabilidad de estas sustancias puede

disminuir durante el procesamiento y almacenamiento, ya que el aumento de la temperatura favorece su degradación (Heras, Alvis, y Arrazola, 2013).

- **Luz**

Las antocianinas son generalmente inestables cuando se exponen a radiación UV, VIS o ionizante. La luz influye en ellas de dos maneras: es esencial para su biosíntesis, pero también acelera su degradación. Se ha comprobado que las antocianinas conservan mejor su color cuando se mantienen en la oscuridad (Alarcon, 2015).

Asimismo, se estudió el efecto de la luz sobre la estabilidad de las antocianinas y se verificó que esta tiene un impacto negativo durante el almacenamiento, especialmente en presencia de azúcar (Amr y Al-Tamimi, 2007).

- **Oxígeno**

La naturaleza insaturada de la estructura de las antocianinas las hace susceptibles a la acción del oxígeno molecular, el cual puede provocar su degradación a través de mecanismos de oxidación directa o indirecta. En este último caso, el oxígeno oxida otros componentes del medio que luego reaccionan con las antocianinas, generando compuestos incoloros o pardos. Por ejemplo, se ha demostrado que la remoción del oxígeno ayuda a protegerlas contra la degradación térmica (Rein, 2005).

- **Enzimas**

Otra causa de degradación de las antocianinas son las reacciones enzimáticas con actividad de  $\beta$ -glucosidasa, las cuales hidrolizan el enlace glucosídico en el átomo de carbono 3, produciendo el correspondiente aglicón. Este compuesto puede participar posteriormente en una serie de reacciones secundarias de degradación, lo que ocasiona la pérdida de intensidad del color debido al descenso de la solubilidad de las antocianinas y su transformación en productos incoloros (Longo y Vasapollo, 2006).

Tradicionalmente, las antocianinas se procesan y almacenan en condiciones oscuras, frescas y anaeróbicas con el fin de reducir su degradación. Sin embargo, durante el procesamiento de alimentos que incluye tratamientos térmicos y fermentación, es inevitable la exposición a condiciones adversas que afectan su estabilidad. Por ello, para ampliar su aplicación en diversos productos alimentarios, la modificación y la encapsulación se consideran estrategias esenciales para mejorar su estabilidad (Cai *et al.*, 2022).

#### **2.4.2. Antioxidantes Naturales**

Las plantas producen una amplia variedad de antioxidantes que protegen contra el daño molecular causado por especies reactivas, por lo que se les atribuyen propiedades preventivas frente a diversas enfermedades.

La mayoría de los antioxidantes naturales son compuestos fenólicos, cuya eficacia depende de la reacción del hidrógeno fenólico con los radicales libres, de la estabilidad de los radicales antioxidantes formados durante dicha reacción y de las sustituciones químicas presentes en su estructura básica, factores que contribuyen a la actividad de los antioxidantes naturales estables. En la actualidad, las investigaciones se centran en el estudio de la actividad antioxidante de fuentes naturales, ya que se ha demostrado que son eficaces y seguras (Reyes, Cardoso y Carrillo, 2011).

#### **2.4.3. Antioxidantes Sintéticos**

Los antioxidantes sintéticos presentan sustituciones alquílicas que mejoran su solubilidad en grasas y aceites. Son estables al calor y se utilizan frecuentemente para estabilizar las grasas en productos cocinados y fritos. Sin embargo, su uso ha sido cuestionado debido a estudios que indican posibles efectos carcinogénicos. Actualmente, el empleo de antioxidantes sintéticos es cada vez más rechazado por los consumidores, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas naturales. Por ello, se desarrollan numerosos estudios para reemplazar los antioxidantes sintéticos por compuestos naturales (Iglesias, 2009).

#### **2.4.4. Capacidad antioxidante**

La actividad antioxidante se define como la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa, actuando principalmente al reaccionar con los radicales libres. Existen antioxidantes naturales presentes en los alimentos y también antioxidantes sintéticos. Los naturales pueden ser hidrosolubles o liposolubles, y su función principal es retrasar los procesos oxidativos, contribuyendo así a prevenir el envejecimiento celular (Magalhães *et al.*, 2008). Se presenta en la tabla 6 la actividad antioxidante de tres variedades de mashua.

**Tabla 6: Actividad antioxidante de tres variedades de mashua.**

<b>Variedad</b>	<b>Mg Trolox Eq. /g</b>
Morada	169,16
Negra	94,80
Amarilla	13,7

FUENTE: Velásquez-Barreto *et al.*, (2020).

#### **2.4.4.1 Métodos de determinación de la capacidad antioxidante**

Entre los métodos más utilizados para la determinación de la capacidad antioxidante (CAOX) se encuentran ABTS y DPPH, los cuales presentan buena estabilidad bajo ciertas condiciones, aunque difieren en algunos aspectos. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS debe generarse mediante una reacción química, generalmente con dióxido de manganeso o persulfato de potasio (Arnao, 2000).

- **Método DPPH**

El método propuesto por Brand-Williams, Cuvelier, y Berset (2007), permite evaluar la actividad de sustancias frente al radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), en una solución metanólica de color violeta intenso que se desvanece progresivamente al añadir una muestra con antioxidantes. La concentración de DPPH en el medio de reacción se calcula a partir de una curva de calibración obtenida por regresión lineal. La actividad antioxidante se determina mediante la disminución de la absorbancia a 517 nm, y la cuantificación se realiza generalmente utilizando soluciones patrón de Trolox.

## **2.5 MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

### **2.5.1 Método por atomización (Spray dryng)**

Este proceso consiste en la deshidratación, pero también se considera un método de encapsulación, ya que puede producir partículas que atrapan el material a recubrir. Se trata de la transformación de un fluido en un material sólido mediante su atomización en gotas minúsculas dentro de un medio de secado caliente (Pedroza, 2002).

La atomización es una operación unitaria en la que un material de recubrimiento encierra un agente bioactivo para liberarlo en el momento y lugar adecuados. Los tamaños de las

partículas pueden clasificarse como macroscópicos ( $>5000 \mu\text{m}$ ), microscópicos ( $1-5000 \mu\text{m}$ ) y nanométricos ( $<1 \mu\text{m}$ ) (Sharif, Khoshnoudi-Nia, y Jafari, 2020).

La adecuada selección del atomizador y del agente encapsulante son factores críticos. Una de las principales ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que resulta apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto entre 5 y 30 segundos (Pedroza, 2002).

### **2.5.2 Microencapsulación de antocianinas mediante secado por atomización.**

La microencapsulación de antocianinas mediante secado por pulverización es una técnica empleada para proteger y estabilizar los pigmentos naturales de las plantas, entre ellos las antocianinas, mediante la formación de partículas microscópicas recubiertas con una capa protectora (Sakulnarmrat, Wongsrikaew, y Konczak, 2021). En este proceso, una solución de antocianinas se atomiza dentro de una cámara de secado por pulverización (spray dryer), donde el solvente se evapora y se forman partículas sólidas que contienen las antocianinas. Estas partículas son recubiertas con un material encapsulante para protegerlas de la luz, el oxígeno, la humedad y otros factores que pueden degradarlas y reducir su estabilidad y vida útil (Mirzaei, Emam-Djomeh, y Askari, 2021).

En este contexto, la microencapsulación por spray dryer no solo contribuye a proteger las antocianinas de la degradación, sino que también mejora su disolución, biodisponibilidad, estabilidad y resistencia a factores ambientales (Kanha *et al.*, 2020). Estas ventajas refuerzan el potencial de las antocianinas microencapsuladas para su aplicación en el desarrollo de productos alimentarios.

### **2.5.3 Propiedades físicas de los microencapsulados secados por atomización.**

- a. Higroscopicidad:** Se define como la capacidad de un material para absorber humedad en un ambiente de alta humedad relativa. Generalmente, un polvo con baja higroscopicidad, bajo contenido de agua, bajo grado de apelmazamiento y alta solubilidad se considera un producto de buena calidad (Bhusari, Singh, y Sharma, 2014).
- b. Solubilidad:** Se define como la cantidad de soluto que se disuelve en una determinada cantidad de solvente a una temperatura específica. Generalmente, la solubilidad se mide determinando la cantidad de soluto que se disuelve en 100 g de solvente a temperatura constante (Saucedo-Luna, *et al.*, 2010).

- c. **Humectabilidad:** Es la capacidad de la partícula de absorber agua en su superficie en tiempo determinado (Chegini, Hosseini, y Razavi, 2008). Esta propiedad depende en gran medida del tamaño de las partículas. Las partículas grandes forman poros grandes, mientras que las partículas pequeñas, que presentan una alta relación área/masa, no se humedecen individualmente, sino que tienden a aglomerarse, quedando cubiertas por una capa superficial de agua que reduce la velocidad con la que el agua penetra en el interior del grumo. Por otro lado, las partículas grandes y densas generalmente se sumergen más rápido que las livianas; sin embargo, la presencia de aire dentro de ellas puede afectar su capacidad de hundimientos, pero la presencia de aire dentro de ellas puede afectar su capacidad de hundimiento (Barbosa-Cánovas, 2005).
- d. **Densidad Aparente:** se refiere a la relación peso/volumen de un polvo antes de iniciar el proceso de compactación, con el fin de determinar la densidad compactada. Este término es aplicable tanto a mezclas como a sustancias puras, y puede referirse a la materia en estado sólido, líquido o gaseoso (Chegini, Kheiralipour, y Zendehnam, 2008).
- e. **Dispersabilidad:** está determinada por la fase continua de la emulsión. Si la fase continua es hidrosoluble, la emulsión puede diluirse con agua; si es oleosoluble, puede disolverse en aceite. La facilidad de disolución de una emulsión puede aumentarse al reducir su viscosidad. En los entornos industriales, la dispersabilidad se refiere a la capacidad de un polvo para separarse en partículas individuales al dispersarse en agua con agitación suave. Se expresa como el porcentaje de sólidos disueltos (Sharma, Jana, y Chavan 2012).

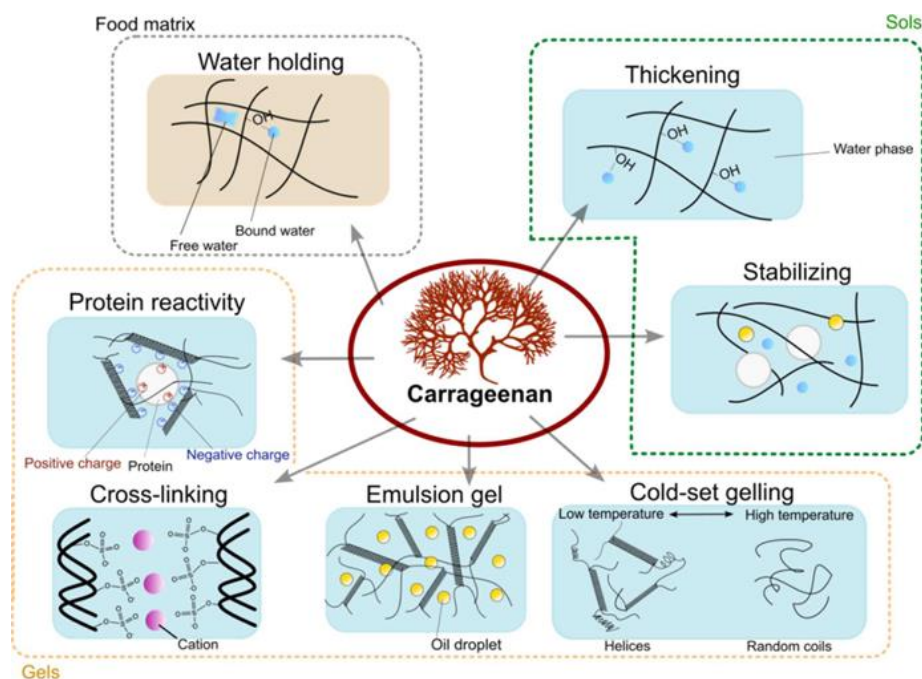
#### 2.5.4 Agentes microencapsulantes

- **Carragenina**

La carragenina, derivado de algas rojas comestibles, se ha demostrado como un polímero eficaz para la microencapsulación, destacando por sus propiedades gelificantes, baja toxicidad y su aplicabilidad como excipiente farmacéutico (Kavoosi *et al.*, 2017). Se trata de un polisacárido de alto peso molecular compuesto por repeticiones de galactosa y 3,6-anhidrogalaactosa, unidas mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 3 y  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4 alternados (Siddiqui *et al.*, 2022). Es una molécula flexible con estructura helicoidal, lo que le confiere la capacidad de formar diversos tipos de geles.

La carragenina es un aditivo alimentario GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro) aprobado por la FDA, con un peso molecular promedio de 200 a 800 kDa (USDA. National Organic Program, 2016). Su uso se ha extendido ampliamente en las industrias farmacéutica y alimentaria, debido a sus propiedades que permiten su aplicación en diversas matrices alimentarias como gelificante, espesante, retenedor de agua, estabilizante y agente emulsionante (Necas y Bartosikova, 2013; Liu *et al.*, 2015; Prajapati *et al.*, 2014).

En el contexto de la creciente demanda de alimentos innovadores y de alta calidad, la carragenina ha sido objeto de estudio en tecnologías emergentes dentro de la industria alimentaria. Entre estas aplicaciones se incluyen la encapsulación de compuestos bioactivos, la formulación de productos cárnicos de origen vegetal y la impresión 3D/4D, donde actúa como material de pared, componente de láminas comestibles, agente texturizante y tinta alimentaria (Kavoosi *et al.*, 2017). Estas aplicaciones evidencian la versatilidad de la carragenina, consolidándola como un recurso clave para impulsar la innovación y el valor agregado en la industria alimentaria, sin comprometer la calidad nutricional ni sensorial de los productos.



**Figura 3: Funciones versátiles de la carragenina como ingrediente.**

FUENTE: Toshifumi *et al.*, (2023).

- **Propiedades fisicoquímicas de la carragenina**

- **Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua del carragenano en la matriz alimentaria se clasifica principalmente en dos tipos: agua ligada mediante enlaces y agua libre atrapada estéricamente (Toshifumi *et al.*, 2023). Sin embargo, la retención del agua atrapada en la red es más débil que la que se da por enlaces de hidrógeno. Estas diferentes capacidades de retención de agua determinan las propiedades de los hidrogeles, como el espesamiento, la unión y la estabilidad de los productos alimenticios (Siddiqui *et al.*, 2022).

- **Estabilización de emulsiones**

El mecanismo de estabilización consiste en la reducción del movimiento de fluidos por acción de los polisacáridos, lo que ayuda a prevenir la floculación y a mantener la distancia entre las gotas emulsionadas (Bouyer, *et al.*, 2012). Las emulsiones estabilizadas con proteínas suelen incorporar carragenina para reforzar la consistencia mediante la formación de geles proteína–polisacárido. Además, su combinación con emulsionantes como los mono y diglicéridos de ácidos grasos optimiza la cinética y la calidad de los productos lácteos (Lal, O'Connor, y Eyres, 2006 ; Lal, O'Connor, y Eyres 2006; Totosaus y Guemes-Vera, 2008). Asimismo, la carragenina también se utiliza en la formación de emulsiones Pickering (Jiang, *et al.* 2021; Xiong, *et al.*, 2022).

- **Aplicaciones actuales del carragenano en la industria alimentaria**

La carragenina, se utiliza comúnmente como agente espesante en bebidas lácteas en niveles de 0.10-0.30 % (Holkar, Jadhav, y Pinjari, 2019; Prakash *et al.*, 2010). Es soluble en bebidas lácteas frías, lo que la hace útil como agente espesante (Imeson, 2009), y también se emplea en diversos tipos de queso (Černíková, *et al.*, 2008 ; Benjamin, *et al.*, 2017). En general se utiliza en otros productos lácteos mejorando las propiedades físicas, reológicas y sensoriales (Soukoulis, Chandrinos, y Tzia, 2008).

La adición de carragenina a productos cárnicos y mariscos procesados mejoran sus propiedades reológicas y la capacidad de retención de agua. (Toshifumi *et al.*, 2023). Esto se debe a sus propiedades fisicoquímicas, como solubilidad en frío, capacidad de congelación y descongelación, capacidad gelificante e hidrofiliidad, lo que permite su aplicación en diversos productos alimentarios procesados (Cierach, Modzelewska-Kapituła, y Szaciło, 2009; Koutsopoulos, Koutsimanis, y Bloukas, 2008).

Para mejorar las características de los productos horneados, las gomas o hidrocoloides se emplean comúnmente en su formulación (Huang, *et al.*, 2021). Una de sus principales ventajas reside en su capacidad para mejorar la retención de agua y las propiedades reológicas (Salehi, 2019a y Salehi, 2019b). Además, se utiliza como pegamento comestible en productos de repostería y panadería (Dong, *et al.*, 2021).

Las tecnologías de micro y nanoencapsulación han evolucionado rápidamente en sectores como el alimentario, farmacéutico y agroquímico. En el área de alimentos, estas tecnologías se aplican para encapsular compuestos funcionales como sabores, fragancias, probióticos, enzimas y nutrientes (Chakraborty, 2017), con el objetivo de mejorar su estabilidad, absorción y protección frente a la degradación, garantizando su uso efectivo en formulaciones alimentarias (Dong *et al.*, 2021).

- **Goma guar**

La goma guar es un polisacárido producido a partir del endospermo de la semilla de la planta guar (*Cyamopsis tetragonolobus*), perteneciente a la familia de las leguminosas. Consta de una cadena lineal de residuos de D-manopiranososa (manosa) unidos a moléculas de D-galactopiranososa mediante un enlace  $\beta$ -1,6 (Castañeda-Ovando *et al.*, 2020). Su mayor aplicación se encuentra en la industria de alimentos debido a su capacidad de formar puentes de hidrógeno con el agua, lo que permite la formación de hidrogeles (Mudgil, Barak, y Khatkar, 2014). En alimentos, se utiliza a bajas concentraciones (1 g/100 g) por su alta viscosidad, lo que limita su uso en productos más fluidos; además, posee propiedades espesantes, estabilizadoras y de retención de agua (Mandala, 2005; Sahraiyán *et al.*, 2013).

Además, actúa como agente desintegrante, aglutinante, regulador del nivel de glucosa en la circulación sistémica, formador de película y matriz, modificador de liberación (retardante), potenciador de la viscosidad, espesante o gelificante, estabilizante, emulsionante, agente de suspensión y bioadhesivo, entre otros (Takahashi *et al.*, 2009 ; Soumya *et al.*, 2010).

Debido a su estructura, origen natural y propiedades químicas y físicas, la goma guar, es uno de los aditivos alimentarios con mayor versatilidad tecnológica, lo que ha permitido su amplio uso en los diferentes sectores de la industria alimentaria. Además, es un compuesto considerado seguro para el consumo en diversos alimentos procesados, sin provocar efectos adversos en el consumidor (Castañeda-Ovando *et al.*, 2020).

- **Propiedades fisicoquímicas de la goma guar**

La goma guar, con un peso molecular aproximado de 220 kDa, se caracteriza por su alta solubilidad en agua fría, insolubilidad en etanol y la capacidad de soportar temperaturas de hasta 80 °C (Mortensen *et al.*, 2017). Esta goma no se ve significativamente afectada por fuerzas iónicas, pero puede sufrir degradación o fragmentación a temperaturas elevadas (mayores de 50 °C) y a pH muy bajos (<3,5), debido a reacciones propias de estos ambientes, como la hidrólisis de los enlaces glucosídicos (Mudgil, Brank, y Khatar, 2014).

La goma guar es estable en un rango de pH de 5 a 8; por ello, la formación del gel y su viscosidad dependen principalmente de la temperatura, el tiempo, el pH, la fuerza y velocidad de agitación, así como del tamaño de partícula del polvo de goma (Thombare, Kadam, y Baing, 2016).

- **Efecto de la Temperatura**

La temperatura desempeña un papel importante en la gelificación de la goma guar. Con el aumento de la temperatura, la propiedad gelificante se reduce debido al mayor movimiento molecular causado por la disipación de energía, y la viscosidad retorna a su valor original al disminuir gradualmente la temperatura. Por lo tanto, la temperatura provoca un cambio reversible en la gelificación de la goma guar (Doyle *et al.*, 2006).

- **Efecto de la Concentración**

Las soluciones de goma guar presentan viscosidades muy altas, incluso a concentraciones muy bajas. En la mayoría de las aplicaciones alimentarias, se recomienda utilizarla a concentraciones inferiores al 1 % (Wielinga, 2010).

Cuando la concentración de goma guar es hasta un 0,5 %, las soluciones se comportan como sistemas newtonianos. Por encima de esta concentración, las soluciones muestran un comportamiento no newtoniano y tixotrópico, es decir, son fluidos que requieren un tiempo finito para alcanzar una viscosidad de equilibrio tras un cambio instantáneo en la velocidad de cizalla (Mudgil *et al.*, 2014).

- **Usos en la Industria de Alimentos**

En la industria alimentaria, la goma guar se utiliza en su mayor grado de pureza industrial debido a su capacidad de ligar grandes cantidades de agua. Se emplea como un nuevo aditivo

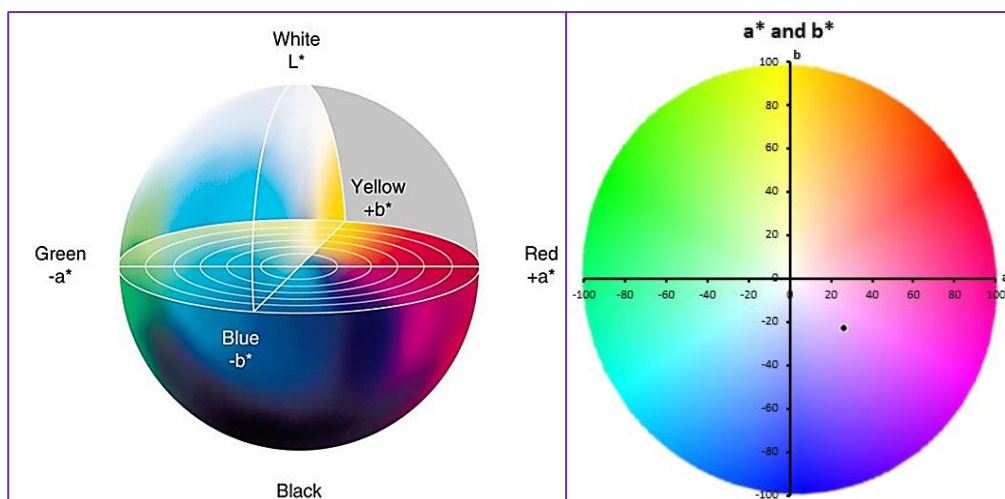
alimentario en diversos productos para mejorar la estabilización de alimentos y como fuente de fibra (Wielinga, 2010).

En productos de panificación, la goma guar se ha usado para mejorar la calidad de la mezcla y prolongar su vida útil, gracias a su capacidad de retener humedad y evitar la sinéresis en alimentos congelados y rellenos (Ibañez y Ferrero, 2003; Mirhosseini y Amid, 2012; Kaur, *et al.*, 2014).

El uso de goma guar en concentraciones no superiores al 2 % está permitido en aplicaciones alimentarias. Se emplea como gelificante, espesante y aglutinante, y también para emulsionar, estabilizar, conservar, retener agua y mejorar el contenido de fibra soluble en agua (Bemiller, 2009).

## 2.6. MEDIDA DE COLOR CIELA\*B\*

El sistema de color CIELab\*, fue desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en 1976 con el objetivo de proporcionar una representación uniforme del color perceptible por el ojo humano. Este modelo tridimensional permite cuantificar el color de manera objetiva mediante tres coordenadas:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (George y Cenkowski, 2007). Este sistema es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética debido a su alta precisión y reproducibilidad en la evaluación instrumental del color (Pathare, Opara, y Al-said 2012).



**Figura 4: Disco de color - Sistema CIELa\*b\***

FUENTE: Cortez *et al.*, (2017).

Las coordenadas CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se han utilizado con éxito para describir el color de bayas y flores (Osmani *et al.*, 2009; Liang *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2001). Para medir la eficacia de un colorante se mide  $L^*$ , que se refiere a su nivel de luminosidad, con valores que oscilan entre 0 (negro) y 100 (blanco). Además; se miden otras dos coordenadas,  $a^*$  y  $b^*$ . Los calificativos positivos de  $a^*$  revelan un matiz rojo, mientras que los calificativos negativos de  $a^*$  indican un tono verde, los calificativos positivos de  $b^*$  significan un tinte amarillo, mientras que los calificativos negativos indican un tono azul  $b^*$  calificativos como una medida de 'amarillo' o 'azulado' (Giusti, Rodriguez, y Wrolstad, 1999).

La determinación instrumental del color bajo el sistema CIELab\* permite describir cuantitativamente las diferencias cromáticas entre muestras, evitando la subjetividad de las observaciones visuales. Para complementar el análisis, suelen calcularse parámetros derivados como el croma ( $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ), que indica la intensidad o saturación del color, y el tono o ángulo hue ( $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$ ), que describe el matiz predominante (Cortez *et al.*, 2017).

El uso de este sistema ha demostrado ser una herramienta confiable para evaluar cambios de color asociados a procesos tecnológicos, reacciones químicas, oxidación de pigmentos naturales y estabilidad de colorantes en alimentos y extractos vegetales (Leo *et al.*, 2006) (Pathare *et al.*, 2012).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La extracción de extracto de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) para la microencapsulación de antocianinas se realizó en el laboratorio del Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL), de la Universidad Peruana Unión (UPeU) – Sede Juliaca.

El proceso de atomizado del extracto de antocianinas de mashua morada, se realizó en un compartimiento cerrado ubicado dentro del laboratorio principal de lácteos de la Universidad Peruana Unión. Asimismo, los análisis físicos, fisicoquímicos, capacidad antioxidante, antocianinas y estabilidad de las antocianinas también se realizaron en los laboratorios del Centro de investigación de Ciencia de los Alimentos (CICAL) y Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL), de la Universidad Peruana Unión (UPeU) – Sede Juliaca.

#### 3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Experimental – cuantitativo, ya que la investigación se realizó a partir de diversos análisis fisicoquímicos de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*). Posteriormente, se realizaron a cabo pruebas preliminares para estudiar el efecto de la temperatura, el flujo másico y la dosis de los agentes encapsulantes sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales de las antocianinas micro encapsuladas. Las microencapsulada obtenidas mediante el proceso de atomización, es fundamental evaluar diversas propiedades que determinan la calidad del producto final. Entre estos, se requiere conocer la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y estabilidad del polvo micro encapsulado a lo largo del tiempo.

### **3.3 MATERIALES**

#### **3.3.1. Materia prima**

Los tubérculos de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) fueron adquiridas de la cosecha del mes de marzo en el distrito de Ayaviri, provincia de Melgar, Región Puno a una altitud de 3.970 m.s.n.m., ubicados en las coordenadas -14.716953, -70.883994.

#### **3.3.2. Materiales, equipos y reactivos**

##### **a. Materiales de laboratorio**

- Campana desecadora
- Bureta
- Micropipetas 100-1000  $\mu$ l
- Matraz Erlenmeyer 250 ml
- Lunas de reloj
- Placas Petri
- Piseta de 500 ml
- Pipetas 10 ml
- Puntas para micropipetas
- Pera de succión
- Propipeta -2-25 ml
- Papel de aluminio
- Papel toalla
- Pañuelos Elite Profesional
- Probeta de 500 ml y 20 ml.
- Espátulas
- Termómetro de 0 – 100°C
- Telas para filtrar
- Tubos de ensayo
- Frascos de vidrio 20 ml y 50 ml
- Vasos de precipitado de 1000 ml, 500 ml y 50 ml.
- Varilla de vidrio
- Gradilla
- Bolsas de polietileno de alta densidad color negro.

**b. Equipos**

- Atomizador, marca AGROCOBA - modelo HT-RY 1500
- Balanza analítica, marca WESTTUNE, modelo WT -EB5003.
- Balanza digital, marca Opalux, Modelo OP-1816.
- Centrifuga, Marca FOURE'S scientific, modelo K- CF0202003.
- Espectrofotómetro Thermo GENESYS 10S UV-VIS.
- Extractora, marca Oster, modelo FPSTJE317S051.
- Estufa, marca KERT LAB, modelo ODHG -9030B.
- Termo agitador magnético SH-2. marca TOPLINE LAB.
- pH metro, marca HANNA HI4221.
- Refrigerador, marca LG-modelo.
- Water Activity Meter modelo WA-160 A.

**c. Utensilios**

- Bandejas de acero inoxidable
- Cuchillos
- Jarras de plástico volumétrico
- Baldes

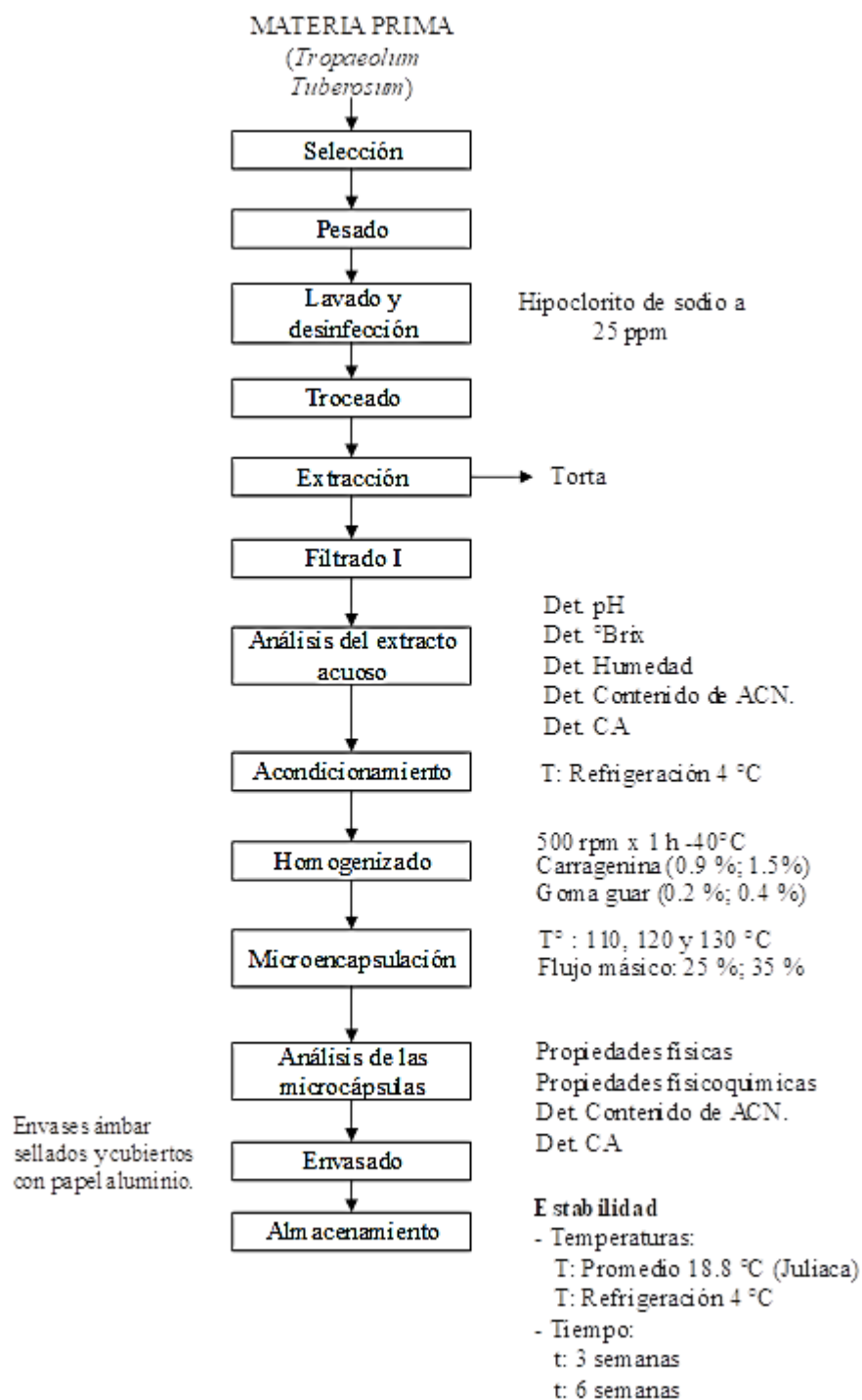
**d. Insumos y reactivos**

- Alcohol isopropílico
- Alcohol medicinal 70°
- Agua destilada
- Acetato sódico
- Ácido clorhídrico
- Carragenina
- Cloruro de potasio
- Indicador fenolftaleína
- Goma guar grado alimenticio
- Hipoclorito de sodio 3.5 %
- Hidróxido de sodio 1N
- Reactivo de DPPH diluido
- Sulfato de sodio

### 3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.4.1. Obtención del extracto acuoso de mashua morada.

Para la obtención del extracto acuoso de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) se realizó de acuerdo al siguiente diagrama de flujo. (figura 5).



**Figura 5:** Diagrama de flujo del proceso de microencapsulas de antocianina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

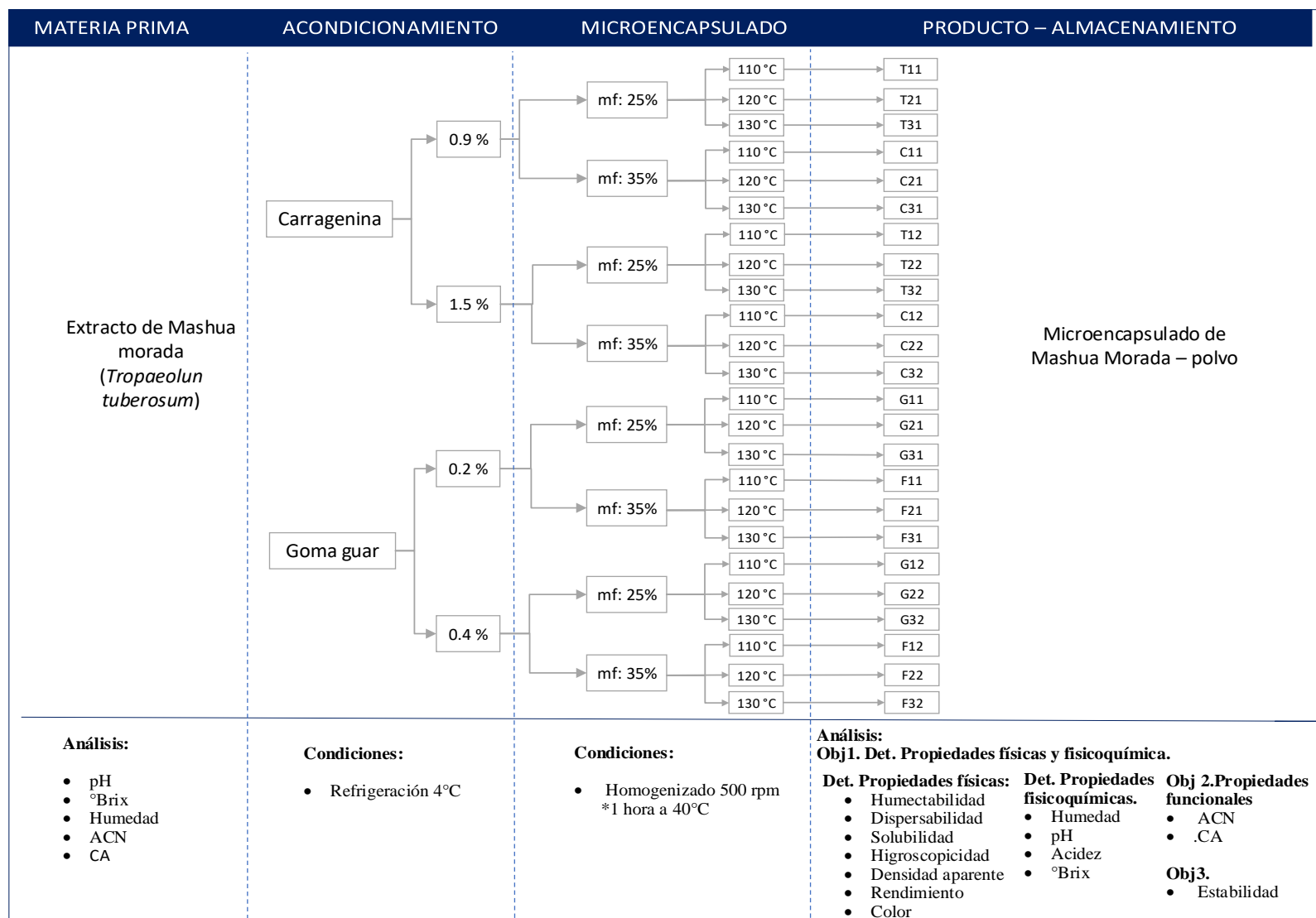
### 3.4.2. Procedimiento metodológico general

- a) **Materia prima de mashua morada:** Se selecciono de acuerdo al estado de madurez y aquellos tubérculos que se encuentren con daños físicos, biológicos se separaron.
- b) **Pesado:** En esta etapa se pesaron las cantidades necesarias para la producida.
- c) **Lavado y desinfección:** Posteriormente se lavó en inmersión con agua, luego de ello se realizó la desinfección con el uso de hipoclorito de sodio a una concentración de 100 ppm por 10 minutos a fin de reducir la posible carga microbiana, por considerarse que la materia prima crece debajo de la tierra.
- d) **Trozado:** Con la finalidad de reducir el tamaño de la materia prima antes de su extracción es troceado de forma manual con ayuda de cuchillos, luego es puesta a una extractora marca Oster de capacidad de 1,5 Kg. la cual permitirá reducir su tamaño y así obtener el extracto de mashua y bagazo.
- e) **Filtrado:** Esta operación se utilizó tela fina, este procedimiento se realizó con la finalidad de separar el material no líquido que pudiese dificultar la operación de secado por atomización.
- f) **Análisis del extracto acuoso:** Se determinó las propiedades fisicoquímicas, tales como el pH, °Brix, humedad, contenido de antocianinas y capacidad antioxidante.
- g) **Acondicionamiento:** El extracto se almaceno a una temperatura de refrigeración hasta su estandarización con los agentes encapsulantes.
- h) **Homogenizado:** Se mezclaron a diferentes dosis de agentes encapsulantes, carragenina a 0.9 % y 1.5 % y goma guar a 0.2% y 0.4 %. La mezcla se agitó a 500 rpm por un tiempo de 1 hora a una temperatura de 40 °C con la finalidad de obtener una solución homogénea y facilitar su alimentación al atomizador.
- i) **Micro encapsulado:** La muestra acondicionada con el agente encapsulante se llevó al secador por aspersion Marca AGROCOBA HT-RY 1500 y se trabajó a tres temperaturas de secado (110°C, 120°C y 130°C), aspiración de aire: 100%, flujo del aire de entrada: 40 m<sup>3</sup>/h, temperatura de salida de aire es variable de acuerdo a la temperatura de entrada y flujo de alimentación al 25 % y 35 % del extracto de mashua morada.
- j) **Análisis de las microcápsulas:** Para determinar sus propiedades físicas (humectabilidad, dispersabilidad, solubilidad, higroscopicidad, densidad aparente, rendimiento y color), propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, acidez y solidos solubles - °Brix) y funcionales (antocianinas y capacidad antioxidante).

**k) Almacenamiento.** Para la determinación de la estabilidad de las microcápsulas de antocianinas las muestras se pesaron y se almacenaron a temperatura ambiente y en refrigeración, en envases de vidrio ámbar cubiertas con papel aluminio, se evaluó el efecto de la humedad durante un período de 3 y 6 semanas de almacenamiento. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

### **3.5. DIAGRAMA EXPERIMENTAL**

El diseño experimental para la obtención de la microencapsulación de antocianina de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) secado por atomización se presenta en la siguiente figura 6.



**Figura 6: Diagrama experimental de la investigación.**

**Leyenda:**

T11: Temperatura 110°C, concentración 0.9% y flujo másico de 25%

T21: Temperatura 120°C, concentración 0.9% y flujo másico de 25%

T31: Temperatura 130°C, concentración 0.9% y flujo másico de 25%

T12: Temperatura 110°C, concentración 1.5% y flujo másico de 25%

T22: Temperatura 120°C, concentración 1.5% y flujo másico de 25%

T32: Temperatura 130°C, concentración 1.5% y flujo másico de 25%

C11: Temperatura 110°C, concentración 0.9% y flujo másico de 35%

C21: Temperatura 120°C, concentración 0.9% y flujo másico de 35%

C31: Temperatura 130°C, concentración 0.9% y flujo másico de 35%

C12: Temperatura 110°C, concentración 1.5% y flujo másico de 35%

C22: Temperatura 120°C, concentración 1.5% y flujo másico de 35%

C32: Temperatura 130°C, concentración 1.5% y flujo másico de 35%

G11: Temperatura 110°C, concentración 0.2% y flujo másico de 25%

G21: Temperatura 120°C, concentración 0.2% y flujo másico de 25%

G31: Temperatura 130°C, concentración 0.2% y flujo másico de 25%

G12: Temperatura 110°C, concentración 0.4% y flujo másico de 25%

G22: Temperatura 120°C, concentración 0.4% y flujo másico de 25%

G32: Temperatura 130°C, concentración 0.4% y flujo másico de 25%

F11: Temperatura 110°C, concentración 0.2% y flujo másico de 35%

F21: Temperatura 120°C, concentración 0.2% y flujo másico de 35%

F31: Temperatura 130°C, concentración 0.2% y flujo másico de 35%

F12: Temperatura 110°C, concentración 0.4% y flujo másico de 35%

F22: Temperatura 120°C, concentración 0.4% y flujo másico de 35%

F32: Temperatura 130°C, concentración 0.4% y flujo másico de 35%

ACN: Contenido de antocianinas

CA: Capacidad antioxidantes

### 3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

**3.6.1. Para el objetivo 1:** Determinar el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización en las propiedades físicas y fisicoquímicas de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).

- **Variables independientes**

- Temperatura:

T°: 110 °C; 120°C; 130°C

- Agentes encapsulantes:

Carragenina (0.9 % y 1.5 %)

Goma guar (0.2 % y 0.4 %)

- Flujo másico:

fm: 25 % y 35 %

- **Variable dependiente**

- Propiedades físicas (humectabilidad, dispersabilidad, solubilidad, higroscopicidad, densidad aparente, rendimiento y color).
- Propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, acidez y Sólidos solubles (°Brix)).

Las temperaturas seleccionadas en la presente investigación se determinaron en función de diversos estudios previos. (Tonon *et al.*, 2010) demostraron que las temperaturas de entrada entre 100 °C y 150 °C son óptimas para la encapsulación de compuestos sensibles, como polifenoles, carotenoides y antocianinas. De manera similar (Angioletti *et al.*, 2024), realizaron estudios de microencapsulado a temperaturas de 120 a 170°C, mientras que (Vergara *et al.*, 2020) desarrollaron procesos de microencapsularon empleando temperaturas entre 100 °C a 180°C.

En cuanto a las concentraciones seleccionadas, estas fueron determinadas a partir de pruebas preliminares. Durante dichas pruebas se observó que el uso de concentraciones más elevadas de carragenina y goma guar generaba soluciones con una viscosidad considerablemente alta. Este incremento en la viscosidad ocasionaba desventajas en el proceso de microencapsulación, afectando la alimentación continua del equipo de secado por aspersión. Además, se presentaba el riesgo de obstrucción en la boquilla del atomizador, lo que provocaba una reducción en la eficiencia del secado e incluso la interrupción del proceso de atomización.

## Métodos de análisis

Se determinó las propiedades físicas y fisicoquímicas a los microencapsulados de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) de todos los tratamientos.

### Propiedades físicas

- **Determinación de humectabilidad**

El método se realizó según Freudig *et al.*, (1999), con algunas modificaciones. Se calentó 50 ml de agua destilada en baño maría hasta alcanzar 25 °C, manteniendo la temperatura constante. Se pesaron 0,5 g de muestra de antocianina microencapsulada, que se dejó caer de manera homogénea en un vaso precipitado. Simultáneamente, se inició el cronómetro y se registró el tiempo necesario para que todas las partículas se humedecieran.

- **Determinación de dispersabilidad**

La dispersabilidad del polvo se determinó siguiendo el método Jinapong, Suphantharika, y Jamnong (2008) con algunas modificaciones.

Se pesaron 0,5 g de la muestra microencapsulada, la cual se disolvió en 5 ml de agua destilada y luego se agitó vigorosamente con un agitador magnético durante 25 segundos.

El polvo reconstituido se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, se transfirió 1,0 ml del sobrenadante a placas Petri y se secó a 105 °C durante 4 horas. Los sólidos totales obtenidos, expresados como porcentaje, se utilizaron para calcular la dispersabilidad según la ecuación correspondiente.

$$\text{Dispersabilidad (\%)} = \frac{(10+a) \times \text{TS}}{a \times (100-b/100)} \quad \text{Ecuación 01.}$$

**Donde:**

TS: (%) es la muestra seca

a: es la cantidad de polvo utilizada (g)

b: es el contenido de humedad del polvo (%).

- **Determinación de solubilidad**

Método descrito por Cano-Chauca *et al.*, (2005), se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se pesaron 0,2 g de muestra atomizada, que se disolvieron en 20 ml de agua destilada a 25 °C. Posteriormente, la solución se centrifugó a 3000 rpm durante 8 minutos.

Finalmente, se transfirió una alícuota de 2,5 ml del sobrenadante a placas Petri previamente pesadas y se secó en estufa a 105 °C durante 5 horas.

Los sólidos recuperados se calcularon por diferencia de peso después del secado y se expresaron como porcentaje de solubilidad.

- **Determinación de higroscopicidad**

La higroscopicidad se determinó utilizando el método descrito por Cai y Corke (2000). Se pesaron 0,2 g de muestras atomizadas de cada tratamiento, los cuales se colocaron en recipientes acondicionados.

Posteriormente, se preparó una solución saturada de sulfato de sodio (81 % de humedad relativa), que se colocó en un recipiente dentro de un desecador. Las muestras atomizadas se situaron dentro del desecador cerrado herméticamente durante una semana a 25 °C. Finalmente, los resultados se expresaron como porcentaje de higroscopicidad (%).

**Fórmula:**

$$\text{Higroscopicidad}\% = \frac{b/a + W_i}{1+b/a} \times 100 \quad \text{Ecuación 02.}$$

**Donde:**

a = es igual la cantidad de muestra (g).

b = cantidad de humedad del polvo antes de exponerse a H.R. (g)

W<sub>i</sub> = incremento de la cantidad de humedad del polvo (g).

- **Determinación de la densidad aparente.**

La determinación se realizó siguiendo el método de Jinapong *et al.*, (2008), con algunas modificaciones. Se utilizó una probeta de 20 ml, la cual se pesó vacía y se registró su peso. Luego, mediante un embudo, se transfirió cuidadosamente la muestra atomizada a la probeta, dejando que cayera libremente hasta alcanzar los 5 ml, sin compactarla.

Posteriormente, se pesó nuevamente la probeta con el polvo y por diferencia de pesos, se calculó el peso de la muestra (W). Con este valor, se determinó la densidad aparente (ρ) del polvo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente } (\rho) = \frac{w}{V} \quad \text{Ecuación 03.}$$

**Donde:**

W: peso de la muestra

V: volumen del polvo

- **Determinación de rendimiento**

La determinación se realizó siguiendo el método de (Kaushik *et al.*, 2016), se calculó mediante una técnica gravimétrica como la relación que existe entre la cantidad de sólidos alimentados en el secador (m1) respecto a los sólidos recuperados a la salida del secador (m2).

**Fórmula:**

$$\% R = \frac{m2}{m1} * 100 \quad \text{Ecuación 04.}$$

**Donde:**

m2 (g): es el peso en gramos obtenido del extracto.

m1 (g): es el peso total de la mezcla inicial.

- **Determinación del color – escala CIElab.**

Para determinar el color, se empleó el método descrito por Larrauri y Saura, (2000); Medina, Skurtys, y Aguilera (2010), utilizando un sistema de adquisición de imágenes digitales basado en los parámetros L\* (luminosidad), a\* (-verde/+rojo) y b\* (-azul/+amarillo). Se utilizó un envase oscuro y se colocaron 10 g de microcápsulas sobre una superficie plana. Posteriormente, se realizaron tres lecturas en diferentes puntos de la muestra para obtener un valor promedio.

Para la determinación del croma se utilizó la siguiente formula:

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ecuación 05.}$$

**Donde:**

**a\***: Componentes del eje +rojo/-verde

**b\***: Componentes del eje -azul/+amarillo

## Propiedades fisicoquímicas

- **Determinación de humedad**

La determinación se realizó siguiendo el método de Ferrari, Crapiste, y Burin, (2013), se pesaron 0,3 gramos de muestra, que se colocaron en placas Petri previamente pesadas. Las muestras se llevaron a una estufa a 105 °C durante 5 horas y se analizaron mediante métodos gravimétricos. A partir de la diferencia de peso, se obtuvo el contenido de humedad de la muestra. La determinación de la materia seca se realizó utilizando la diferencia entre el peso inicial de la muestra y el porcentaje de humedad hallado, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso final}}{\text{Peso de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 06.}$$

- **Determinación de pH.**

Para determinar el pH, se pesaron 0,2 g de antocianina microencapsulada, la cual se disolvió en 20 ml de agua destilada. La mezcla se homogeneizó mediante agitación con una varilla de vidrio. Posteriormente, se empleó un medidor de pH digital de mesa (marca HANNA HI4221), equipado con un electrodo de vidrio combinado, calibrado previamente con soluciones amortiguadoras de pH 7,0. Finalmente, se registró el pH de todas las muestras (Association of Analytical Chemists [AOAC], 2006).

- **Determinación de acidez.**

Para determinar la acidez se utilizó la metodología recomendada por la AOAC (2006). Se pesaron 0,2 g de la muestra microencapsulada, la cual se disolvió en 5 ml de agua destilada y se agitó con una varilla de vidrio hasta obtener un líquido perfectamente homogéneo, que posteriormente se transfirió a un matraz Erlenmeyer.

Luego se añadieron 45 ml de agua destilada a la muestra y se incorporaron tres gotas de fenolftaleína como indicador. A continuación, se llenó la bureta con la solución de NaOH 0,1 N y se procedió a la titulación, añadiendo lentamente la solución mientras se agitaba la muestra, hasta que el cambio de color indicara el punto final de la titulación; en este caso, el color observado fue azul oscuro pálido.

Para el cálculo de acidez, se registró el volumen de solución de NaOH 0,1 N gastado durante la titulación.

$$\text{Acidez titulable(\%)} = \left( \frac{V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times \text{PM ácido}}{m_{\text{muestra}}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 07.}$$

**Donde:**

$V_{\text{NaOH}}$  = volumen de NaOH utilizado (L)

$N_{\text{NaOH}}$  = normalidad de la solución de NaOH

PM ácido = peso molecular del ácido predominante

m = masa de la muestra (g)

- **Determinación de sólidos solubles (°Brix)**

Propuesto por la AOAC (2006).

Se pesó 0.1g de muestra y se diluyó en 10 ml de agua destilada, con la ayuda de goteros se colocó en el refractómetro digital de °Brix Pocket Pal- A de 0.0-85.0 °Brix marca ATAGO, y se realizó la lectura con el mismo procedimiento con todas las muestras.

**Diseño estadístico**

Se trabajó con el diseño estadístico DCA (Diseño Completamente al Azar), cuyo modelo matemático es el siguiente:

**Fórmula:**

$$y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

**Donde:**

- $Y_{ij}$ : Es la j-ésima se hizo en el tratamiento i (observación de variables dependientes).
- $\mu$ : Es la escala común a todas las formulaciones, llamado media global.
- $t_i$ : Mide el efecto del tratamiento i.
- $\varepsilon_{ij}$ : Error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

Los resultados experimentales se expresaron como la media  $\pm$  desviación estándar (DE) de los triplicados. Todos los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se consideró una diferencia significativa con un valor de  $p < 0,05$ .

**3.6.2. Para el objetivo 2:** Evaluar el efecto de la temperatura, flujo másico y agentes encapsulantes (carragenina y goma guar) del secado por atomización sobre las propiedades funcionales de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).

- **Variables independientes**

- Temperatura:  
T°: 110 °C; 120°C y 130°C
- Agentes encapsulantes:  
Carragenina (0.9 % y 1.5 %)  
Goma guar (0.2 % y 0.4 %)
- Flujo másico:  
fm: 25 % y 35 %

- **Variables dependientes**

- Capacidad antioxidante
- Contenido de antocianinas

### **Métodos de análisis**

- **Determinación de capacidad antioxidante**

Para determinar la capacidad antioxidante se utilizó la metodología recomendada por Brand-Williams *et al.*, (2007), lo cual es de la siguiente manera:

El principio del ensayo se basó en la reducción del radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) por los compuestos antioxidantes presentes en la muestra, lo cual se refleja en una disminución de la absorbancia medida a una longitud de onda de 515–517 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición del radical DPPH (%).

Para la determinación de la capacidad antioxidante tanto del extracto libre como de las microcápsulas de mashua morada, se utilizó Trolox como patrón de referencia. Tanto los extractos como el estándar actuaron reduciendo el radical DPPH.

El procedimiento fue el siguiente:

- Se prepararon 1,2 mL de la solución de DPPH, previamente ajustada a una absorbancia de aproximadamente 0,700.

- Se adicionaron 100  $\mu$ L del extracto acuoso de mashua morada.
- Se agitó suavemente y se midió la absorbancia inicial a 515–517 nm en un espectrofotómetro UV-Vis.
- Las muestras se incubaron durante 10 minutos a temperatura ambiente, en oscuridad.
- Finalmente, se registró la absorbancia a 515 nm utilizando un espectrofotómetro UV/VIS GENESYS 10S (Thermo Scientific).

La calibración se realiza con una solución de trolox (ácido ( $\pm$ )-6-hidroxi-2, 5,7,8-tetrametilcroman-2- carboxílico de EMD Chemicals Carbiochem USA) y la actividad antioxidante total fue expresada como micromoles de equivalentes trolox por gramo de mashua negra. Usando el solvente etanol como blanco.

La curva de calibración se realizó empleando una solución de Trolox (ácido ( $\pm$ )-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico; EMD Chemicals, Carbiochem, USA), utilizando etanol como blanco. La actividad antioxidante total se expresó como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra ( $\mu$ mol TE/g).

Para el cálculo del factor de dilución (FD), se tomaron 500  $\mu$ L del extracto de mashua y se aforaron a 1500  $\mu$ L con agua destilada, obteniéndose un factor de dilución de:

$$FD = \frac{1500}{500} = 3 \quad \text{Ecuación 09}$$

Los cálculos se efectuaron con la siguiente ecuación:

$$TEAC DPPH \left( \frac{\mu\text{mol trolox}}{\text{litro}} \right) = \left[ \frac{\text{Abs.muestra} - A}{B} \right] * FD \quad \text{Ecuación 10}$$

**DONDE:**

Abs: Muestra: absorbancia de la muestra

A: Intercepto de la curva de calibración

B: Pendiente de la curva de calibración

FD: factor de dilución

• **Determinación del contenido de antocianinas.**

Se determino siguiendo la metodología recomendado por Fuleki y Francis (1968) y modificado por Giusti (2001), para la determinación de antocianinas se diluyo las microcápsulas los cuales se midieron mediante el método espectrofotométrico por pH diferencial se preparará una solución de cloruro de potasio (0.025 M) a pH 1,0 y una solución

de acetato sódico (0,4 M) a pH 4,5; ajustando el pH con ácido clorhídrico, utilizando el pH -metro modelo HANNA Modelo HI 98130.

La absorbancia de las muestras se determinó a 500 y 700 nm en el espectrofotómetro de marca GENESYS 10S UV- VIS; las soluciones tampón se utilizarán como blanco y el contenido de antocianinas totales (CAT) se calcularán según la siguiente ecuación:

$$CAT = \frac{Abs * MW * DF * 1000}{\epsilon * L} \quad \text{Ecuación 11.}$$

**Donde:**

- Abs: es s  $[A_{500} \text{ -pH } 1,0] - [A_{700} \text{ (pH } 1,0)] - [A_{500} \text{ (pH } 4,5) - A_{700} \text{ (pH } 4,5)]$
- MW: es el peso molecular de la antocianina para el cianidin-3-glucósido (g/mol)
- DF: es el factor de dilución.
- $\epsilon$ : es el coeficiente de extinción (L/cm\*mol).
- L: la longitud del camino óptico (cm).

**Diseño estadístico**

Se trabajó con el diseño estadístico DCA (Diseño Completamente al Azar), cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

**Donde:**

- $Y_{ij}$ : Es la j-ésima se hizo en el tratamiento i (observación de variables dependientes).
- $\mu$ : Es la escala común a todas las formulaciones, llamado media global.
- $t_i$ : Mide el efecto del tratamiento i.
- $\epsilon_{ij}$ : Error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

Los resultados experimentales se expresaron como la media  $\pm$  desviación estándar (DE) de los triplicados. Todos los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se consideró una diferencia significativa con un valor de  $p < 0,05$ .

**3.6.3. Para objetivo 3:** Evaluar la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas obtenidas a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la humedad a temperatura de ambiente y refrigeración.

- **Variable independiente**

- Temperatura:  
T°4 °C; 20°C
- Agentes encapsulantes:  
Carragenina % (0.9%; 1.5%)  
Goma guar % (0.2%; 0.4%)
- Flujo másico:  
mf: 25 % y 35 %

- **Variable dependiente**

- Humedad % 3 semanas
- Humedad % 6 semanas

## **Métodos de análisis**

### **Determinación de la estabilidad**

La estabilidad se determinó por contenido de humedad lo cual se realizó de la siguiente manera: Se pesaron aproximadamente 1–2 g de muestra (peso húmedo) en placas Petri previamente taradas y se registró el peso con precisión. Las placas se colocaron en una estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante (entre 2 y 4 horas, según el tamaño de la muestra). Posteriormente, se enfriaron en un desecador y se pesaron para obtener el peso seco. Con estos valores se calculó el porcentaje de humedad de las muestras AOAC (2006). La humedad se terminó a las muestras almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración 4°C, durante 6 semanas.

### **Diseño estadístico**

Se trabajó con el diseño estadístico DCA (Diseño Completamente al Azar), cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

### **Donde:**

- $Y_{ij}$ : Es la j-ésima se hizo en el tratamiento i (observación de variables dependientes).

- $\mu$ : Es la escala común a todas las formulaciones, llamado media global.
- $\tau_i$ : Mide el efecto del tratamiento  $i$ .
- $\epsilon_{ij}$ : Error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

Los resultados experimentales se expresaron como la media  $\pm$  desviación estándar (DE) de los triplicados. Todos los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se consideró una diferencia significativa con un valor de  $p < 0,05$ .

### **3.7. HIPÓTESIS**

#### **3.7.1. Hipótesis general**

La temperatura de secado, el flujo másico y la concentración de los agentes encapsulantes influyen en las propiedades físicas, fisicoquímicas, funcionales y en la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).

#### **3.7.2. Hipótesis específicas**

- La temperatura de secado, el flujo másico y la concentración de los agentes encapsulantes influyen en las propiedades físicas y fisicoquímicas de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).
- La temperatura de secado, el flujo másico y la concentración de los agentes encapsulantes influyen en las propiedades funcionales y en la capacidad antioxidante de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).
- Las condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración influyen en la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), evaluada mediante el contenido de humedad.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.**

Los resultados de la investigación se detallan mediante tablas simples, gráficos de columnas, medidas de resumen: media, desviación típica (DT). Así mismo para la evaluación estadística se utilizó un diseño completamente Al azar (DCA) con arreglo factorial con 3 repeticiones, el análisis de varianza se trabajó con un nivel de significación de 0,05.

Al encontrar diferencia significativa entre la interacción del efecto de la temperatura de secado y la concentración de los agentes microencapsulantes carragenina y goma guar sobre las características, físicas, fisicoquímicas contenido de antocianinas y capacidad antioxidante y la estabilidad, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias Tukey a un nivel de significancia de 0,05. Los datos fueron procesados con la ayuda de los programas estadísticos STATA versión 16.1 y la hoja de cálculo Microsoft Excel 2016.

#### **4.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA.**

En la tabla 7, se muestra los resultados de las características fisicoquímicas del extracto de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), lo cual fue lavada y desinfectada para luego ser reducida de tamaño, el extracto obtenido fue filtrado y posteriormente a ello fue almacenada en refrigeración, hasta su caracterización.

**Tabla 7: Características fisicoquímicas del extracto acuoso de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).**

Análisis	Unidades	Resultados
Acidez titulable	g ácido ascórbico/ 100 g	4.8 ± 0.00
pH	-	6.4 ± 0.589
solidos solubles	°Brix	9.4 ± 0.005
Antocianinas monoméricas	mg/100 g. MS	19.40 ± 0.26
Capacidad Antioxidante	Trolox umol/g	135.42 ± 0.77

De acuerdo a los resultados obtenidos en el extracto acuoso de mashua morada (*Tropaeolum Tuberosum*), se puede señalar que, en relación a la acidez, García-Beneytez *et al.*, (2003) indican que los niveles de acidez, expresados en función del ácido predominante, pueden variar debido a factores como la altitud, la temperatura y el tipo de suelo donde se maneja el cultivo. Por su parte Velásquez-Barreto *et al.*, (2020) reportaron un valor de 0.21% de acidez en el extracto de la mashua morada.

Con respecto al pH, en la investigación realizada por Cuya (2009), se reportó que la mashua fresca presenta un valor de pH de 6,22, resultado similar obtenido en el presente estudio. Por otro lado, en la evaluación de los sólidos solubles Osterloh *et al.*, (1996), señalaron que entre el 80% a 95% de los sólidos solubles de la mashua están compuestos principalmente por azúcares los cuales se disuelven en el líquido. De manera similar, Velásquez-Barreto *et al.*, (2020), determinaron un valor de 3.23° Brix en los sólidos solubles del extracto de mashua morada.

En cuanto al contenido de antocianinas del extracto de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), se obtuvo un valor de 19.40 ±0.26 mg/100 g. MS. En otros estudios, Chirinos *et al.*, (2008) reportaron valores entre 11.4 a 13.6 mg/g de equivalentes de cianidina-3-glucósido por gramo de muestra seca (MS) en extracto de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*). Por su parte, Chirinos *et al.*, (2007) obtuvieron valores menores, que oscilaron entre 3.7 a 8.7 mg/100 g. Asimismo, Velásquez-Barreto *et al.*, (2020) dan a conocer la cantidad de 26.69 mg/100 g en el extracto de mashua morada, mientras que Coloma *et al.*, (2022) reportaron valores entre 29.20 y 148.90 mg/g MS de antocianinas en la mashua

morada que los cuales son ligeramente superiores nuestros resultados obtenidos en el presente estudio.

El contenido de antocianinas monoméricas en la mashua morada en base húmeda fue  $904.63 \pm 12.32$  mg/L. En comparación con otros productos andinos, este valor es considerablemente reportado para la baya de los andes, cuyo contenido total de antocianinas monoméricas fue de  $45 \pm 7.07$  mg/ 100 g FW. (Garzón, Riedl, y Schwartz 2015). De igual forma, los valores determinados para el maíz morado (*Zea mays L.*) a tres concentraciones fueron de  $7.87 \pm 0.13$  mg/100 mL, siendo este el valor más alto registrado al 30 % (Mohammadinejad *et al.*, 2023). En ese sentido, los resultados del presente estudio muestran un ligero incremento en comparación con investigaciones previas realizadas en mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).

Con respecto a la capacidad antioxidante, Beim *et al.*, (2021) reportaron, en colecciones de mashua provenientes de Puno, que la actividad antioxidante medida por DPPH osciló alrededor de  $68.25 \mu\text{M TE}/100 \text{ g}^{-1}$  FW. Por su parte, Chirinos *et al.*, (2007) obtuvieron valores entre 80 y 378  $\mu\text{mol TE}/\text{g MS}$  por ABTS y 59 y .89  $\mu\text{mol TE}/\text{g MS}$  por el método ORAC en el tubérculo de mashua. Asimismo, Chirinos *et al.*, (2008) reportaron valores  $447 \pm 41 \mu\text{mol TE}/\text{g MS}$  en extractos de frutos de (*Muehlenbeckia volcanica*), y un contenido 171.85 mg cianidina 3-glucosido/100g determinado mediante cromatografía HPLC. De forma similar Velásquez-Barreto *et al.*, (2020) obtuvieron resultados similares de 169.16  $\mu\text{M trolox}/\text{g}$  en el extracto de mashua morada. Por otro lado Barragán *et al.*, (2020) determinaron una capacidad antioxidante por el método DPPH el valor de 31.37  $\mu\text{mol trolox}/\text{g}$  mientras que Coloma *et al.*, (2022) reportaron valores capacidad antioxidante entre 44.58 y 272.35  $\mu\text{M}/\text{g MS}$  en la mashua morada. Según Chirinos *et al.*, (2007), las diferencias observadas en la capacidad antioxidante pueden atribuirse principalmente al estado de maduración, las condiciones de cosecha y las características genéticas del material vegetal evaluado.

### **4.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MICROCÁPSULA DE MASHUA MORADA (*Tropaeolum tuberosum*).**

#### **4.3.1 Tiempo de humectabilidad.**

En la tabla 8, se muestra los resultados del tiempo de humedecimiento de las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar.

**Tabla 8: Resultados de la determinación de la humectabilidad (min) en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	mf (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	t (min)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	1.02	1.04	1.00	1.020 ± 0.020
	T2			1.5	1.21	1.22	1.20	1.210 ± 0.010
	T3		35	0.9	1.02	1.04	1.01	1.023 ± 0.015
	T4			1.5	1.33	1.30	1.25	1.293 ± 0.040
	T5	120	25	0.9	1.15	1.14	1.16	1.150 ± 0.010
	T6			1.5	1.16	1.14	1.17	1.157 ± 0.015
	T7		35	0.9	1.15	1.16	1.14	1.150 ± 0.010
	T8			1.5	1.05	1.03	1.07	1.050 ± 0.020
	T9	130	25	0.9	1.22	1.24	1.20	1.220 ± 0.020
	T10			1.5	1.09	1.08	1.10	1.090 ± 0.010
	T11		35	0.9	0.58	0.59	0.56	0.577 ± 0.015
	T12			1.5	1.01	1.00	1.03	1.013 ± 0.015
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	7.20	7.30	7.15	7.217 ± 0.076
	T14			0.4	7.10	7.11	7.09	7.100 ± 0.010
	T15		35	0.2	5.35	5.30	5.40	5.350 ± 0.050
	T16			0.4	4.27	4.20	4.33	4.267 ± 0.065
	T17	120	25	0.2	6.25	6.26	6.24	6.250 ± 0.010
	T18			0.4	5.05	5.03	5.07	5.050 ± 0.020
	T19		35	0.2	3.46	3.44	3.50	3.467 ± 0.031
	T20			0.4	5.23	5.32	5.15	5.233 ± 0.085
T21	130	25	0.2	3.03	3.02	3.05	3.033 ± 0.015	
T22			0.4	3.06	3.05	3.07	3.060 ± 0.010	
T23		35	0.2	3.06	3.05	3.07	3.060 ± 0.010	
T24			0.4	3.56	3.40	3.58	3.513 ± 0.099	

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas, t (min). Tiempo de humectabilidad.



**Figura 7: Porcentaje de humectabilidad en las microcápsulas de la mashua morada.**

En la tabla 8 y figura 7, se observa que el menor tiempo de humectabilidad obtenido fue de  $0.577 \pm 0.015$  segundos a una temperatura de  $130^\circ \text{C}$  y 35% de flujo másico (fm), con agente encapsulante carragenina a una concentración 0.9. Dichos resultados se asemejan con el estudio realizado por Ochoa, Mendoza y Castillo (2011), quienes obtuvieron tiempos de humectabilidad entre 12.66 segundos. y 2.81 minutos en extractos de granada microencapsulados, además, los autores señalan que la humectabilidad es la primera prueba de rehidratación, la que permite evaluar el grado de instantaneidad de un producto en polvo.

Por su parte Jinapong *et al.*, (2008), realizaron un estudio sobre el polvo de leche de soja secado por aspersión y reportaron tiempos de humectabilidad entre 57 segundos y 5.11 minutos. De manera similar Al-Maqtari *et al.*, (2021), reportaron tiempos de humectabilidad entre  $2,03 \pm 0,08$  y  $4,82 \pm 0,14$  segundos en extractos de *Pulicaria jaubertii* microencapsulado con diferentes proteínas. Asimismo, señalaron que la humectabilidad de las microcápsulas está relacionada con su capacidad para absorber agua, lo cual influye en la reconstitución del polvo; por tanto, una disolución más rápida en agua refleja una mejor calidad física en el procesamiento de alimentos.

Ceballos (2008), menciona que la humectabilidad es la capacidad que poseen las partículas de adsorber agua en su superficie, dando así inicio a la reconstitución del extracto. Por otro lado, Chegini *et al.*, (2008) indicaron que la humectabilidad aumenta con el incremento del flujo de alimentación durante el secado por aspersion en el polvo de naranja. Según Barbosa-Canovas *et al.*, (2005), las partículas grandes y densas tienden a hundirse más rápido, sin embargo, la presencia de aire en su interior puede afectar su capacidad de inmersión.

De acuerdo a nuestros resultados obtenidos en el presente estudio, el agente encapsulante de goma guar mostró una dilución más lenta, debido a las estructuras de la goma guar no permite la inclusión inmediata del agua, a diferencia de la carragenina presento un tiempo de dilución menor, evidenciando una mejor humectabilidad.

En la tabla 25 (anexo 6), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la humectabilidad de las microcápsulas, donde se obtuvo un valor de  $p = 0.0000$ , el cual es menor que 0.05, indicando la existencia de diferencias altamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Esto demuestras que los agentes encapsulantes y las condiciones aplicadas influyeron significativamente en la humectabilidad de las microcápsulas, evidenciando que los distintos tratamientos generaron variaciones notables en la capacidad de absorción de agua.

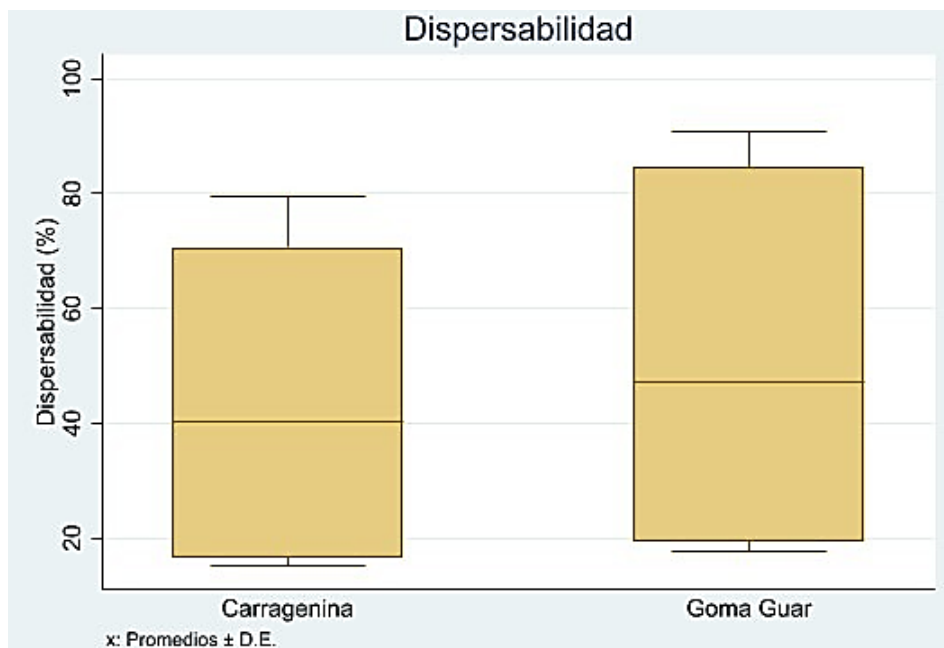
#### **4.3.2. Dispersabilidad.**

En la tabla 9, se muestran los resultados de la dispersabilidad en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar.

**Tabla 9: Resultados de la dispersabilidad en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Dispersabilidad (%)
<b>Carragenina</b> (0.9% - 1.5%)	T1	110	25	0.9	20.15	18.32	20.15	19.537 ± 1.057
	T2			1.5	18.32	16.85	16.85	17.341 ± 0.846
	T3		35	0.9	69.94	70.06	73.15	71.051 ± 1.821
	T4			1.5	78.56	75.53	70.57	74.886 ± 4.033
	T5	120	25	0.9	15.75	15.38	15.75	15.628 ± 0.211
	T6			1.5	17.95	17.58	19.05	18.194 ± 0.763
	T7		35	0.9	85.13	77.54	75.93	79.532 ± 4.912
	T8			1.5	70.21	70.21	65.08	68.497 ± 2.962
	T9	130	25	0.9	15.38	13.55	16.48	15.137 ± 1.480
	T10			1.5	16.11	15.75	15.75	15.869 ± 0.211
	T11		35	0.9	67.16	68.06	75.26	70.160 ± 4.441
	T12			1.5	62.73	58.15	61.40	60.762 ± 2.354
<b>Goma Guar</b> (0.2% - 0.4%)	T13	110	25	0.2	19.78	19.05	19.42	19.417 ± 0.366
	T14			0.4	19.42	19.05	20.15	19.538 ± 0.560
	T15		35	0.2	86.32	89.58	92.68	89.526 ± 3.177
	T16			0.4	96.79	85.58	89.87	90.747 ± 5.655
	T17	120	25	0.2	20.51	19.78	21.98	20.755 ± 1.119
	T18			0.4	20.88	22.34	19.41	20.878 ± 1.465
	T19		35	0.2	71.06	77.01	80.71	76.260 ± 4.871
	T20			0.4	75.13	80.45	91.32	82.298 ± 8.253
	T21	130	25	0.2	17.58	17.95	17.21	17.579 ± 0.366
	T22			0.4	17.21	19.78	17.94	18.311 ± 1.320
	T23		35	0.2	73.05	78.57	69.09	73.569 ± 4.759
	T24			0.4	90.87	89.54	80.01	86.805 ± 5.926

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración; r: replicas.



**Figura 8: Tiempo de dispersabilidad en las microcápsulas de la mashua morada.**

En la tabla 9 y la figura 8, se presenta el mayor porcentaje de dispersabilidad obtenido fue de  $90.747 \pm 5.655$  % a una temperatura de  $110^\circ \text{C}$  y un 35% de flujo másico (fm), con el agente encapsulante goma guar a una concentración de 0.4 %. Estos resultados son similares a los reportados por Laokuldilok y Kanha (2015), quienes obtuvieron valores entre 73,00 % a 94,44%, en las antocianinas microencapsuladas del arroz glutinoso. Además, los autores indican que una mayor dispersabilidad refleja una menor formación de grumos y aglomerados, lo que facilita la disolución del polvo en agua. Por su parte, Bhusari *et al.*, (2014) reportaron los valores entre 68,08% y 79,63 % en las microcápsulas de tamarindo, Sharma *et al.*, (2012) señalan que la dispersabilidad de los polvos representa la capacidad de un polvo para separarse en partículas individuales al dispersarse en agua siendo este un indicador importante de calidad en productos industriales. Gayathry y John (2024), en su estudio en polvos encapsulados con extracto de pseudotallo e inflorescencia de banano mostraron una dispersabilidad superior al 80%. Finalmente, Hoge Kamp y Schubert (2003), mencionan que la mayoría de los alimentos en polvo están destinados a la rehidratación, por lo que el polvo ideal debería mojarse rápida y completamente, hundirse en lugar de flotar y dispersarse sin formar grumos.

En general, la goma guar presenta una dispersabilidad superior en comparación con la carragenina, especialmente a temperaturas más bajas. A temperaturas más altas, ambas muestran una reducción en su eficacia.

En la tabla 28 (anexo 7), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la dispersabilidad de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.5656$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Lo cual nos indica que los agentes encapsulantes y las condiciones de secado aplicadas no ejercieron una influencia significativa sobre la dispersabilidad de las microcápsulas de mashua morada, manteniendo valores estadísticamente similares entre los grupos analizados.

#### 4.3.3. Solubilidad.

En la tabla 10, se muestran los resultados de la solubilidad en porcentajes (%) en las antocianinas microencapsuladas de mashua morada en carragenina y goma guar.

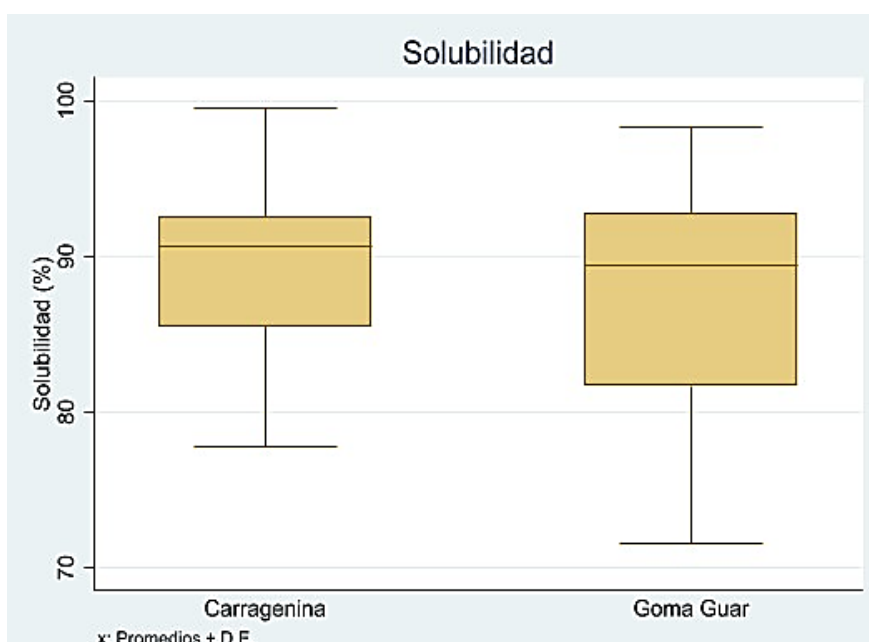
**Tabla 10: Resultados de la determinación de la solubilidad (%) en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Solubilidad (%)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	85.00	86.50	85.00	85.500 ± 0.866
	T2			1.5	85.89	88.13	96.58	90.198 ± 5.639
	T3		35	0.9	87.50	92.60	95.50	91.867 ± 4.050
	T4			1.5	81.50	76.50	75.30	77.767 ± 3.288
	T5	120	25	0.9	100.00	98.95	99.58	99.510 ± 0.528
	T6			1.5	87.12	98.95	95.12	93.732 ± 6.034
	T7		35	0.9	96.30	89.50	94.00	93.267 ± 3.459
	T8			1.5	83.50	83.50	86.50	84.500 ± 1.732
	T9	130	25	0.9	85.00	85.99	86.32	85.769 ± 0.686
	T10			1.5	95.24	87.89	89.85	90.992 ± 3.804
	T11		35	0.9	82.00	89.50	85.00	85.500 ± 3.775
	T12			1.5	97.00	88.00	89.60	91.533 ± 4.801

<< Continua >>

<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	71.98	70.00	72.85	71.610 ± 1.461
	T14			0.4	85.00	85.53	87.51	86.013 ± 1.323
	T15		35	0.2	86.50	92.50	94.00	91.000 ± 3.969
	T16	0.4		95.60	89.60	98.50	94.567 ± 4.539	
	T17	120	25	0.2	75.81	85.00	78.55	79.787 ± 4.718
	T18			0.4	75.80	85.00	76.95	79.250 ± 5.013
	T19		35	0.2	91.00	87.50	94.00	90.833 ± 3.253
	T20			0.4	91.00	89.50	85.30	88.600 ± 2.955
	T21	130	25	0.2	81.75	85.00	83.98	83.577 ± 1.662
	T22			0.4	99.75	95.11	100.00	98.287 ± 2.754
	T23		35	0.2	89.50	92.50	88.70	90.233 ± 2.003
	T24			0.4	97.50	98.50	95.30	97.100 ± 1.637

Nota: °C: Temperatura, fm %: flujo másico, C<sup>2</sup>: Concentración, r: replicas.



**Figura 9: Porcentaje de solubilidad en las microcápsulas de la mashua morada.**

La tabla 10 y figura 9, se muestra los valores obtenidos de la solubilidad %, el mayor porcentaje de solubilidad obtenido fue de  $99.510 \pm 0.528$  % a una temperatura de  $120^\circ\text{C}$  y un 25% de flujo másico (mf), con el agente encapsulante carragenina a una concentración de 0.9 %. Estos resultados son similares a los obtenidos por Al-Maqtari *et al.*, (2021) obtuvieron valores entre 61,45 % y 99,61 %, en extractos de *Pulicaria jaubertii* microencapsulada Asimismo Laokuldilok y Kanha (2015), reportaron una solubilidad entre 76,23 % y 91,79 % en los polvos reconstituidos del arroz glutinoso secados por aspersión. Asimismo, los autores mencionan que el aumento de la temperatura del aire de entrada incrementó la solubilidad de los polvos de antocianinas. Por su parte, Fazaeli *et al.*, (2012)

reportaron un 87 % de solubilidad en la microencapsulación de extracto de morera negra, trabajando a temperaturas de 110°C, 130°C y 150 °C, utilizando de goma arábica y maltodextrina como agentes encapsulantes. De acuerdo al estudio realizado por Kunapornsujarit e Intipunya (2013), mencionaron que la solubilidad de la bebida de longan en polvo aumentó al incrementarse la temperatura del aire de entrada. De igual manera, Jittanit *et al.*, (2011) ,observaron que la temperatura de secado tiene un efecto positivo sobre la solubilidad, ya que las altas temperaturas del aire de secado por aspersión generan una mayor porosidad de los polvos. En esta misma línea, Arrazola *et al.*, (2014), señalaron que una mayor porosidad produce una mayor superficie específica del polvo, lo que incrementa área de contacto entre el polvo y el agua.

Por otro lado, Rivas (2010), observó que la solubilidad no varía significativamente con el aumento de la temperatura de salida del aire, obteniendo valores entre el 75% y 76 % en polvos de jugo de chirimoya microencapsulados con maltodextrina en un rango de temperatura de 120 a 160 °C. De manera similar, Ceballos (2008), reportó valores de solubilidad entre 84.8 y 91.5 % en polvos deshidratados de frutas lo que demuestra que este parámetro puede variar según el tipo de matriz y agente encapsulante empleado. Asimismo, Nguyen *et al.*, (2022), mencionan que una alta solubilidad del colorante en polvo es un indicador de sus excelentes propiedades colorantes y de una adecuada interacción entre el núcleo y el material de pared.

Por su parte, Grabowski *et al.*, (2006), informaron porcentajes de solubilidad entre 57.0 % y 88.4% en polvo microencapsulado de pure de camote. Asimismo, Rezende *et al.*, (2018) señalaron que diversos factores, incluida la composición del alimento, influyen significativamente en la solubilidad del polvo en agua. En otro estudio, Tomsone *et al.*, (2020) obtuvieron como resultado los valores entre 46,57% y 91,02% en la microencapsulación de jugo de hoja y raíz de rábano picante. Por su parte Goula *et al.*, (2004), indicaron que la solubilidad disminuye al aumentar de la temperatura del aire de entrada en el secado por aspersión; además, señalaron que la menor solubilidad observada a 110 °C podría deberse a la presencia de aglomerados no completamente secos dentro de la mas de polvo. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango reportado en investigaciones previas.

En la tabla 31 (anexo 8), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la solubilidad de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.5729$ , el cual es mayor que 0.05,

indicando que no existen diferencias significativas entre los agentes evaluados. Lo cual nos indica que los agentes encapsulantes, así como los tratamientos aplicados, no ejercieron una influencia significativa sobre la solubilidad de las microcápsulas, manteniendo valores estadísticamente similares entre sí.

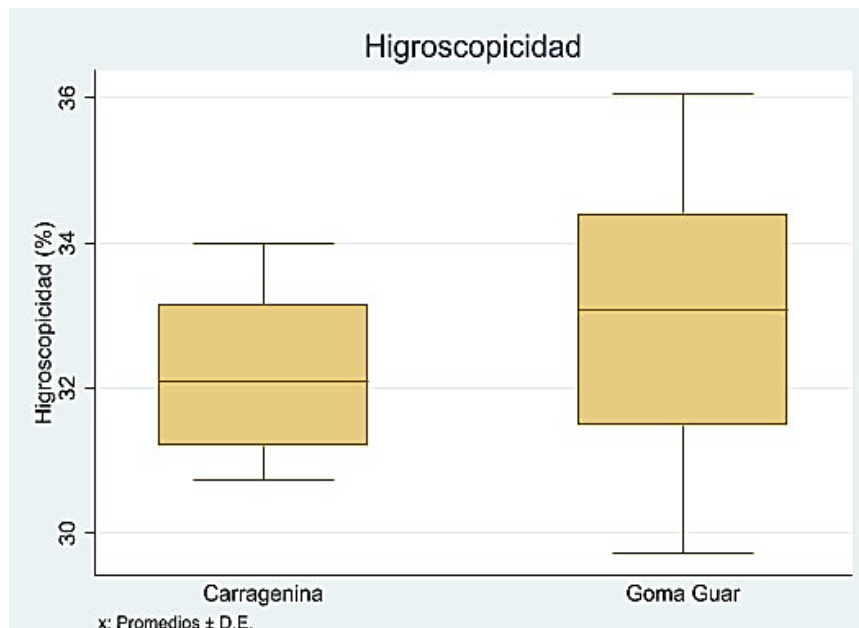
#### 4.3.4. Higroscopicidad.

En la tabla 11, se muestran los resultados de la higroscopicidad en porcentajes (%) en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar.

**Tabla 11: Resultados de la determinación de la higroscopicidad (%) en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Higroscopicidad (%)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	30.50	30.92	32.24	31.221 ± 0.911
	T2			1.5	33.63	31.72	30.74	32.029 ± 1.470
	T3		35	0.9	29.71	34.25	32.58	32.178 ± 2.294
	T4			1.5	32.78	34.65	34.56	33.997 ± 1.054
	T5	120	25	0.9	32.73	32.73	35.13	33.530 ± 1.387
	T6			1.5	32.20	35.24	33.12	33.516 ± 1.560
	T7		35	0.9	31.20	33.82	31.79	32.269 ± 1.372
	T8			1.5	31.98	32.78	33.61	32.792 ± 0.815
	T9	130	25	0.9	31.74	30.98	30.43	31.049 ± 0.654
	T10			1.5	29.16	30.45	32.58	30.731 ± 1.729
	T11		35	0.9	30.44	31.79	33.10	31.779 ± 1.330
	T12			1.5	30.94	30.94	31.69	31.190 ± 0.435
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	32.55	33.12	34.95	33.540 ± 1.253
	T14			0.4	34.72	35.36	38.11	36.064 ± 1.799
	T15		35	0.2	31.23	32.65	33.74	32.540 ± 1.259
	T16			0.4	31.22	34.83	34.10	33.387 ± 1.908
	T17	120	25	0.2	33.42	34.21	35.33	34.317 ± 0.959
	T18			0.4	34.35	34.72	34.44	34.505 ± 0.193
	T19		35	0.2	29.72	31.30	31.95	30.992 ± 1.145
	T20			0.4	30.78	33.46	31.70	31.978 ± 1.360
	T21	130	25	0.2	36.03	36.69	33.78	35.501 ± 1.527
	T22			0.4	33.82	32.21	32.21	32.749 ± 0.927
	T23		35	0.2	28.89	30.71	29.58	29.726 ± 0.919
	T24			0.4	28.92	30.28	30.32	29.839 ± 0.798

Nota: °C: Temperatura, fm %: flujo másico, C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 10: Porcentaje de higroscopicidad en las microcápsulas de la mashua morada.**

En la tabla 11 y la figura 10, muestra los valores de higroscopicidad. El menor porcentaje obtenido fue  $29.726 \pm 0.919$  a una temperatura de  $130^\circ \text{C}$  y una 35 de flujo másico (mf), con el agente encapsulante goma guar a una concentración de 0.2%. Dichos resultados son similares a los obtenidos por, Bhusari *et al.*, (2014), quienes obtuvieron resultados que variaron entre 16,61 y 28,96 % en el tamarindo microencapsulado. Por su parte daSilva *et al.*, (2016), reportaron valores entre 12.04 % y 15.40 de la antocianina microencapsulada de la jussara. En estudios realizados por Cai y Corke (2000), reportaron que las propiedades higroscópicas de 44.6 % en microcápsulas de amaranto, a un flujo de alimentación de 39.2 % de sólidos en donde utilizaron con agente encapsulante maltodextrina y al emplearse una alimentación de 10 % de sólidos, la higroscopicidad se incrementó a 49.5 %, lo que evidencia que el contenido de sólidos en la formulación influye directamente en la capacidad de absorción de humedad del polvo obtenido. Por su parte, Khazaei *et al.*, (2014) informaron valores que oscilaban entre 46,60% y 63,47% para el extracto de pigmento de pétalo de azafrán, mientras que Rezende *et al.*, (2018), reportaron los valores más bajos de higroscopicidad, entre 9,24% y 12,46%, señalando que una menor higroscopicidad de los polvos facilita su conservación y la preservación del color y de los compuestos bioactivos en los polvos microencapsulados.

Asimismo, Tonon *et al.*, (2008), mostraron una relación inversa entre la higroscopicidad y el contenido de humedad de los polvos. Señalando que aquellos productos microencapsulados a mayores temperaturas de entrada presentan mayor higroscopicidad,

debido a su menor contenido de agua residual, lo que genera un gradiente de concentración favorable de absorción de humedad ambiental. Esta diferencia de concentración de vapor entre el producto y el aire circundante favorece la captación de agua, especialmente en los polvos con menor humedad inicial. Por su parte Cabrera *et al.*, (2009), observaron que tanto la higroscopicidad con el contenido de humedad disminuyó en el rango de temperatura entre 188 y 190 °C, indicando que, en general, ambos parámetros tienden a disminuir con el aumento de temperatura de secado.

En la tabla 34 (anexo 9), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la higroscopicidad de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.2809$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento no influyeron de manera significativa en la higroscopicidad de las microcápsulas de mashua morada. Por ello la capacidad de absorción de humedad del polvo fue similar entre los tratamientos, sin presentar variaciones relevantes desde el punto de vista estadístico.

#### 4.3.5. Densidad aparente.

Los resultados de la densidad aparente de las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar, se muestran en la tabla 12.

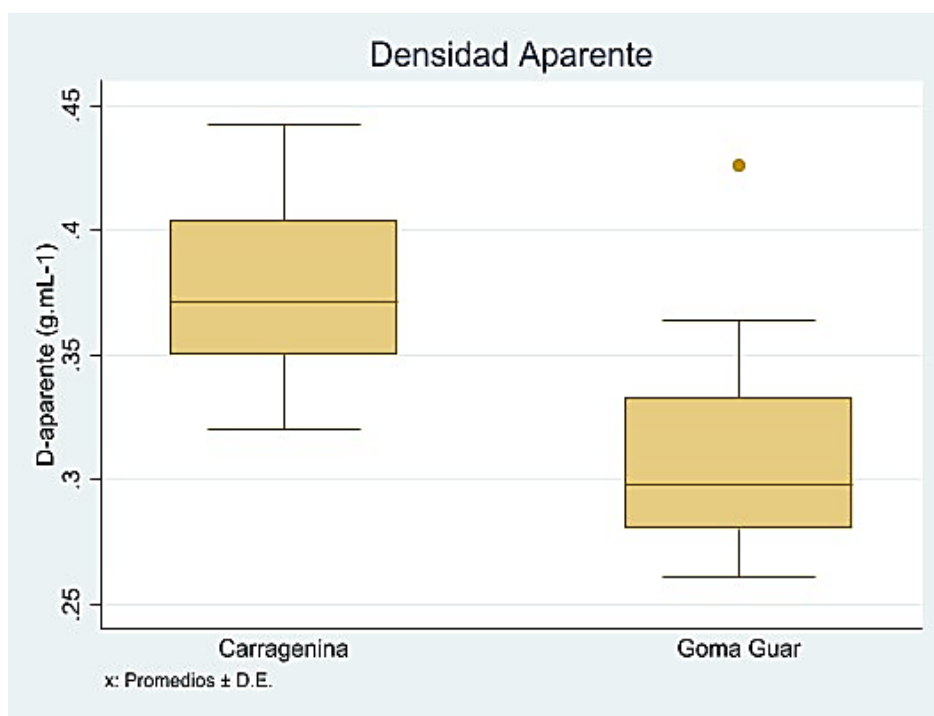
**Tabla 12: Resultados de la determinación de densidad aparente en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	Trat.	°C	mf (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	D-aparente (g.mL <sup>-1</sup> )
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	<b>1</b>	110	25	0.9	0.37	0.37	0.37	0.374 ± 0.001
	T2	<b>2</b>			1.5	0.38	0.38	0.38	0.380 ± 0.002
	T3	<b>3</b>		35	0.9	0.35	0.35	0.35	0.351 ± 0.000
	T4	<b>4</b>			1.5	0.37	0.37	0.37	0.368 ± 0.000
	T5	<b>5</b>	120	25	0.9	0.42	0.42	0.42	0.420 ± 0.000
	T6	<b>6</b>			1.5	0.36	0.36	0.36	0.364 ± 0.000
	T7	<b>7</b>		35	0.9	0.41	0.41	0.41	0.406 ± 0.000
	T8	<b>8</b>			1.5	0.40	0.40	0.40	0.402 ± 0.000
	T9	<b>9</b>	130	25	0.9	0.33	0.33	0.33	0.332 ± 0.000
	T10	<b>10</b>			1.5	0.44	0.44	0.44	0.442 ± 0.000
	T11	<b>11</b>		35	0.9	0.32	0.32	0.32	0.320 ± 0.000
	T12	<b>12</b>			1.5	0.35	0.35	0.35	0.350 ± 0.000

<< Continua >>

<b>Goma Guar</b> (0.2% - 0.4%)	T13	<b>13</b>	110	25	0.2	0.36	0.35	0.35	0.354 ± 0.001
	T14	<b>14</b>			0.4	0.36	0.37	0.36	0.364 ± 0.002
	T15	<b>15</b>		35	0.2	0.30	0.30	0.30	0.298 ± 0.000
	T16	<b>16</b>			0.4	0.26	0.26	0.26	0.261 ± 0.000
	T17	<b>17</b>	120	25	0.2	0.43	0.42	0.43	0.426 ± 0.002
	T18	<b>18</b>			0.4	0.30	0.30	0.30	0.298 ± 0.000
	T19	<b>19</b>		35	0.2	0.30	0.30	0.30	0.304 ± 0.000
	T20	<b>20</b>			0.4	0.26	0.26	0.26	0.261 ± 0.000
	T21	<b>21</b>	130	25	0.2	0.31	0.31	0.31	0.312 ± 0.002
	T22	<b>22</b>			0.4	0.29	0.29	0.29	0.288 ± 0.000
	T23	<b>23</b>		35	0.2	0.30	0.30	0.30	0.298 ± 0.000
	T24	<b>24</b>			0.4	0.27	0.27	0.27	0.273 ± 0.000

Nota: °C: Temperatura, fm %: flujo másico, C<sup>o</sup>: Concentración, r: replicas.



**Figura 11: Porcentaje de la densidad aparente en las microcápsulas.**

En la tabla 12 y figura 11, se muestran los valores de la densidad aparente, el valor más alto obtenido fue de  $0.442 \pm 0.000$  g/mL a una temperatura de  $130^{\circ}$  C y un 25% de flujo másico (mf), con agente el encapsulante carragenina a una concentración de 1.5 %. Cuyos resultados son similares a los reportados por Fazaeli *et al.*, (2012) quienes informaron que la densidad aparente de los polvos de morera negra varió de 0,35 a 0,55 g/ml, señalando que un aumento en la temperatura del aire de entrada provocó una reducción en dicho parámetro. Por su parte,

Bhusari *et al.*, (2014) obtuvieron valores de densidad aparente en un rango superior, entre 0,391 y 0,685 g/ml. Asimismo, Aguilar (2023) reportó que la densidad aparente del rabanito microencapsulado, en tratamientos optimizados con maltodextrina y goma guar, osciló entre 0.35 y 0.25 g./ml, respectivamente.

Tonon *et al.*, (2010), quienes microencapsularon extractos del fruto de Acai (*Euterpe oleracea* Mart.) utilizando maltodextrina y goma arábiga como agentes encapsulantes, obtuvieron valores de densidad aparente entre 0,37 y 0,39 g/ml. Por otro lado, Meenakshi, Sasikala, y Pavithra (2018), reportaron el valor de 0.55 g/cm<sup>3</sup> de densidad aparente los cuales se encuentran por encima del rango observado en los resultados experimentales de este estudio.

De acuerdo con las investigaciones de Phisut (2012b) y Tonon *et al.*, (2011), el aumento de la temperatura durante el proceso de secado por aspersión provoca la reducción de la densidad aparente. Del mismo modo, Cai y Corke, (2000), obtuvieron valores entre 0.52 y 0.67 g/mL en microcápsulas de betacianina de amaranto a una temperatura de entrada de 210° C y 150° C, respectivamente. De acuerdo a su estudio realizado, Jittanit *et al.*, 2011), indicaron que las altas temperaturas pueden influir significativamente en la densidad de las partículas, debido a la elevada tasa de evaporación de la humedad, lo que reduce la densidad del polvo seco.

Según Sharif *et al.*, (2020), la densidad aparente de un polvo microencapsulado es una propiedad física importante que influye en su uso y manipulación. Una densidad elevada indica que los espacios vacíos dentro de las partículas son menores, lo que podría mejorar la uniformidad y estabilidad de la dispersión del polvo en diferentes matrices. De acuerdo con el estudio de Pieczykolan y Kurek (2019), los polvos formulados con inulina (IN), pectina (PEC) y goma guar (GG) presentaron densidades superiores a 0.90 g/cm<sup>3</sup>, evidenciando la influencia del tipo de material de recubrimiento en esta propiedad.

En comparación con estos valores, los resultados obtenidos en el presente estudio son relativamente bajos tanto para la carragenina y goma guar. Las variaciones podrían atribuirse a la relación existente entre la densidad aparente y el peso molecular de los materiales de recubrimiento. Los compuestos con menor masa molecular presentan mayor dificultad para llenar los espacios intermoleculares, generando partículas menos compactas y con mayor volumen aparente. Asimismo, la velocidad de secado influye significativamente

en esta propiedad, ya que un secado más rápido tiende a producir partículas menos densas debido a la formación de estructuras más porosas.

En la tabla 37 (anexo 10), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la densidad aparente de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.0012$ , el cual es menor que 0.05, lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Estos resultados demuestran que los agentes encapsulantes y las condiciones aplicadas influyeron de manera significativa en la densidad aparente de las microcápsulas. El cual nos indica que los distintos tratamientos provocaron variaciones notables en la compactación y estructura de las partículas obtenidas, afectando directamente su densidad.

#### 4.3.6 Rendimiento

Los resultados del rendimiento de las microcápsulas de mashua morada micro encapsuladas en carragenina y goma guar, se presenta en la tabla 13.

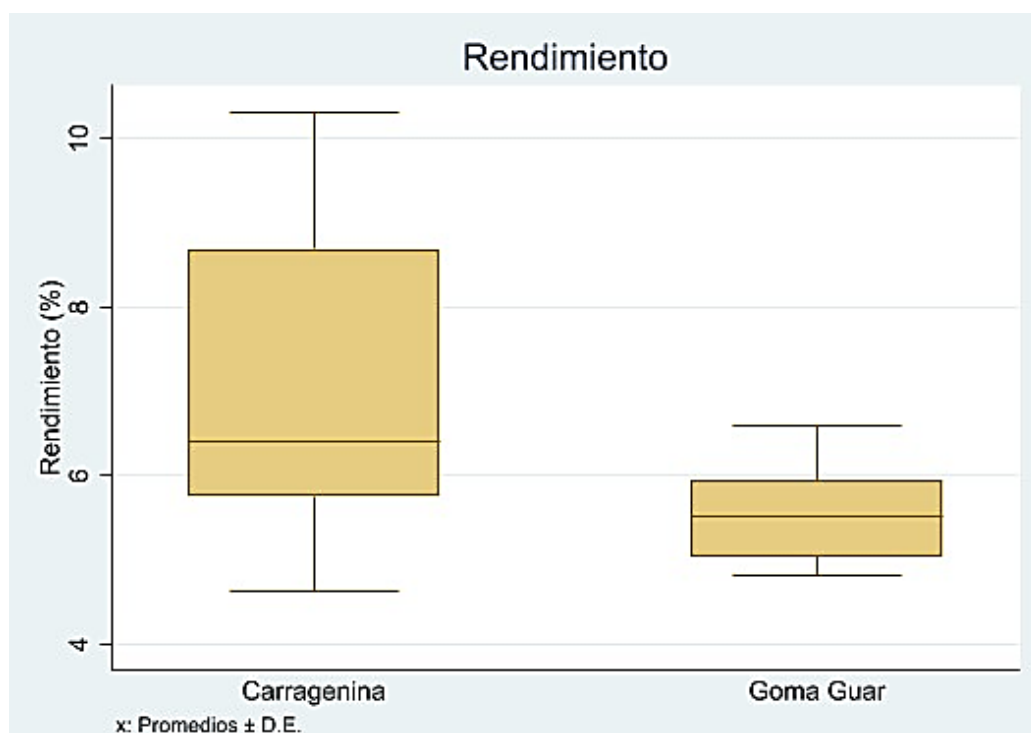
**Tabla 13: Resultados del rendimiento de las microcápsulas de mashua morada.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Rendimiento (%)
<b>Carragenina</b> <b>(0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	6.06	5.81	5.95	5.939 ± 0.122
	T2			1.5	6.07	6.27	6.38	6.240 ± 0.156
	T3		35	0.9	5.96	5.79	5.75	5.834 ± 0.112
	T4			1.5	4.86	4.72	4.33	4.635 ± 0.276
	T5	120	25	0.9	10.30	10.21	10.45	10.319 ± 0.122
	T6			1.5	6.86	7.13	6.92	6.966 ± 0.141
	T7		35	0.9	5.65	5.43	5.97	5.682 ± 0.269
	T8			1.5	4.93	5.10	4.91	4.981 ± 0.103
	T9	130	25	0.9	9.46	9.45	10.40	9.768 ± 0.543
	T10			1.5	10.06	10.06	9.96	10.025 ± 0.055
	T11		35	0.9	7.72	7.88	7.25	7.617 ± 0.330
	T12			1.5	6.71	6.63	6.34	6.560 ± 0.194

<< Continua >>

<b>Goma Guar</b> <b>(0.2% - 0.4%)</b>	T13	25	0.2	4.93	4.74	4.80	4.820 ± 0.098
	T14		0.4	4.96	4.89	5.23	5.025 ± 0.182
	T15	35	0.2	5.82	6.02	5.98	5.939 ± 0.108
	T16		0.4	6.33	6.55	6.91	6.595 ± 0.293
	T17	110	0.2	5.60	5.63	5.68	5.637 ± 0.041
	T18		0.4	6.16	6.09	6.37	6.207 ± 0.146
	T19		0.2	5.03	5.26	4.90	5.063 ± 0.183
	T20		0.4	5.14	4.92	4.70	4.921 ± 0.219
	T21	120	0.2	5.45	5.18	5.53	5.386 ± 0.183
	T22		0.4	5.01	5.06	5.24	5.104 ± 0.121
	T23		0.2	6.18	5.81	5.89	5.963 ± 0.193
	T24		0.4	5.80	6.09	5.54	5.810 ± 0.277

Nota: C°: Temperatura, fm %: flujo másico, C%: Concentración, r: replicas.



**Figura 12: Porcentaje de rendimiento en las microcápsulas.**

La tabla 13 y figura 12, se muestran los porcentajes del rendimiento obtenidos, el mayor porcentaje obtenido fue de  $10.319 \pm 0.122$  % a una temperatura de  $120^\circ$  C y un 25 % de flujo másico (mf), con el agente encapsulante carragenina a una concentración de 0.9%. Dichos resultados son similares con los reportados por Arteaga y Arteaga (2016), quienes obtuvieron valores de 11,80% y 12,09% en el microencapsulado del arándano.

Según su estudio realizado por Laokuldilok y Kanha (2015), mencionan que una mayor temperatura de secado favorece la obtención de un rendimiento superior del polvo. De manera similar, Kunapornsujarit e Intipunya (2013), mencionan que el uso de una temperatura elevadas del aire de entrada puede reducir la probabilidad de que el polvo se adhiera en las paredes de la cámara de secado del atomizador, lo que mejora el rendimiento del proceso. Por otro lado, Nayak y Rastogi (2010) señalan que la concentración del agente microencapsulante podría afectar en el rendimiento, ya que una mayor cantidad de agente encapsulante puede incrementar la cantidad de material adherido a las paredes del secador, reduciendo el rendimiento final.

Asimismo, Fazaeli *et al.*, (2012) indicaron que un aumento en la temperatura del aire de entrada genera un incremento en el rendimiento del proceso, de igual manera. Tonon *et al.*, (2008) y Tee *et al.*, (2012) mencionaron que el rendimiento aumentó con la temperatura del aire de entrada, probablemente debido a una mayor eficiencia térmica y a una mejora en los procesos de transferencia de masa, lo que conduce a un rendimiento más elevado. Sin embargo, Tonon *et al.*, (2008) observaron un efecto negativo de la concentración de maltodextrina en el rendimiento del proceso, probablemente debido al incremento de la viscosidad de la mezcla. Este incremento en la viscosidad de alimentación puede ocasionar que los sólidos se adhieran a las paredes de la cámara principal, lo que podría reducir el rendimiento del proceso

En nuestro estudio, esta probabilidad fue mayor debido a que los agentes microencapsulantes empleados fueron gomas, lo que explicaría el bajo rendimiento obtenido. Esta observación coincide con lo reportado por (Bhandari *et al.*, 2007; Arrazola *et al.*, 2014) quienes, mencionan que durante el secado por aspersion se producen perdidas de polvo que reducen el rendimiento, dichos autores señalan que este fenómeno se debe principalmente a la aglomeración de algunas partículas que se adhieren a las paredes de la cámara de secado y el ciclón, disminuyendo así la recuperación final del producto.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, se observó que al acondicionar el extracto con el agente microencapsulante goma guar, la viscosidad aumento, afectando negativamente. Este hallazgo coincide con lo que reportado por los autores antes mencionados.

En la tabla 40 (anexo 11), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de las microcápsulas. El análisis mostró un valor  $p = 0.0186$ , el cual es menor que 0.05,

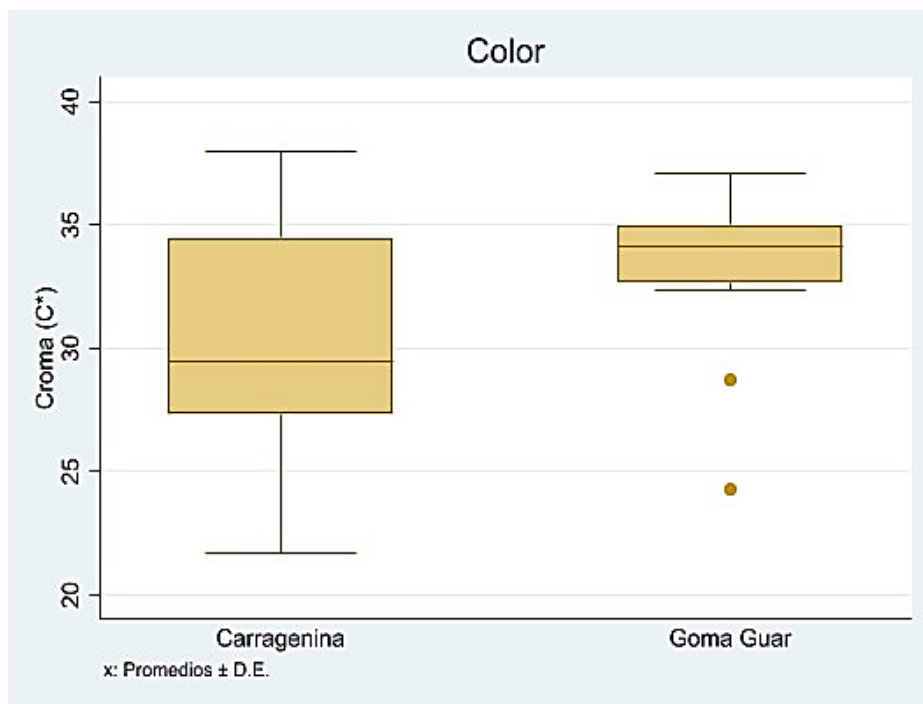
indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento influyeron significativamente en el rendimiento del proceso de microencapsulación. En otras palabras, los distintos tratamientos generaron variaciones en la cantidad de polvo obtenido, evidenciando diferencias en la eficiencia del secado y en la recuperación del material sólido.

#### 4.3.7 Determinación del color (croma C\*)

**Tabla 14: Determinación del color de las microcápsulas de mashua morada, expresado en el sistema CIE L\*a\*b\*.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	L	a*	b*	Croma (C*)
	T1	110	25	0.9	49.459 ± 1.191	11.935 ± 0.621	-18.123 ± 0.360	21.704 ± 0.502
	T2			1.5	50.460 ± 1.536	18.510 ± 0.153	-18.731 ± 0.132	26.333 ± 0.201
	T3		35	0.9	44.247 ± 0.450	24.103 ± 0.469	-23.453 ± 0.678	33.631 ± 0.794
	T4			1.5	45.605 ± 1.042	17.589 ± 0.117	-24.098 ± 0.123	29.834 ± 0.169
Carrage nina (0.9% - 1.5%)	T5	120	25	0.9	39.277 ± 1.435	26.516 ± 0.480	-27.213 ± 0.505	37.995 ± 0.696
	T6			1.5	52.271 ± 0.672	23.935 ± 0.604	-27.210 ± 0.750	36.240 ± 0.960
	T7	35	0.9	51.606 ± 0.994	20.178 ± 0.833	-24.230 ± 0.706	31.534 ± 0.988	
	T8		1.5	59.511 ± 0.436	16.738 ± 0.111	-23.741 ± 0.258	29.048 ± 0.274	
	T9	130	25	0.9	48.962 ± 1.465	20.802 ± 0.159	-16.089 ± 0.104	26.298 ± 0.190
	T10			1.5	47.283 ± 0.437	18.853 ± 1.005	-21.243 ± 0.346	28.407 ± 0.914
	T11		35	0.9	41.638 ± 1.408	24.043 ± 0.357	-25.843 ± 0.477	35.298 ± 0.532
	T12			1.5	51.054 ± 0.787	16.920 ± 0.125	-22.718 ± 0.283	28.327 ± 0.193
	T13	110	25	0.2	43.887 ± 2.409	21.366 ± 0.764	-19.182 ± 0.350	28.715 ± 0.746
	T14			0.4	44.365 ± 0.292	22.213 ± 1.196	-23.489 ± 0.729	32.335 ± 1.183
	T15		35	0.2	54.502 ± 0.823	29.375 ± 0.065	-19.348 ± 0.349	35.175 ± 0.167
	T16			0.4	54.738 ± 1.220	29.283 ± 0.675	-19.168 ± 0.848	35.000 ± 1.030
Goma Guar (0.2% - 0.4%)	T17	120	25	0.2	41.453 ± 1.291	24.906 ± 0.295	-23.770 ± 0.318	34.430 ± 0.270
	T18			0.4	39.763 ± 0.950	26.461 ± 1.009	-20.076 ± 0.254	33.216 ± 0.951
	T19	35	0.2	46.392 ± 1.950	26.744 ± 0.701	-20.794 ± 0.664	33.877 ± 0.961	
	T20		0.4	42.220 ± 1.046	27.119 ± 0.302	-25.263 ± 0.426	37.064 ± 0.407	
	T21	130	25	0.2	39.843 ± 0.952	26.262 ± 0.690	-19.952 ± 0.041	32.983 ± 0.570
	T22			0.4	49.751 ± 1.082	20.773 ± 0.776	-12.565 ± 0.499	24.279 ± 0.867
	T23		35	0.2	50.328 ± 0.561	26.068 ± 0.192	-23.353 ± 0.342	34.999 ± 0.371
	T24			0.4	53.376 ± 0.323	25.721 ± 0.449	-22.846 ± 0.641	34.406 ± 0.478

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 13: Determinación de color croma (C\*) de las microcápsulas.**

La tabla 14 y figura 12, se muestran valores de croma, el valor más alto del croma (C\*) en las microcápsulas de mashua morada fue de  $37.995 \pm 0.696$  a una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$  con flujo masico de 25% con el agente encapsulante de carragenina a una concentración de 0.9 %, este parámetro refleja la pureza cromática del tono, por lo que valores más altos de C\* corresponden a colores más vivos e intensos. En comparación con otros estudios, el valor obtenido fue superior a lo reportado en diversas investigaciones de microencapsulación de extractos ricos en antocianinas. Tonon *et al.*, (2008) reportaron valores de C\* entre 22.4 y 25.7 en polvos de jugo de açai (*Euterpe oleracea*) microencapsulados con goma arábica, además mencionan que una mayor cantidad de agente encapsulante puede reducir el valor de C\*, generando una cromaticidad poco saturado. de manera similar Fazaeli *et al.*, (2012) al microencapsular jugo de mora negra (*morus nigra*) mediante secado por aspersion con maltodextrina obtuvieron valores de C\* entre 26.58 y 29.40.

Por otro lado, Phisut y Laohasongkram (2011), al trabajar con extractos de fruta del dragón roja microencapsulados con maltodextrina y goma arábica, obtuvieron valores de croma entre  $8.59 \pm 0.02$  y  $13.31 \pm 0.23$ , indicando colores menos saturados. Igualmente, Liu *et al.*, (2015) encontraron valores de C\* entre  $10.48 \pm 1.88$  y  $14.02 \pm 1.34$  en microcápsulas de batata morada (*Ipomoea batatas*) secadas por atomización. Asimismo, He *et al.*, (2012) señalaron que el pH influye significativamente en el color de las antocianinas. Cabe destacar

que los compuestos pigmentarios suelen estar ocultos dentro de la matriz, por lo que la medición del color sin reconstitución puede llevar a interpretaciones erróneas.

Según, Pieczykolan y Kurek (2019), concluyeron que el valor más bajo de  $a^*$ , asociado con el color rojo, puede indicar el mejor efecto de encapsulación. Por su parte, Villacrez *et al.*, (2014), evaluaron los parámetros de color de extracto de baya de los Andes secado por aspersión utilizando distintos materiales de pared y observaron que los valores de croma ( $C^*$ ) y  $a^*$  eran mayores en las soluciones reconstituidas que en los polvos, indicando una mayor intensidad del color rojo tras la liberación de las antocianinas encapsuladas.

En este caso, el parámetro  $C^*$  puede utilizarse para evaluar el efecto del secado, ya que está relacionado con la intensidad del color rojo y puede asociarse con el contenido de antocianinas (daSilva *et al.*, 2016; Santiago *et al.*, 2016). Los polvos suelen presentar una coloración más clara en comparación con la materia prima debido a la presencia de agentes encapsulantes de color blancos (Pereira *et al.*, 2018; Santiago *et al.*, 2016; Moser *et al.*, 2017).

DaSilva *et al.*, (2016), informaron que los valores  $C^*$  obtenidos en micropartículas fueron superiores a los obtenidos para los extractos de pulpa de jussara, debido al color saturación después del secado, lo cual es una característica deseable. Debido a la naturaleza termolábil de las antocianinas, la temperatura de secado también puede afectar los parámetros de color. Por su parte, Laokuldilok y Kanha (2017) microencapsularon antocianinas de arroz glutinoso negro utilizando maltodextrina producido a partir de una fracción de arroz partido como material de pared a una temperatura del aire de entrada de 140 °C a 180 °C

Según su estudio realizado, Obón *et al.*, (2009) y Ahmed *et al.*, (2010), las propiedades de color están relacionadas con los pigmentos, los cuales pueden ser protegidos mediante microencapsulación, prolongando así su vida útil. Sin embargo, por la misma naturaleza del proceso, estos pueden presentar variaciones en las propiedades de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , ya que diferentes estudios indican que el color puede verse afectado por el material de encapsulación la concentración del agente y la temperatura de deshidratación, entre otros factores.

Finalmente (Chirinos *et al.*, 2008) mencionan el alto valor de croma registrado en las microcápsulas de mashua morada sugiere una eficiente preservación y expresión de los pigmentos antociánicos durante la reconstitución del polvo. Esto puede estar relacionado con

la naturaleza del extracto de mashua, rico en antocianinas derivadas de pelargonidina y delfinidina, las cuales presentan tonos intensos y estables en condiciones de acidez moderada

En la tabla 43 (anexo 12), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al parámetro de color (C\*) de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.1302$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones aplicadas no influyeron significativamente en la intensidad o saturación del color (C\*) de las microcápsulas de mashua morada. Se puede decir que los tratamientos presentaron valores de color similares, lo que indica una estabilidad cromática entre los diferentes procesos evaluados.

#### 4.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MICROCÁPSULA DE MASHUA MORADA (*Tropaeolum tuberosum*).

##### 4.4.1 Contenido de humedad.

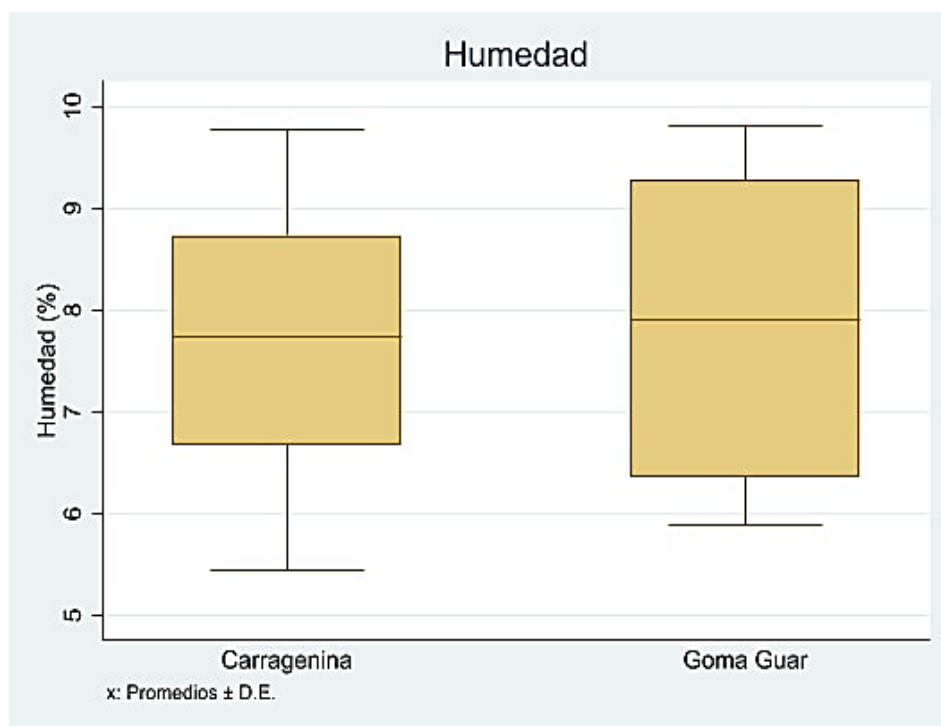
Los resultados del contenido de humedad en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas con carragenina y goma guar, se presenta en la tabla 15.

**Tabla 15:** Resultados de la determinación de humedad en las microcápsulas de antocianinas.

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C* (%)	r1	r2	r3	Humedad (%)
<b>Carragenina</b> <b>(0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	10.00	6.67	10.00	8.889 ± 1.925
	T2			1.5	9.00	10.00	10.33	9.778 ± 0.694
	T3		35	0.9	8.12	7.78	8.00	7.967 ± 0.172
	T4			1.5	7.33	6.85	6.67	6.950 ± 0.344
	T5	120	25	0.9	7.67	9.00	7.00	7.889 ± 1.018
	T6			1.5	6.67	9.00	10.67	8.778 ± 2.009
	T7		35	0.9	9.33	8.75	8.00	8.694 ± 0.668
	T8			1.5	7.65	7.53	7.55	7.577 ± 0.064
<< Continua >>	T9	130	25	0.9	6.67	3.33	7.00	5.667 ± 2.028
	T10			1.5	7.33	6.67	2.33	5.444 ± 2.715
	T11		35	0.9	7.75	6.25	7.12	7.040 ± 0.753
	T12			1.5	6.75	6.51	5.94	6.400 ± 0.416

<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	25	0.2	8.33	10.33	10.00	9.556 ± 1.072
	T14		0.4	10.00	10.67	6.33	9.000 ± 2.333
	T15	35	0.2	9.57	9.83	10.05	9.817 ± 0.240
	T16		0.4	10.03	9.58	9.83	9.813 ± 0.225
	T17	25	0.2	13.33	7.00	0.67	7.000 ± 6.333
	T18		0.4	10.00	10.00	3.33	7.778 ± 3.849
	T19	35	0.2	7.67	7.85	8.52	8.012 ± 0.449
	T20		0.4	8.45	7.91	7.85	8.070 ± 0.330
	T21	25	0.2	3.00	4.67	11.67	6.444 ± 4.599
	T22		0.4	6.00	5.33	6.33	5.889 ± 0.509
	T23	35	0.2	5.89	5.98	6.45	6.107 ± 0.301
	T24		0.4	6.49	6.58	5.79	6.287 ± 0.432

Nota: C°: Temperatura; fm %: flujo másico; C%: Concentración, r: replicas.



**Figura 14: Valor obtenido de humedad de las microcápsulas de la mashua morada.**

La tabla 15, muestran valores de humedad, el menor porcentaje de humedad obtenido fue de  $5.444 \pm 2.715\%$  a una temperatura de  $130^\circ\text{C}$  y un flujo másico (fm) de 25%, con el agente encapsulante de carragenina a una concentración de 1.5%. Cuyos resultados son similares a los obtenidos por Bhusari *et al.*, (2014) reportaron valores entre 3,65% y 7,11 % en el extracto de tamarindo microencapsulado. Por su parte, Nguyen *et al.*, (2022) obtuvieron

resultados de humedad en la microencapsulación de antocianinas de flor de jamaica, con rangos entre 5,57 % a 10,19 %. Asimismo, Fonseca *et al.*, (2018) registraron valores de humedad de 3.80% a 11.03% en la mora microencapsulada. De manera similar, Llauce *et al.*, (2015), utilizando como agentes microencapsulantes maltodextrina y goma arábica, obtuvieron el valor de 7.96 %. Además, los autores mencionan que, a mayor temperatura, el contenido de humedad disminuye. En su estudio realizado por Machado *et al.*, (2017) informaron valores de humedad entre 6,25% y 16,42% en el extracto microencapsulado de la col lombarda.

Por otro lado, Jiménez-Aguilar *et al.*, (2011) encontraron un alto contenido de humedad entre 16.20% y 20.50 % en el microencapsulado de arándano. Así también, Nguyen *et al.*, (2022) reportaron un contenido de humedad de hasta 10 % en el agracejo negro encapsulado con mezclas de maltodextrina, goma arábica y proteína de suero (10% p/v), a una temperatura de entrada de aire de 130°C y un caudal de 600 L. h<sup>-1</sup>. Sin embargo DaSilva *et al.*, (2016), reportaron en su estudio valores menores de humedad comprendidos entre 2.28% y 4.18% en las antocianinas microencapsuladas de jussara al igual que Pieczykolan y Kurek, (2019) quienes obtuvieron un contenido de humedad de 1.66 % en las antocianinas microencapsuladas de Chokeberry a una temperatura de secado 140 °C.

Según Machado *et al.*, (2017), mencionan que las cantidades excesivas de agentes microencapsulantes pueden hacer lento la difusión de las moléculas de agua y ayudar a retener la humedad en las microcápsulas. Además, el uso de temperaturas altas implica una mayor tasa de transferencia de calor a las partículas, lo que conduce a un aumento de la evaporación de agua, resultando en una fuerza motriz para una mayor evaporación del agua y por lo tanto la producción de polvos con menor contenido de humedad. Por su parte Mirzaei *et al.*, (2021), mencionan que el contenido de humedad es un factor crucial en la formación del polvo durante el secado por aspersion, ya que puede prolongar la vida útil del polvo y evitar la formación de costras en la superficie descendente. Por otro lado, Aguilar (2023) menciona que el uso de encapsulantes tiene un efecto secundario al reducir la cantidad del agente microencapsulante como la maltodextrina o la goma guar, se reduce también el contenido de la humedad final del producto.

Finalmente, Tonon *et al.*, (2010), señalaron que el flujo másico influye significativamente en el grado de secado de las microcápsulas. Estas diferencias se deben a la capacidad variable de retención de agua de los hidrocoloides, determinada por la cantidad de grupos hidrófilos presente en las moléculas de los micro encapsulantes (BeMiller, 2008).

En la tabla 46 (anexo 13), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de humedad de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.6999$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes evaluados.

Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de secado utilizadas no influyeron de manera significativa en el contenido de humedad final de las microcápsulas de mashua morada. Lo cual indica que los distintos tratamientos mantuvieron niveles de humedad similares, lo que sugiere una homogeneidad en el proceso de secado y en la retención de agua del producto final.

#### 4.4.2 Medida de pH.

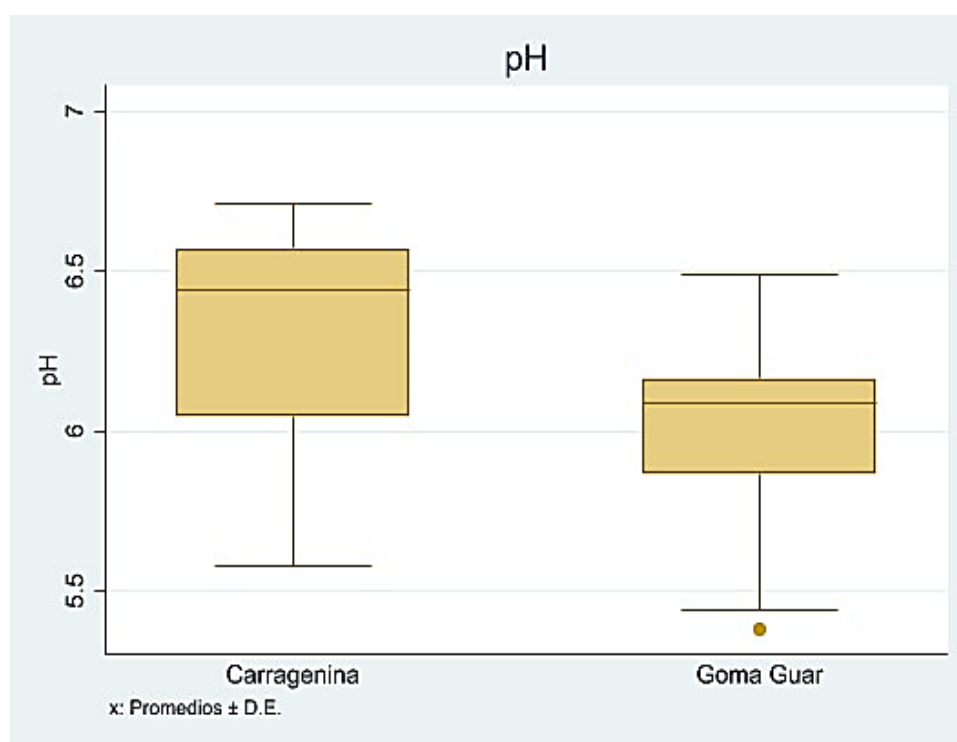
Los resultados de la determinación del pH en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas, como propiedad fisicoquímica, se presenta en la tabla 16.

**Tabla 16. Resultados de la determinación del pH en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	pH
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	1	110	25	0.9	6.56	6.57	6.55	6.560 ± 0.010
	2			1.5	5.58	5.58	5.58	5.580 ± 0.002
	3		35	0.9	6.43	6.43	6.43	6.430 ± 0.001
	4			1.5	6.58	6.58	6.59	6.580 ± 0.005
	5	120	25	0.9	6.01	6.01	6.01	6.010 ± 0.001
	6			1.5	6.08	6.08	6.09	6.080 ± 0.005
	7		35	0.9	6.45	6.46	6.45	6.450 ± 0.005
	8			1.5	6.71	6.71	6.71	6.710 ± 0.001
<< Continua >>	9	130	25	0.9	5.80	5.81	5.79	5.800 ± 0.010
	10			1.5	6.15	6.15	6.15	6.150 ± 0.004
	11		35	0.9	6.49	6.49	6.49	6.490 ± 0.001
	12			1.5	6.60	6.60	6.60	6.600 ± 0.000

<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	<b>13</b>	110	25	0.2	5.70	5.70	5.70	$5.700 \pm 0.001$	
	<b>14</b>			0.4	6.49	6.50	6.49	$6.490 \pm 0.005$	
	<b>15</b>	35	35	0.2	6.08	6.08	6.08	$6.080 \pm 0.001$	
	<b>16</b>			0.4	6.07	6.07	6.07	$6.070 \pm 0.002$	
	<b>17</b>	120	25	0.2	5.44	5.45	5.44	$5.440 \pm 0.005$	
	<b>18</b>			0.4	6.03	6.03	6.04	$6.030 \pm 0.005$	
	<b>19</b>		35	35	0.2	6.10	6.10	6.10	$6.100 \pm 0.001$
	<b>20</b>				0.4	6.20	6.20	6.21	$6.200 \pm 0.005$
	<b>21</b>	130	25	0.2	5.38	5.38	5.39	$5.380 \pm 0.005$	
	<b>22</b>			0.4	6.13	6.14	6.13	$6.130 \pm 0.005$	
	<b>23</b>		35	35	0.2	6.11	6.11	6.12	$6.110 \pm 0.005$
	<b>24</b>				0.4	6.21	6.21	6.21	$6.210 \pm 0.002$

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C<sup>o</sup>: Concentración, r: replicas.



**Figura 15: Porcentaje del pH de las microcapsulas de la mashua morada.**

En la tabla 16 y figura 14, se muestran los valores de pH obtenidos en la microencapsulación. El menor valor de pH fue  $5.380 \pm 0.005$  a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  y un flujo másico (fm) de 25%, utilizando goma guar como agente encapsulante a una concentración de 0.2 %.

En el estudio realizado por González *et al.*, (2020), según los resultados estadísticos establecieron un valor medio de pH de  $5,51 \pm 0,02$  para la harina de mashua. Asimismo, Gonzales *et al.*, (2011) determinaron que el pH en el polvo reconstituido del atomizado de sandía varió entre 5.4. y 5.7. Forero *et al.*, (2011), al encapsular extracto acuoso de guayaba, reportaron un pH de 6.12, señalando que a temperaturas más altas (150°C) el valor el pH tiende a ser más ácido, debido a la mayor eliminación de agua de su composición haciéndose más concentrado y por lo tanto más ácido. Por su parte, Gonzáles-Palomares *et al.*, (2009) reportaron valores de pH entre 4.4 – 4.8 a diferentes temperaturas.

De igual forma, Sui, Dong, y Zhou (2014), evaluaron en dos antocianinas basadas en cianidina de arroz negro, obteniendo valores de pH entre 2.2 y 6.0 a un rango de temperatura de 100 °C a 165 °C, mostrando un mayor impacto en su estabilidad a pH altos. Además, Huang *et al.*, (2023) obtuvieron antocianinas de arándanos estables a  $\text{pH} \leq 3$ . Al incrementarse el pH, las moléculas tienden a transformarse en estructuras incoloras o azuladas como resultado de la formación de hemicetales y bases quinoidales (Castañeda *et al.*, 2009) Además, Castellar *et al.*, (2006), señalaron que el rango óptimo de pH para mantener la estabilidad de pigmentos como la betanina oscila entre 5 y 6, donde presentan su máxima estabilidad.

De acuerdo con nuestros resultados, los valores de pH obtenidos el más bajo 5.38 se encuentran dentro del rango adecuado para conservar la estabilidad de las antocianinas y el más alto 6.71. el incremento del pH Uno de los principales factores es el tipo de agente encapsulante Algunos materiales, como la maltodextrina, el almidón modificado o las proteínas, poseen grupos funcionales con carácter ligeramente básico o neutro, lo que puede elevar el pH (Jafari *et al.*, 2008; Cano *et al.*, 2005). Asimismo, la interacción entre las antocianinas y los compuestos de la pared puede provocar la neutralización parcial de los grupos ácidos presentes en el extracto, generando un aumento del pH (Fang y Bhandari, 2010).

Otro factor es la presencia de sales minerales o agentes coadyuvantes añadidos durante la formulación. La incorporación de carbonatos, fosfatos o proteínas puede modificar la capacidad tampón del sistema y aumentar el pH final del microencapsulado (Robert *et al.*, 2010). Además, la degradación de antocianinas durante el proceso puede liberar productos menos ácidos, contribuyendo también al incremento del pH observado (Castañeda *et al.*, 2009). Al aumento del pH en las microcápsulas no responde a un solo factor, sino a una

interacción compleja entre la matriz encapsulante, el método de secado, los coadyuvantes utilizados y las transformaciones químicas del pigmento durante el proceso.

En la tabla 49 (anexo 14), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al pH de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.0481$ , el cual es menor que 0.05, lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Estos resultados evidencian que los agentes encapsulantes y las condiciones aplicadas influyeron significativamente en el pH de las microcápsulas. Esto indica que los tratamientos generaron variaciones notables en la acidez del producto final, lo cual podría deberse a la composición química de los agentes utilizados durante la microencapsulación.

#### 4.4.3 Sólidos solubles (°Brix).

Los resultados de la determinación de los sólidos solubles °Brix en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar, como propiedad fisicoquímica, se presenta en la tabla 17.

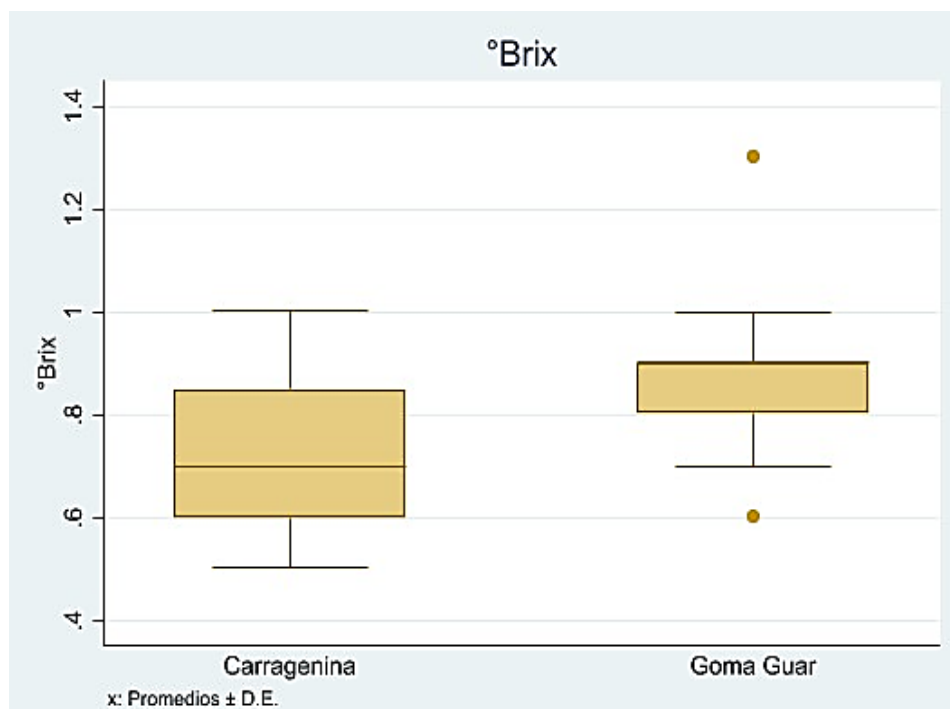
**Tabla 17: Resultados de la determinación de los °Brix en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	°Brix
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	0.90	0.91	0.89	$0.900 \pm 0.010$
	T2			1.5	1.00	1.01	1.00	$1.003 \pm 0.006$
	T3		35	0.9	0.80	0.80	0.81	$0.803 \pm 0.006$
	T4			1.5	0.60	0.58	0.61	$0.597 \pm 0.015$
	T5	120	25	0.9	0.70	0.71	0.70	$0.703 \pm 0.006$
	T6			1.5	0.60	0.65	0.55	$0.600 \pm 0.050$
	T7		35	0.9	0.60	0.65	0.55	$0.600 \pm 0.050$
	T8			1.5	0.50	0.51	0.50	$0.503 \pm 0.006$
	T9	130	25	0.9	0.90	0.90	0.89	$0.897 \pm 0.006$
	T10			1.5	0.80	0.85	0.75	$0.800 \pm 0.050$
	T11		35	0.9	0.70	0.75	0.65	$0.700 \pm 0.050$
	T12			1.5	0.70	0.70	0.70	$0.700 \pm 0.000$

<< Continua >>

<b>Goma Guar</b> <b>(0.2% - 0.4%)</b>	T13	25	0.2	0.90	0.91	0.90	$0.903 \pm 0.006$
	T14		0.4	0.90	0.90	0.91	$0.903 \pm 0.006$
	T15	35	0.2	0.90	0.90	0.89	$0.897 \pm 0.006$
	T16		0.4	0.90	0.91	0.90	$0.903 \pm 0.006$
	T17	120	0.2	1.30	1.29	1.32	$1.303 \pm 0.015$
	T18		0.4	0.80	0.80	0.81	$0.803 \pm 0.006$
	T19		0.2	0.60	0.61	0.60	$0.603 \pm 0.006$
	T20		0.4	0.80	0.80	0.81	$0.803 \pm 0.006$
	T21	130	0.2	0.70	0.70	0.70	$0.700 \pm 0.000$
	T22		0.4	1.00	1.00	1.00	$1.000 \pm 0.000$
	T23		0.2	0.90	0.85	0.95	$0.900 \pm 0.050$
	T24		0.4	0.90	0.91	0.90	$0.903 \pm 0.006$

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C<sup>o</sup>: Concentración; r: replicas.



**Figura 16: Porcentaje de solidos solubles de las microcápsulas de la mashua morada**

En la tabla 17 y figura 15, se muestran los valores de °Brix obtenidos en la microencapsulación. El mayor contenido de solidos solubles fue de  $1.303 \pm 0.015$  a una temperatura de  $120^{\circ}$  C y un flujo masico de 25%, con el agente encapsulante de goma guar a una concentración de 0.2. Cuyos resultados indican una muy baja concentración de solidos solubles en las microcápsulas reconstituidas, según su estudio, (Díaz-Montes, 2023)

menciona que los valores bajos implican que la alimentación contiene una fracción muy alta de agua libre que debe evaporarse durante el secado, lo que afecta directamente rendimiento y estabilidad. De igual manera Largo, Cortés, y Velásquez, (2015) mencionan que la baja concentración de sólidos puede explicar el menor rendimiento y la reducción relativa de antocianinas: en soluciones con bajo °Brix la capacidad de los agentes encapsulantes para formar una película protectora es limitada, lo que favorece pérdidas por deposición en superficies del secador y por degradación del soluto. Sin embargo, Sablani, Shrestha, y Bhandari, (2008) indican que la pegajosidad es uno de los principales desafíos en el secado por atomización de zumos de frutas, problema asociado a la baja temperatura de transición vítrea. (Fuchs *et al.*, 2006) relatan que las propiedades fisicoquímicas de un polvo también dependen de las propiedades del material de la pared.

Por lo cual Adetoro, Opara, y Fawole, (2020) recomiendan concentrar el extracto o incrementar la proporción de agente de recubrimiento para alcanzar un rango aproximado de 8–20 °Brix en la alimentación, con el fin de mejorar el rendimiento y la estabilidad de las antocianinas.

En la tabla 52 (Anexo 15), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de sólidos solubles (°Brix) de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.0304$ , el cual es menor que 0.05, indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de secado influyeron significativamente en el contenido de sólidos solubles de las microcápsulas de mashua morada. Los tratamientos realizados generaron variaciones en la concentración de azúcares y compuestos solubles, lo que puede estar relacionado con las características físico-químicas de los materiales utilizados y con la eficiencia del proceso de encapsulación.

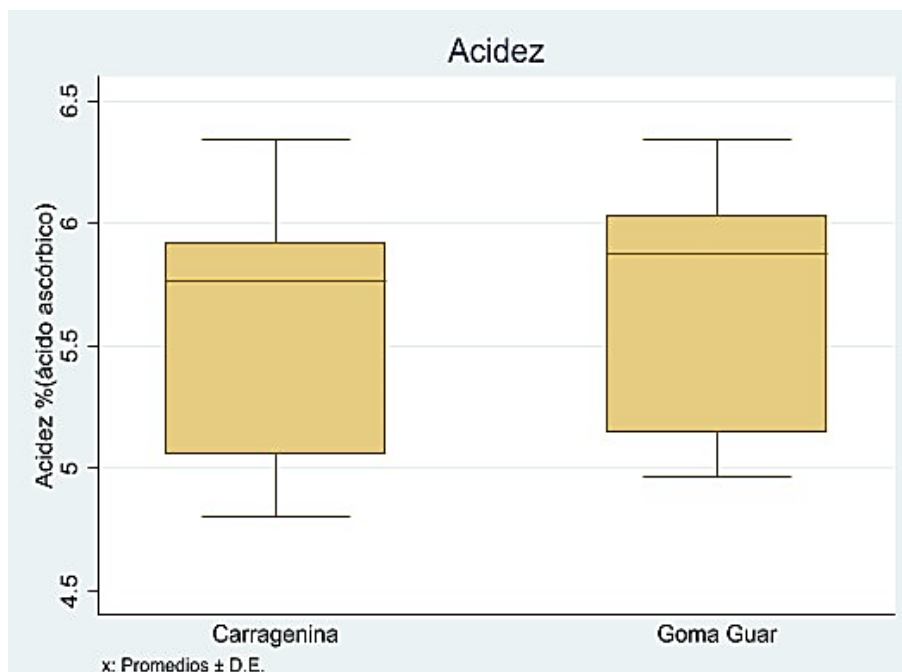
#### **4.4.4 Medición de acidez.**

Los resultados de la determinación de la acidez % (ácido ascórbico) en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada encapsuladas en carragenina y goma guar, se presenta en la tabla 18.

**Tabla 18: Resultados de la determinación de acidez en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Acidez % (ácido ascórbico)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	5.96	5.76	5.76	5.828 ± 0.111
	T2			1.5	5.96	5.96	5.76	5.892 ± 0.111
	T3		35	0.9	5.76	5.78	5.75	5.764 ± 0.013
	T4			1.5	6.34	6.42	6.26	6.340 ± 0.081
	T5	120	25	0.9	4.80	4.71	4.90	4.803 ± 0.096
	T6			1.5	5.19	5.00	5.09	5.091 ± 0.096
	T7		35	0.9	5.76	5.87	5.65	5.764 ± 0.110
	T8			1.5	6.15	6.19	6.11	6.148 ± 0.037
	T9	130	25	0.9	4.90	4.61	4.90	4.803 ± 0.166
	T10			1.5	5.09	5.09	4.90	5.027 ± 0.111
	T11		35	0.9	5.76	5.77	5.76	5.764 ± 0.004
	T12			1.5	5.96	5.96	5.95	5.956 ± 0.005
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	5.00	5.00	4.90	4.963 ± 0.055
	T14			0.4	4.96	5.00	5.00	4.982 ± 0.022
	T15		35	0.2	6.02	5.95	6.09	6.020 ± 0.070
	T16			0.4	6.06	6.05	6.04	6.050 ± 0.013
	T17	120	25	0.2	5.00	4.90	5.00	4.963 ± 0.055
	T18			0.4	5.96	5.57	5.76	5.764 ± 0.192
	T19		35	0.2	6.34	6.33	6.35	6.340 ± 0.011
	T20			0.4	6.15	6.21	6.09	6.148 ± 0.058
	T21	130	25	0.2	5.19	5.19	5.57	5.315 ± 0.222
	T22			0.4	5.57	5.76	5.38	5.571 ± 0.192
	T23		35	0.2	6.06	6.01	5.88	5.985 ± 0.092
	T24			0.4	6.02	6.02	6.02	6.018 ± 0.001

Nota: C°: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 17: Acidez de las microcápsulas de la mashua morada.**

En la tabla 18 y figura 16, se muestran los valores de acidez % (ácido ascórbico) obtenidos en la microencapsulación. El menor valor obtenido de la acidez titulable fue de  $4.803 \pm 0.096$  a una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$  y un flujo masico de 25%, con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 0.9 %, el dicho valor es el mínimo a diferencias los otros valores obtenidos que fueron más altos, lo que indicaría una menor probabilidad para la conservación de las antocianinas. En el estudio realizado por Zhang *et al.*, (2025) sobre antocianinas indica que en un medio ácido ( $\text{pH} < 3$ ) las antocianinas existen principalmente como cationes flavylium rojos; cuando el pH aumenta ( $3 < \text{pH} < 8$ ) la forma cambia y la estabilidad disminuye.

Yamashita *et al.*, (2017) señalaron que las antocianinas son más estables a pH bajos, y los aumentos de acidez titulable en los concentrados sin un ajuste de pared fueron correlacionados con una menor retención de antocianinas durante almacenamiento, de manera similar (Xue *et al.*, 2024) mencionan, las antocianinas tienen buena estabilidad a pH 2-3, y su estabilidad disminuye a valores de pH más elevados (es decir, menor acidez) ya que cambia la forma molecular del pigmento y aumenta su degradación. De acuerdo a su estudio realizado por (Fera *et al.*, 2013) indican conforme el medio se hace menos ácido ( $\text{pH} > 4-5$ ) la estabilidad empieza a decaer notablemente.

De acuerdo a su estudio realizado por (Juhadi y Muzi Marpaung, 2021), en la extracción de antocianinas del fruto de buni *Antidesma buniusse* mencionan que las antocianinas eran estables en pH 4 y 5, comparado con pH 7 donde se degradaban mucho. Por su parte, Fenema (2000) menciona que el valor de pH tiene una relación directa con el contenido de ácido de los productos y que la saturación de iones afecta su estabilidad.

En la tabla 55 (Anexo 16), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la acidez titulable de las microcápsulas reconstituidas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.7133$ , el cual es mayor que 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los diferentes agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento no influyeron de manera significativa en la acidez titulable de las microcápsulas de mashua morada. En otras palabras, los tratamientos mantuvieron niveles de acidez similares, reflejando una estabilidad del pH y del equilibrio ácido-base del producto final, independientemente del material encapsulante empleado.

#### 4.5 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

##### 4.5.1 Contenido de antocianinas monoméricas.

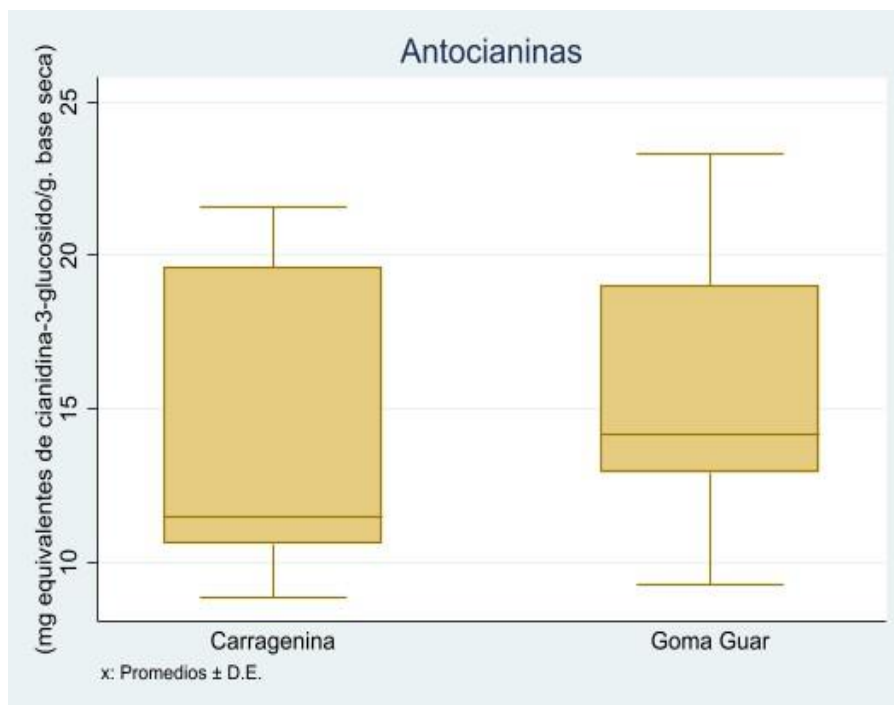
Los resultados del contenido de antocianinas monoméricas (mg equivalentes de cianidina-3-glucosido/g. base seca) de mashua morada micro encapsuladas, se presenta en la tabla 19.

**Tabla 19: Resultados del contenido de antocianinas en las microcápsulas.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	(mg equivalentes de cianidina-3-glucosido/g. base seca)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	9.01	8.94	8.63	8.859 ± 0.202
	T2			1.5	19.16	18.88	20.09	19.375 ± 0.634
	T3		35	0.9	11.72	11.66	11.86	11.746 ± 0.104
	T4			1.5	10.75	10.38	10.88	10.671 ± 0.259
<< Continua >>	T5	120	25	0.9	19.11	19.34	19.01	19.152 ± 0.172
	T6			1.5	20.19	19.19	20.29	19.890 ± 0.609
	T7		35	0.9	10.99	11.33	11.33	11.212 ± 0.196
	T8			1.5	10.42	10.59	10.69	10.568 ± 0.136

<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T9	25	0.9	21.37	21.94	21.34	21.550 ± 0.337
	T10		1.5	19.97	20.21	19.71	19.963 ± 0.251
	T11	35	0.9	10.14	10.18	10.31	10.210 ± 0.088
	T12		1.5	10.23	10.96	10.96	10.718 ± 0.422
	T13	25	0.2	9.23	9.41	9.23	9.290 ± 0.100
	T14		0.4	23.45	23.35	23.04	23.280 ± 0.216
	T15	35	0.2	12.25	11.77	12.32	12.117 ± 0.300
	T16		0.4	14.40	14.75	14.09	14.413 ± 0.327
	T17	25	0.2	17.98	18.05	18.08	18.038 ± 0.053
	T18		0.4	23.26	22.61	23.06	22.975 ± 0.335
	T19	35	0.2	12.93	12.99	13.03	12.982 ± 0.052
	T20		0.4	13.92	14.23	13.68	13.944 ± 0.271
	T21	25	0.2	14.12	13.44	13.57	13.706 ± 0.360
	T22		0.4	20.26	20.00	19.83	20.028 ± 0.217
	T23	35	0.2	14.17	15.29	14.77	14.744 ± 0.562
	T24		0.4	12.63	13.22	12.82	12.890 ± 0.304

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C<sup>o</sup>: Concentración, r: replicas.



**Figura 18:** Contenido de antocianinas de las microcápsulas de la mashua morada.

En la tabla 19 y figura 17, se muestra los valores de las antocianinas micro encapsuladas. El mayor contenido de antocianinas obtenidas fue de  $23.280 \pm 0.216$ , a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  y un flujo masico de 25% con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 0.4%. Cuyos resultados son similares a los reportados por Kuck y Zapata (2016) los cuales fueron de 21,05 11,98 mg/g de antocianinas en cáscaras de uva, utilizando goma arábica, goma guar y povidexrosa como agentes microencapsulantes. Por su parte por Jiménez-Aguilar *et al.*, (2011), en su estudio reportaron los valores entre 13,56 a 11,98 mg/g en arándanos microencapsulados los cuales fueron bajos a comparación de nuestros resultados. De manera similar, Quoc *et al.*, (2021) reportaron valores bajos entre 6,08 a 10,47 (mg de cianidina-3-glucósido/g de polvo seco) en los microencapsulados de hibisco.

Por otro lado Seid-Mahdi *et al.*, (2015), indican que los agentes encapsulantes actúan como una barrera física frente a los factores que degradan las antocianinas. De acuerdo a sus estudios realizados Tonon *et al.*, (2008) mencionan que el incremento de la temperatura del aire de entrada durante el secado generó una mayor pérdida de antocianinas, debido a la alta sensibilidad de estos pigmentos frente a las temperaturas elevadas. Por otro lado, Arrazola *et al.*, (2014) indicaron que la temperatura del aire de secado no influyó significativamente en el porcentaje de retención de antocianinas de las microcápsulas, posiblemente porque los tiempos durante el secado por atomización fueron breves, evitando así la degradación del pigmento. De manera similar, Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk, (2011) señalaron que cuando la temperatura de entrada del secado se mantuvo por debajo de  $180^{\circ}\text{C}$ , el contenido de antocianinas en los polvos de grosella negra no se vio afectada significativamente. Sin embargo, Silva *et al.*, (2013) reportaron una alta retención de antocianinas incluso a temperaturas salida elevadas, concluyendo que la temperatura óptima para obtener polvos con una alta retención del pigmento fue de  $180^{\circ}\text{C}$ .

Al comparar el contenido de antocianinas entre las microcápsulas en polvo y el extracto, se evidenció que el proceso de secado ocasionó una pérdida considerable de antocianinas. Sin embargo, se comprobó que factores como el almacenamiento con acceso a la luz y el aire causaron una degradación significativa de las antocianinas en el caso de las capsulas con goma guar y Carragenina.

En la tabla 58 (Anexo 17), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de antocianinas en las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.5332$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente

significativas entre los tratamientos evaluados y los agentes encapsulantes utilizados. Esto sugiere que los agentes encapsulantes y las condiciones de secado no influyeron significativamente en la retención de antocianinas en las microcápsulas de mashua morada. La eficiencia de encapsulación y la estabilidad del pigmento fueron similares entre los tratamientos, lo que podría atribuirse a que ambos materiales utilizados ofrecieron una protección comparable frente a la degradación de las antocianinas durante el proceso de secado.

#### 4.5.2 Capacidad antioxidante

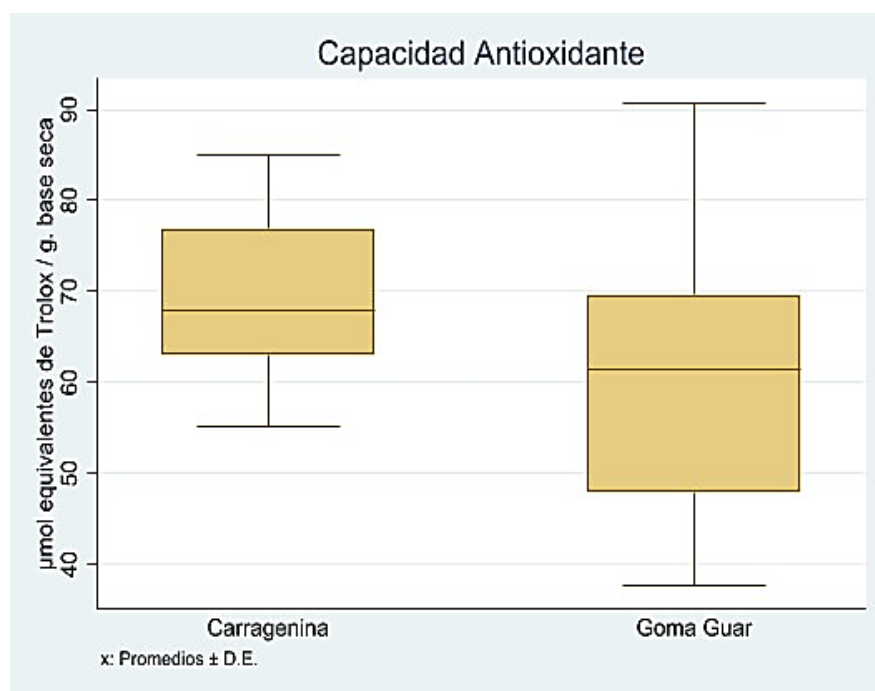
Los resultados de la capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox / g) en base seca de las antocianinas de mashua morada micro encapsuladas en carragenina y goma guar, como propiedad funcional, se presenta en la tabla 20.

**Tabla 20: Resultados de la capacidad antioxidante en las microcápsulas de mashua morada.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	$\mu\text{mol}$ equivalentes de Trolox / g. base seca
<b>Carragenina</b> <b>(0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	85.23	89.06	80.75	85.013 $\pm$ 4.161
	T2			1.5	58.54	71.36	58.54	62.813 $\pm$ 7.403
	T3		35	0.9	66.23	66.01	65.58	65.938 $\pm$ 0.330
	T4			1.5	74.71	75.56	75.14	75.137 $\pm$ 0.423
	T5	120	25	0.9	69.82	66.10	59.51	65.142 $\pm$ 5.219
	T6			1.5	51.99	63.02	52.10	55.701 $\pm$ 6.336
	T7		35	0.9	70.94	71.05	71.70	71.232 $\pm$ 0.408
	T8			1.5	69.38	70.02	69.81	69.738 $\pm$ 0.326
<< Continua >>	T9	130	25	0.9	54.01	53.49	58.03	55.176 $\pm$ 2.485
	T10			1.5	64.70	60.36	64.49	63.180 $\pm$ 2.447
	T11		35	0.9	83.24	83.03	83.35	83.205 $\pm$ 0.162
	T12			1.5	78.87	78.55	78.76	78.729 $\pm$ 0.161

<b>Goma Guar</b> <b>(0.2% - 0.4%)</b>	T13	25	0.2	89.45	94.71	88.13	90.760 ± 3.480	
	T14		0.4	49.53	44.48	44.70	46.240 ± 2.855	
	T15	35	0.2	66.90	66.02	66.35	66.423 ± 0.441	
	T16		0.4	51.56	50.57	51.01	51.046 ± 0.492	
	T17	120	25	0.2	75.42	71.25	66.10	70.923 ± 4.667
	T18			0.4	51.10	36.00	41.80	42.969 ± 7.616
	T19		35	0.2	65.80	66.76	64.73	65.762 ± 1.017
	T20			0.4	49.81	49.71	49.17	49.564 ± 0.344
	T21	130	25	0.2	75.77	80.69	76.08	77.514 ± 2.753
	T22			0.4	55.73	56.67	58.67	57.022 ± 1.500
	T23		35	0.2	37.18	38.02	37.81	37.670 ± 0.436
	T24			0.4	67.76	68.81	68.60	68.386 ± 0.556

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C%: Concentración, r: replicas.



**Figura 19: Contenido de capacidad antioxidante de las microcápsulas de la mashua.**

En la tabla 20 y figura 18, se muestra los valores de la capacidad antioxidantes en las microcápsulas. El mayor contenido de capacidad antioxidante fue de  $23.280 \pm 0.216$ , a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  y un flujo masico de 25% con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 0.4%. En el estudio realizado por Velásquez y Velezmoro (2022), se obtuvieron valores de  $47.83 \mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox / g. en la microencapsulacion de extracto de mashua morada utilizando almidones como agentes encapsulantes. De manera

similar, Barba *et al.*, (2024) reportaron una inhibición del 65 % a una concentración de 500 µg/mL en microencapsulación de antocianinas provenientes de maíz morado. Por su parte, Enache *et al.*, (2020) informaron una actividad antioxidante de  $54.43 \pm 0.73$  mMol Trolox/g en cápsulas de antocianinas obtenidas de *Cornus*.

Asimismo, Quoc *et al.*, (2021), reportaron que las microcápsulas de *Hibiscus sabdariffa* presentaron una capacidad antioxidante valores de  $31,95 \pm 0,19$  µmol de equivalentes de Trolox/g, mientras que, Otalora, Wilches, y Gomez (2023) obtuvieron valores de  $100.05 \pm 0.07$  y  $84.31 \pm 4.00$  µmol de equivalentes de Trolox/g ( por método ORAC ) en antocianinas de arándano andino ( *Vaccinium meridionale Sw* ). En otro estudio Arteaga & Arteaga (2016), reportó una capacidad antioxidante del 52,22%, en arándano microencapsulado, comparado con el fruto fresco, que presentó una capacidad antioxidante de 70,24 %. De igual forma Jiménez-Aguilar *et al.*, (2011) obtuvieron valores entre 97,70% y 102,22% de capacidad antioxidante en extracto de arándano microencapsulado con goma de mezquite.

De acuerdo con Ungar *et al.*, (2003), durante el proceso de secado por aspersión interviene directamente el calor, y el fenómeno deletéreo más importante es la degradación térmica. La pérdida de la actividad antioxidante puede deberse a la degradación térmica de los fenoles y otros metabolitos antioxidantes, los cuales son compuestos termolábiles. Asimismo, Jamanca *et al.*, (2017) señalaron que, además de la temperatura, el oxígeno constituye otro agente determinante en la destrucción de compuestos antioxidantes.

En la tabla 61 (Anexo 18), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la capacidad antioxidante de las microcápsulas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.1094$ , el cual es mayor que 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los diferentes agentes encapsulantes y las condiciones de secado no influyeron significativamente en la capacidad antioxidante de las microcápsulas de mashua morada. Los tratamientos mantuvieron una actividad antioxidante similar, lo que podría deberse a que la encapsulación permitió conservar de manera equivalente los compuestos fenólicos y antocianinas responsables de esta propiedad bioactiva.

#### **4.6 ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO**

Los resultados de la estabilidad, evaluada mediante el contenido de humedad en las microcápsulas de antocianinas de mashua morada, se presentan en las tablas 21 y 22. En

ellas se muestran los valores obtenidos para las muestras almacenadas a temperatura ambiente durante periodos de 3 y 6 semanas respectivamente.

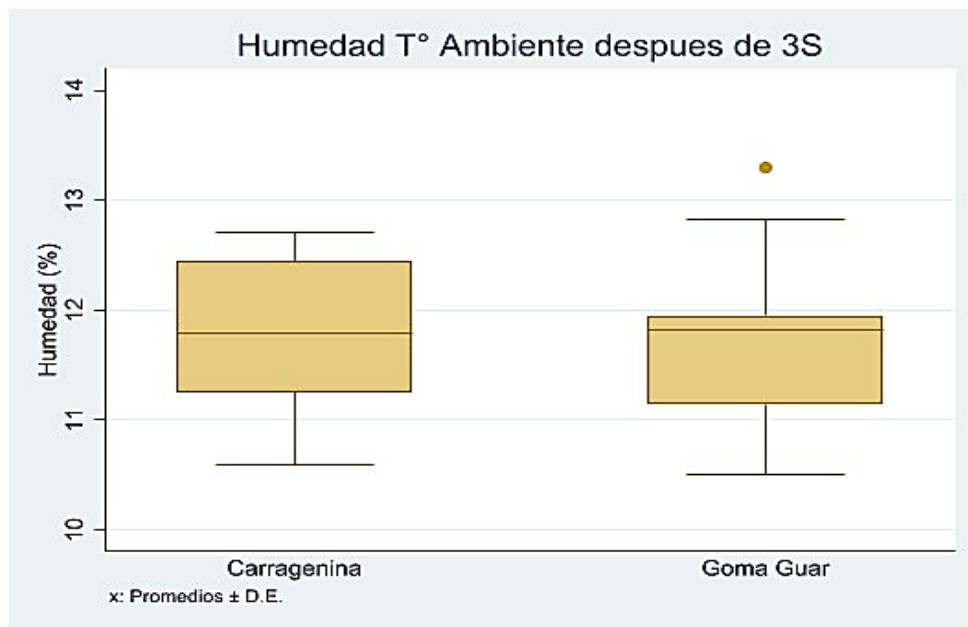
De igual manera, en las tablas 23 y 24 se presentan los resultados del contenido de humedad de las muestras almacenadas bajo refrigeración durante un periodo de 3 y 6 semanas. Estos datos permiten comparar cómo las diferentes condiciones de almacenamiento influyen en la estabilidad de las microcápsulas, destacando las variaciones en el contenido de humedad en función del tiempo y del entorno de conservación.

**Tabla 21: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura ambiente.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Humedad (%)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	10.01	9.89	11.85	10.586 ± 1.099
	T2			1.5	13.00	12.80	12.33	12.712 ± 0.342
	T3		35	0.9	13.28	13.08	11.57	12.645 ± 0.938
	T4			1.5	11.90	12.02	13.01	12.308 ± 0.609
	T5	120	25	0.9	9.46	13.33	12.67	11.820 ± 2.072
	T6			1.5	12.00	12.36	13.00	12.452 ± 0.507
	T7		35	0.9	11.20	11.67	10.86	11.244 ± 0.405
	T8			1.5	10.03	10.67	11.33	10.675 ± 0.655
	T9	130	25	0.9	12.70	11.44	9.90	11.343 ± 1.404
	T10			1.5	13.67	13.00	10.67	12.444 ± 1.575
	T11		35	0.9	12.00	11.33	10.45	11.261 ± 0.777
	T12			1.5	12.08	12.15	11.06	11.765 ± 0.613
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	10.33	12.67	13.00	12.000 ± 1.453
	T14			0.4	10.03	11.19	14.33	11.851 ± 2.227
	T15		35	0.2	12.09	13.15	13.21	12.820 ± 0.631
	T16	0.4		14.05	14.58	11.26	13.297 ± 1.786	
	T17	120	25	0.2	11.67	9.67	11.00	10.778 ± 1.018
	T18			0.4	10.00	11.33	13.67	11.667 ± 1.856
	T19		35	0.2	12.12	11.57	12.00	11.899 ± 0.293
	T20			0.4	11.06	12.33	11.11	11.501 ± 0.721
	T21	130	25	0.2	11.33	14.00	10.03	11.786 ± 2.026

<< Continúa >>	T22		0.4	12.33	9.67	13.67	11.889 ± 2.037
	T23	35	0.2	10.06	10.79	11.25	10.699 ± 0.602
	T24		0.4	10.16	10.11	11.25	10.507 ± 0.645

Nota: C°: Temperatura; fm %: flujo másico; C%: Concentración, r: replicas.



**Figura 20: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura ambiente.**

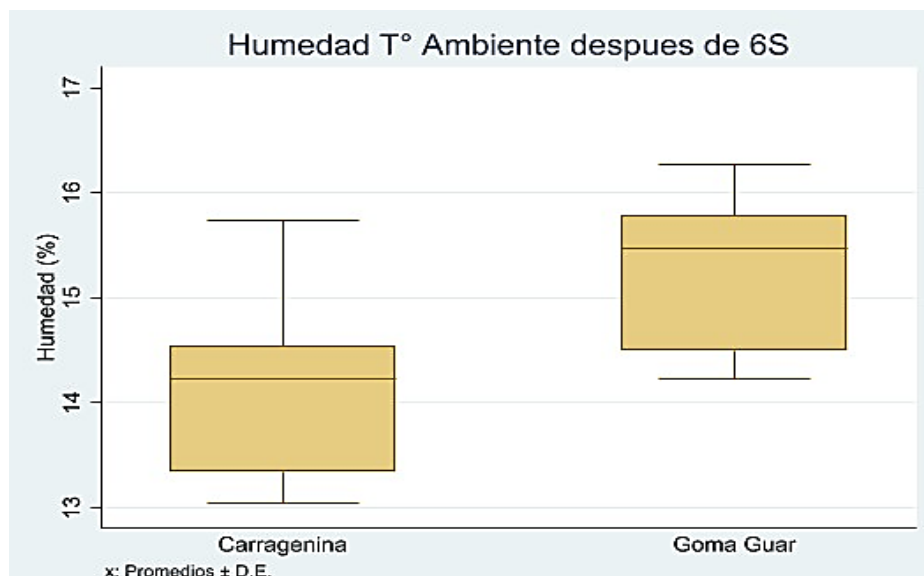
En la tabla 21 y figura 19, se muestran los valores de humedad (%) de las microcápsulas a la tercera semana de almacenamiento. El menor porcentaje de humedad obtenido fue de  $10.507 \pm 0.645$  % a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  y un flujo másico (fm) de 35%, con el agente encapsulante de goma guar una concentración de 0.4%.

En la tabla 64 (Anexo 19), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de humedad de las microcápsulas almacenadas a temperatura ambiente durante un período de tres semanas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.8851$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y los agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento no influyeron significativamente en la variación del contenido de humedad durante el almacenamiento. Las microcápsulas conservaron niveles de humedad similares tras tres semanas a temperatura ambiente.

**Tabla 22: Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura ambiente.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Humedad (%)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	14.90	14.39	15.10	14.793 ± 0.364
	T2			1.5	15.02	14.03	15.10	14.716 ± 0.597
	T3		35	0.9	15.00	13.90	14.00	14.298 ± 0.610
	T4			1.5	15.19	16.99	15.03	15.736 ± 1.086
	T5	120	25	0.9	13.78	14.48	14.36	14.208 ± 0.373
	T6			1.5	14.02	15.12	13.99	14.376 ± 0.648
	T7		35	0.9	13.67	14.52	13.08	13.755 ± 0.726
	T8			1.5	14.02	15.08	13.67	14.256 ± 0.738
	T9	130	25	0.9	13.87	14.02	12.33	13.406 ± 0.932
	T10			1.5	13.87	12.88	13.09	13.281 ± 0.524
	T11		35	0.9	13.26	13.52	12.33	13.038 ± 0.623
	T12			1.5	13.87	12.55	13.09	13.173 ± 0.664
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	14.91	16.09	15.87	15.621 ± 0.627
	T14			0.4	15.35	16.69	15.09	15.712 ± 0.856
	T15		35	0.2	15.92	15.33	15.26	15.503 ± 0.362
	T16			0.4	15.33	16.67	15.59	15.864 ± 0.707
	T17	120	25	0.2	17.04	16.52	15.25	16.270 ± 0.922
	T18			0.4	16.09	16.39	13.86	15.444 ± 1.381
	T19		35	0.2	17.01	16.29	15.33	16.213 ± 0.842
	T20			0.4	16.33	14.03	15.44	15.267 ± 1.163
	T21	130	25	0.2	14.98	13.99	15.03	14.667 ± 0.589
	T22			0.4	15.00	13.90	14.00	14.298 ± 0.610
	T23		35	0.2	15.00	14.00	13.67	14.222 ± 0.694
	T24			0.4	14.00	12.67	16.33	14.333 ± 1.856

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 21:** *Humedad (%) en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura ambiente.*

En la tabla 22 y figura 20, se muestra los valores de humedad (%) de las microcápsulas a la sexta semana. El menor porcentaje de humedad obtenido fue de  $13.038 \pm 0.623$  % a una temperatura de  $130^\circ$  C y un flujo másico (fm) de 35%, con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 0.9 %. El aumento en la humedad puede estar asociado a la higroscopicidad de los agentes encapsulantes y a la capacidad de las microcápsulas para absorber la humedad del ambiente con el paso del tiempo. Este comportamiento es común en sistemas de los microencapsulados, ya que la estructura porosa y la composición de los polímeros determinan su estabilidad frente a la humedad durante el almacenamiento.

De manera similar, Ferrari *et al.*, (2013) reportaron que la humedad de microcápsulas con compuestos fenólicos aumenta con el tiempo cuando son almacenadas a temperatura ambiente, lo que puede afectar la fluidez, la estabilidad oxidativa y la vida útil del producto. Asimismo, Tonon *et al.*, (2009) destacaron que la elección del agente encapsulante es un factor crítico para controlar la absorción de agua y mantener la estabilidad fisicoquímica del polvo durante el almacenamiento.

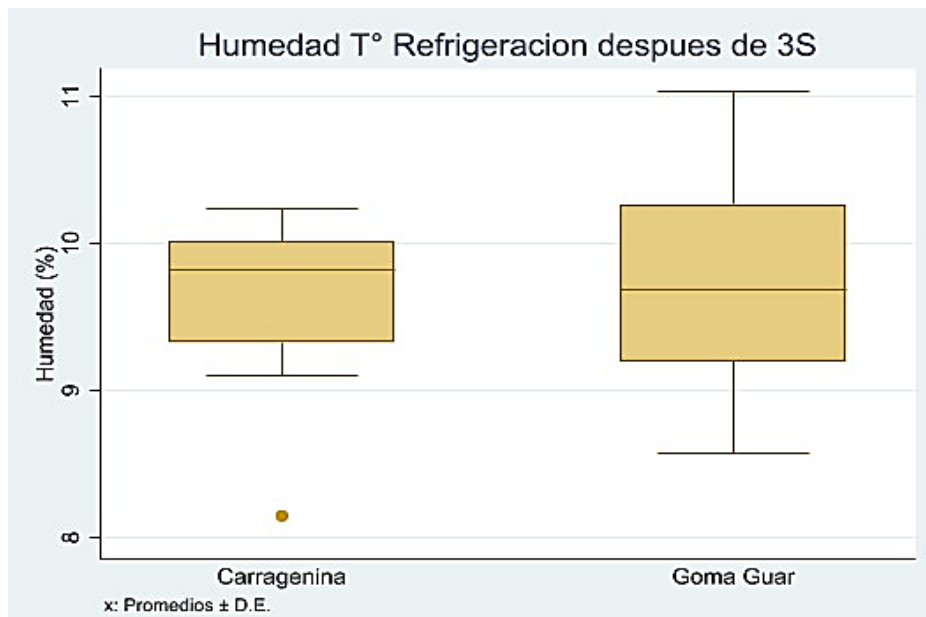
En ese sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la formulación de los tratamientos tuvo un efecto significativo sobre la capacidad de las microcápsulas para retener o ganar humedad, lo que podría influir directamente en la estabilidad de las antocianinas microencapsuladas y en la conservación de los compuestos bioactivos presentes.

En la tabla 67 (Anexo 20), se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de humedad de las microcápsulas almacenadas a temperatura ambiente durante un periodo de seis semanas. Se obtuvo un valor de  $p = 0.0009$ , el cual es menor que 0.05, indicando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

**Tabla 23: Humedad en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura de refrigeración.**

Agentes	Trat.	°C	fm (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Humedad (%)
<b>Carragenina</b> (0.9% - 1.5%)	T1	110	25	0.9	10.46	9.72	9.90	10.026 ± 0.384
	T2			1.5	10.07	9.99	10.11	10.055 ± 0.062
	T3		35	0.9	10.02	10.57	10.12	10.237 ± 0.291
	T4			1.5	10.31	10.03	9.05	9.798 ± 0.662
	T5	120	25	0.9	10.01	10.03	9.59	9.877 ± 0.249
	T6			1.5	9.89	10.12	10.00	10.005 ± 0.115
	T7		35	0.9	9.90	10.06	9.59	9.846 ± 0.240
	T8			1.5	9.73	9.68	9.05	9.488 ± 0.381
	T9	130	25	0.9	9.58	10.10	9.25	9.644 ± 0.429
	T10			1.5	9.12	9.09	9.10	9.103 ± 0.018
	T11		35	0.9	9.45	8.95	9.08	9.162 ± 0.261
	T12			1.5	8.46	8.15	7.84	8.149 ± 0.306
<b>Goma Guar</b> (0.2% - 0.4%)	T13	110	25	0.2	10.03	10.12	10.20	10.119 ± 0.083
	T14			0.4	10.11	11.02	10.10	10.409 ± 0.530
	T15		35	0.2	10.99	10.09	11.25	10.776 ± 0.609
	T16			0.4	11.12	10.90	11.10	11.037 ± 0.122
	T17	120	25	0.2	9.90	10.00	9.91	9.936 ± 0.057
	T18			0.4	9.76	9.56	9.98	9.767 ± 0.210
	T19		35	0.2	10.21	9.33	9.25	9.598 ± 0.532
	T20			0.4	8.98	9.21	10.02	9.403 ± 0.547
	T21	130	25	0.2	9.01	8.96	9.01	8.992 ± 0.029
	T22			0.4	9.60	9.73	8.99	9.436 ± 0.396
	T23		35	0.2	9.12	8.25	8.34	8.571 ± 0.481
	T24			0.4	8.49	9.06	8.31	8.619 ± 0.392

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 22:** *Humedad (%) en las microcápsulas tras 3 semanas a temperatura de refrigeración.*

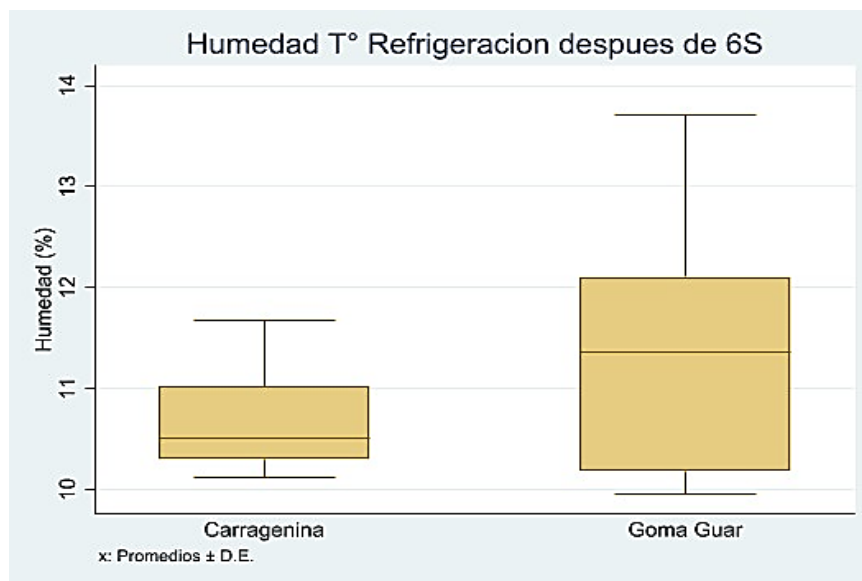
En la tabla 23 y figura 21, se muestra los valores de humedad (%) de las microcápsulas a la sexta semana. El menor porcentaje de humedad obtenido fue de  $8.149 \pm 0.306$  % a una temperatura de  $130^{\circ}$  C y un flujo másico (fm) de 35%, con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 1.5 %.

En la tabla 70 (Anexo 21), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de humedad de las microcápsulas almacenadas a temperatura de refrigeración durante tres semanas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.7102$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y los agentes encapsulantes evaluados. Esto significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento no influyeron significativamente en la humedad de las microcápsulas durante las tres semanas de almacenamiento en refrigeración. Las microcápsulas mantuvieron niveles de humedad similares, lo que refleja una buena estabilidad frente a la absorción o pérdida de agua en condiciones de almacenamiento frío.

**Tabla 24: Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura de refrigeración.**

Agentes	Trat.	T °C	mf (%)	C'' (%)	r1	r2	r3	Humedad (%)
<b>Carragenina (0.9% - 1.5%)</b>	T1	110	25	0.9	11.02	10.11	10.12	10.417 ± 0.518
	T2			1.5	10.25	10.31	10.35	10.301 ± 0.051
	T3		35	0.9	10.06	11.67	10.67	10.797 ± 0.812
	T4			1.5	10.72	11.58	9.51	10.606 ± 1.040
	T5	120	25	0.9	10.12	10.26	10.20	10.192 ± 0.069
	T6			1.5	10.15	10.53	10.21	10.298 ± 0.205
	T7		35	0.9	11.67	12.33	9.75	11.249 ± 1.342
	T8			1.5	12.00	11.85	11.19	11.681 ± 0.432
	T9	130	25	0.9	10.27	10.31	10.32	10.299 ± 0.028
	T10			1.5	10.13	10.21	10.02	10.119 ± 0.095
	T11		35	0.9	11.00	11.33	11.58	11.303 ± 0.289
	T12			1.5	10.00	12.01	10.33	10.784 ± 1.077
<b>Goma Guar (0.2% - 0.4%)</b>	T13	110	25	0.2	11.75	11.35	10.98	11.362 ± 0.386
	T14			0.4	11.64	11.76	11.46	11.619 ± 0.151
	T15		35	0.2	13.67	11.33	14.85	13.284 ± 1.790
	T16			0.4	14.48	14.00	12.67	13.715 ± 0.939
	T17	120	25	0.2	10.12	10.14	10.10	10.118 ± 0.019
	T18			0.4	10.24	10.36	10.16	10.252 ± 0.101
	T19		35	0.2	10.67	10.08	12.33	11.028 ± 1.168
	T20			0.4	10.15	12.59	11.33	11.358 ± 1.219
	T21	130	25	0.2	9.90	10.00	9.96	9.953 ± 0.054
	T22			0.4	10.03	10.09	9.99	10.034 ± 0.052
	T23		35	0.2	12.00	12.56	13.22	12.590 ± 0.608
	T24			0.4	9.67	12.10	12.67	11.479 ± 1.595

Nota: °C: Temperatura; fm %: flujo másico; C'': Concentración, r: replicas.



**Figura 23:** *Humedad en las microcápsulas tras 6 semanas a temperatura de refrigeración.*

En la tabla 24 y figura 22, se muestran los valores de humedad (%) de las microcápsulas a la sexta semana. El menor porcentaje de humedad obtenido fue de  $8.149 \pm 0.306$  % a una temperatura de  $130^{\circ}$  C y un flujo másico (fm) de 35%, con el agente encapsulante de carragenina una concentración de 1.5 %.

En la tabla 73 (Anexo 21), se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al contenido de humedad de las microcápsulas almacenadas a temperatura de refrigeración durante seis semanas. El resultado mostró un valor de  $p = 0.0761$ , el cual es mayor que 0.05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y los agentes encapsulantes evaluados. El cual significa que los agentes encapsulantes y las condiciones de procesamiento no influyeron de manera significativa en la humedad de las microcápsulas durante seis semanas de almacenamiento en refrigeración. Es por ello que las microcápsulas mantuvieron niveles de humedad relativamente constantes, lo que refleja una buena estabilidad del producto frente a la absorción o pérdida de agua en condiciones frías.

Desde los estudios realizados por Fazaeli *et al.*, (2012) y Tonon *et al.*, (2009), quienes indican que el almacenamiento a bajas temperaturas reduce significativamente la actividad de agua y limita la absorción de humedad por los polvos microencapsulados, preservando sus propiedades fisicoquímicas y bioactivas. De manera similar, Ferrari *et al.*, (2013) observaron que los compuestos fenólicos y pigmentos sensibles a la humedad presentan mayor estabilidad en microcápsulas almacenadas a refrigeración frente a aquellas

almacenadas a temperatura ambiente, donde la ganancia de humedad puede afectar la fluidez, la densidad aparente y la retención de compuestos bioactivos.

Por otro lado Laokuldilok y Kanha (2017), mencionan, los parámetros que afectan la degradación durante el almacenamiento, son las condiciones ambientales como la temperatura y humedad, así como el tipo y cantidad del material de pared, los cuales influyen en la morfología y en la eficiencia de encapsulación. Osorio *et al.*, 2010 y Souza *et al.*, (2014) indican que los estudios sobre la estabilidad de antocianinas microencapsuladas suelen mostrar un comportamiento cinético, evidenciando que su degradación sigue una tendencia lineal con el tiempo.

De acuerdo con Mirhojati, Sharayei, y Ghavidel (2017), el almacenamiento de cápsulas a temperatura ambiente reduce significativamente la vida media de las antocianinas (ANCs) en comparación con su conservación bajo refrigeración. Sin embargo, Villacrez, Carriazo, y Osorio (2014) presentaron que el contenido de antocianinas en microcápsulas de bayas de los Andes, obtenidas con maltodextrina DE 20 y Hi-Cap™ 100 no presentó cambios significativos durante tres meses de almacenamiento a 18° C , 60% de humedad relativa, RH), pese a la destrucción parcial de las cápsulas. De manera similar, Santiago *et al.*, (2016) indicaron que la retención de ANCs monoméricas en jugo de granada en polvo almacenado a 25°C durante 90 días fue satisfactoria, alcanzando un 90% de conservación.

Así mismo Yingngam *et al.*, (2018) señalaron que el contenido total de ACNs en el extracto de fruta de morera microencapsulado disminuyó ligeramente tras 30 días de almacenamiento a 4°C y 25°C, mientras que a 45°C se observó una mayor pérdida de ACNs. De igual modo Álvarez *et al.*, (2019) observaron que, después de 90 días de almacenamiento a 38 °C, la pérdida de ANCs en vino tinto *Ancelotta* fue aproximadamente del 20%, en comparación con la concentración inicial posterior al secado por aspersión. En el caso de las ANCs del fruto de *Bactris guineensis* encapsulados mediante secado por aspersión con maltodextrina, las condiciones más adecuadas para el almacenamiento fueron inferiores a 37 °C y humedad relativa menor al 76 % (Osorio *et al.*, 2010).

Según Santiago *et al.*, (2016) y Robert *et al.*, (2010), la estabilidad durante el almacenamiento es mayor cuando el material de partida es jugo, en lugar de extracto, ya que algunos componentes del jugo como la vitamina C pueden poseer propiedades antioxidantes o favorecer la encapsulación. Además, Weber, Boch, y Schieber, (2017) sostiene que la presencia de pigmentos como el ácido ferúlico y rutina mejora notablemente la estabilidad

de las ACNs en la mora secada por aspersión, debido a su posible actividad antioxidante y su capacidad para evitar la hidratación del pigmento por la humedad residual o ambiental. Por otra parte, Mehran, Masoum, y Memarzadeh, (2020) demostraron que el almidón de maíz acetilado modificado, por su naturaleza termoprotectora, ofrece una mejor protección a las ANCs durante el almacenamiento de microcápsulas obtenidas mediante secado por aspersión.

Según Bicudo *et al.*, (2015), al examinar las propiedades del extracto de orujo de *uva Bordo* secado por aspersión, estos autores observaron que las muestras con una mayor proporción de material portador (30%) fueron más estables durante el almacenamiento.

Finalmente, la morfología de las partículas también influye en la estabilidad de las ANCs durante el almacenamiento, ya que las partículas de menor porosidad resultan más eficaces para proteger contra la degradación oxidativa, principal causa de deterioro durante la conservación (Laokuldilok y Kanha, 2017).

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Los resultados evidenciaron que la temperatura, el flujo másico y los agentes encapsulantes influyen significativamente en las propiedades físicas y fisicoquímicas de las antocianinas microencapsuladas de mashua. Las mejores condiciones de humectabilidad se lograron a 130 °C, 35 % de flujo másico y 0.9 % de carragenina, mientras que la mayor dispersabilidad se obtuvo a 110 °C con 0.4 % de goma guar. La solubilidad máxima se alcanzó a 120 °C con 0.9 % de carragenina, indicando una adecuada eficiencia de secado. La menor higroscopicidad se presentó a 130 °C con 0.2 % de goma guar, favoreciendo la conservación del producto. La densidad aparente más alta se registró a 130 °C con 1.5 % de carragenina, formando microcápsulas más compactas. El rendimiento fue bajo a 120 °C con 0.9 % de carragenina debido a la alta viscosidad del extracto. Finalmente, la mayor intensidad de color obtenida a 120 °C con 0.9 % de carragenina demostró una buena retención del pigmento.
- Con respecto las propiedades fisicoquímicas, contenido de humedad se obtuvo a 130 °C, con 25 % de flujo másico y 1.5 % de carragenina, lo que permitió obtener microcápsulas más secas y mejorar su conservación. El pH, de  $5.380 \pm 0.005$  a 130 °C y con 0.2 % de goma guar, se mantuvo en un rango adecuado para preservar la estabilidad y el color de las antocianinas. El contenido de sólidos solubles, de  $1.303 \pm 0.015$  °Brix a 120 °C y con 0.2 % de goma guar, fue bajo, el bajo contenido de sólidos solubles, medido en las microcápsulas ya disueltas, muestra que la mezcla era más líquida de lo esperado. Esto hizo que las microcápsulas no se formaran bien durante el secado, reduciendo la cantidad de producto final. El valor mínimo de acidez titulable, fue de  $4.803 \pm 0.096$  a 120 °C y con 0.9 % de carragenina dicho valor favorece a

mantener la estabilidad y el color de las antocianinas durante el secado, asegurando la calidad del producto final.

- El efecto de la temperatura, el flujo másico y la concentración de los agentes encapsulantes tuvo un impacto positivo en las propiedades funcionales de las microcápsulas. El contenido de antocianinas alcanzó  $23.280 \pm 0.216$  mg equivalentes de cianidina-3-glucosido/g a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con 25 % de flujo másico y 0.4 % de carragenina. La temperatura aplicada ayudó a conservar las antocianinas, protegiendo su composición durante el secado. De igual manera, la capacidad antioxidante presentó valores altos ( $90.760 \pm 3.480$ ) a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  y con 0.2 % de goma guar, lo que indica que el producto mantiene un alto potencial antioxidante bajo estas condiciones. Estos resultados son relevantes, ya que muestran que temperaturas moderadas y el uso adecuado de agentes encapsulantes ayudan a conservar las propiedades funcionales del producto, garantizando su valor nutricional y bioactivo.
- El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la estabilidad de las microcápsulas se evidenció en los resultados de humedad. Durante 6 semanas de almacenamiento a temperatura de refrigeración, las microcápsulas mantuvieron valores de humedad relativamente constantes, entre  $9.953 \pm 0.054$ ,  $10.409 \pm 0.530$  y  $13.715 \pm 0.939$  %. Esto indica que el producto presenta buena estabilidad, resistiendo tanto la absorción como la pérdida de agua en condiciones frías, lo que contribuye a prolongar su vida útil y mantener su calidad durante el almacenamiento.
- En general, se puede concluir que las condiciones de  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura, 25 % de flujo másico y 0.9 % de carragenina fueron las más adecuadas, ya que permitieron obtener un polvo con buena solubilidad, color intenso, bajo contenido de humedad y adecuada estabilidad. Estos resultados confirman que el proceso de secado por aspersión, bajo parámetros controlados, es una alternativa eficaz para conservar las antocianinas y facilitar su aplicación en productos alimentarios funcionales.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar los niveles de temperatura, flujo másico y concentraciones de carragenina–goma guar para caracterizar mejor el proceso, así como evaluar otros encapsulantes y mezclas (maltodextrina, inulina, goma arábica) que permitan identificar sinergias que mejoren el rendimiento y las propiedades de las microcápsulas.
- Ampliar ensayos funcionales: además de actividad antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP), evaluar capacidad quelante de metales y protección frente a radicales peroxilo; medir capacidad antiinflamatoria in vitro si es posible.
- Se recomienda evaluar la estabilidad del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento (freezer, refrigeración, temperatura ambiente y estrés térmico, por ejemplo (-20, 4, 25 y 40 °C) con humedades controladas. Además, debe realizarse un estudio cinético de degradación para determinar las constantes y parámetros asociados a la pérdida de antocianinas y color, permitiendo modelar la vida útil mediante métodos acelerados como Arrhenius.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adetoro, A., U. Opara, & O. Fawole. (2020). Effect of Carrier Agents on the Physicochemical and Technofunctional Properties and Antioxidant Capacity of Freeze-Dried Pomegranate Juice (*Punica Granatum*) Powder. *Foods* 9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101388>
- Aguilar, S. (2023). *Extracción, Microencapsulación y Caracterización de Antocianinas En Dos Variedades de Rábano (Raphanus Sativus L.) para su uso como colorante natural*. (Tesis Posgrado). Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- Ahmed, M., Akter, M., Lee, J., & Eun, J. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT – Food Science and Technology*, 43(9), 1307–1312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.014>
- Alarcon, C. (2015). *Optimización de parámetros de extracción de antocianinas del maíz morado (Zea mays L.) por el método de superficie de respuesta y verificación experimental* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú.
- Al-Maqtari, Q., Mohammed, J., Mahdi, A., Al-Ansi, W., Zhang, M., Al-Adeeb, A., Wei, M., Phyto, H. M., & Yao, W. (2021). Physicochemical properties, microstructure, and storage stability of *Pulicaria jaubertii* extract microencapsulated with different protein biopolymers and gum arabic as wall materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 939–954 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.180>
- Alvarez, I., Fanzone, M., Sari, S., Assof, M., Pérez, D., Chirife, J., & Zamora, M. C. (2019). Spray-dried Ancellotta red wine: Natural colorant with potential for food applications. *European Food Research and Technology*, 245(12), 2621–2630.
- Amr, A., & Al-Tamimi, E. (2007). Stability of the crude extracts of *Ranunculus asiaticus* anthocyanins and their use as food colourants. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 985–991. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01334.x>
- Angioletti, D., Emilio, M., Fonteles, T., Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2024). Impact of spray drying on the properties of grape pomace extract powder. *Processes*, 12, 1390. <https://doi.org/10.3390/pr12071390>

- AOAC. (2006). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.
- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información Tecnológica*, 25(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7(3). <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- Arteaga-Cano, Arteaga-Cano, D., Chacón-Calvo, L., Samamé-Herrera, V., Valverde-Cerna, D., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Mashua (*Tropaeolum tuberosum*): Nutritional composition, chemical characteristics, bioactive compounds and beneficial properties for health. *Agroindustrial Science*, 12, 95–101. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Ataie, A., Hosseini, F., Karimi, F., & Pajouhi, M. (2008). Effects of sour cherry juice on blood glucose and some cardiovascular risk factors improvements in diabetic women: A pilot study. *Nutrition & Food Science*, 38(4), 355–360. <https://doi.org/10.1108/00346650810891414>
- Badui, S. (2006a). *Química de los alimentos*. Pearson Educación.
- Badui, S. (2006b). *Química de los alimentos* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación, México.
- Bakowska-Barczak, A., & Kolodziejczyk, P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34, 1301–1309. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.002>
- Barba, C., Carrero, Y., Guaman, J., López, O., Aranda, C., Debut, A., & Guaman, L. (2024). Microencapsulation of anthocyanins from *Zea mays* and *Solanum tuberosum*: Impacts on antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activities. *Nutrients*, 16, 4078. <https://doi.org/10.3390/nu16234078>
- Barbosa-Canovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Hong, Y. (2005). *Food powders: Physical properties, processing, and functionality*. Springer.

- Barragán, M., Aro, J., Muñoz, A., & Rodríguez, J. (2020). Determination of anthocyanins and antioxidant capacity in extracts of *Muehlenbeckia volcanica*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.604>
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2003). *Raíces y tubérculos andinos: Alternativos para la conservación y uso sostenible*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Beim, B., Reátegui, O., Liviac, D., Arcos, J., & Best, I. (2021). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante *in vitro* de seis accesiones de mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.) de la región de Puno, Perú. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), 9707–9714. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.93020>
- BeMiller, J. N. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Elsevier/Academic Press.
- Bemiller, J. N. (2009). One hundred years of commercial food carbohydrates in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 8125–8129. <https://doi.org/10.1021/jf8039236>
- Benjamin, O., Davidovich-Pinhas, M., Shpigelman, A., & Rytwo, G. (2017). Utilization of polysaccharides to modify salt release and texture of a fresh semi-hard model cheese. *Food Hydrocolloids*, 75, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.033>
- Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40, 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00039-4).
- Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (2007). Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology*, 25(6), 1081–1092.
- Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>
- Bicudo, M. O. P., J6, J., Oliveira, G. A., Chaimsohn, F. P., Sierakowski, M. R., Freitas, R. A., & Ribani, R. H. (2015). Microencapsulation of juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures. *Drying Technology*, 33(2), 153–161. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.937872>

- Boldt, J. K., Meyer, M. H., & Erwin, J. E. (2014). Foliar anthocyanins: A horticultural review. En *Horticultural Reviews* (Vol. 42, pp. 209–251). John Wiley & Sons, Inc.
- Bouyer, É., Mekhloufi, G., Rosilio, V., Grossiord, J. L., & Agnely, F. (2012). Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field. *International Journal of Pharmaceutics*, 436(1–2), 359–378.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cabrera, M., Avilés-Avilés, C., González-García, R., Moscosa-Santillán, M., Grajales-Lagunes, A., & Abud-Archila, M. (2009). Spray-drying of passion fruit juice using lactose–maltodextrin blends as the support material. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52, 1011–1018
- Cai, D., Li, X., Chen, J., Jiang, X., Ma, X., Sun, J., Tian, L., Vidyarthi, S., Xu, J., Pan, Z., & Bai, W. (2021). A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. *Food Chemistry*, 366, 130611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130611>
- Cai, Y., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *Journal of Food Science*, 65(6), 1248–1252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>
- Calvo, P., Hernández, T., Lozano, M., & González-Gómez, D. (2010). Microencapsulation of extra-virgin olive oil by spray-drying: Influence of wall material and olive quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(8), 852–858. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000059>
- Cano-Chauca, Milton, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

- Cao, L., Park, Y., Lee, S., & Kim, D. O. (2021). Extraction, identification, and health benefits of anthocyanins in blackcurrants (*Ribes nigrum* L.). *Applied Sciences*, *11*(4), 1–14.
- Castañeda-Ovando, A., González-Aguilar, L., Granados-Delgadillo, M., & Chávez-Gómez, U. (2020). Goma guar: Un aliado en la industria alimentaria. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *7*, 107–111. <https://doi.org/10.29057/icbi.v7i14.4988>
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M., Rodríguez, J., & Galán-Vidal, C. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, *113*(4), 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>
- Castellar, M., Obón, J., & Fernández-López, J. (2006). The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*, 122–128. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2285>
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(4), 377–399. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12065>
- Cavalcanti, R. N., Santos, D. T., & Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems: An overview. *Food Research International*, *44*, 499–509.
- Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: Insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, *38*(11), 833–847. <https://doi.org/10.1071/FP11192>
- Ceballos, M. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia.
- Černíková, M., Buňka, F., Pavlínek, V., Březina, P., Hrabě, J., & Valášek, P. (2008). Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, *22*, 1054–1061. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.020>
- Chegini, G. R., Khazaei, J., Ghobadian, B., & Goudarzi, A. M. (2008). Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.007>

- Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J. F., & Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, *111*, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.038>
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Cedano, I., & Campos, D. (2015). Antioxidants from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) control lipid oxidation in sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil and raw ground pork meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*, 2612–2619. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12511>
- Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., & Larondelle, Y. (2007a). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, *55*(2), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.12.005>
- Chorfa, N., Savard, S., & Belkacemi, K. (2016). An efficient method for high-purity anthocyanin isomers isolation from wild blueberries and their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, *197*, 1226–1234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.076>
- Cierach, M., Modzelewska-Kapituła, M., & Szaciło, K. (2009). The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. *Meat Science*, *82*(3), 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.025>
- Coloma, A., Flores-Mamani, E., Quille-Calizaya, G., Zaira-Churata, A., Apaza-Ticona, J., Calsina-Ponce, W. C., Huata-Panca, P., Inquilla-Mamani, J., & Huanca-Rojas, F. (2022). Characterization of nutritional and bioactive compounds in three genotypes of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) from different agroecological areas in Puno. *International Journal of Food Science*, *2022*, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/7550987>
- Comisión Europea, FAO/OMS. (2012). *Reglamento (UE) n.º 231/2012 de la Comisión, de 9 de marzo de 2012, por el que se establecen especificaciones para los aditivos alimentarios enumerados en los anexos II y III.*
- Contreras-Lopez, E., Castañeda-Ovando, A., González-Olivares, L., Añorve-Morga, J., & Jaimez-Ordaz, J. (2014). Effect of light on stability of anthocyanins in ethanolic extracts of *Rubus fruticosus*. *Food and Nutrition Sciences*, *5*, 488–494.

- Cortez, R., Luna, D., Margulis, D., & González, E. (2017). Natural pigments: Stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 180–198. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244>
- Cuya, R. (2009). *Efecto del secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum R. & P.)* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Daneshzad, E., Shab-Bidar, S., Mohammadpour, Z., & Djafarian, K. (2018). Effect of anthocyanin supplementation on cardio-metabolic biomarkers: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition*, 38(3), 1153–1165. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.06.979>
- daSilva, A., da Costa, M., da Silva, V., Sartoratto, A., Rodrigues, R., & Hubinger, M. (2016). Physical properties and morphology of spray-dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. *Powder Technology*, 294, 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.007>
- Desai, K. G. H., & Park, H. J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7), 1361–1394.
- Díaz-Montes, E. (2023). Wall materials for encapsulating bioactive compounds via spray-drying: A review. *Polymers*, 15(12), 2659. <https://doi.org/10.3390/polym15122659>
- Dong, S., Feng, S., Liu, F., Li, R., Li, W., Liu, F., Shi, G., Chen, L., & Zhang, Y. (2021). Factors influencing the adhesive behavior of carboxymethyl cellulose-based hydrogel for food applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 179, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.027>
- Doyle, J., Giannouli, P., Martin, E., Brooks, M., & Morris, E. (2006). Effect of sugars, galactose content and chain length on freeze–thaw gelation of galactomannans. *Carbohydrate Polymers*, 64, 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.019>
- Drago, M., López, M., & Sainz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57937408>

- Duthie, S. J., Jenkinson, A. M., Crozier, A., Mullen, W., Pirie, L., Kyle, J., Yap, L., Christen, P., & Duthie, G. G. (2006). The effects of cranberry juice consumption on antioxidant status and biomarkers relating to heart disease and cancer in healthy human volunteers. *European Journal of Nutrition*, 45(2), 113–122. <https://doi.org/10.1007/s00394-005-0572-9>
- Echegaray, N., Munekata, P. E. S., Gullón, P., Dzuovor, C. K. O., Gullón, B., Kubi, F., & Lorenzo, J. M. (2022). Recent advances in food products fortification with anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(6), 1553–1567. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1849329>
- Enache, I., Vasile, A., Enachi, E., Barbu, V., Stanciuc, N., & Vizireanu, C. (2020). Co-microencapsulation of anthocyanins from cornelian cherry fruits and lactic acid bacteria in biopolymeric matrices by freeze-drying: Evidences on functional properties and applications in food. *Polymers*, 12, 906. <https://doi.org/10.3390/polym12040906>
- 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>
- Espinosa, C., López, J., Escobar, D., Jiménez, D., Bugueño, W., & Cerezal, P. (2019). Application of microencapsulated anthocyanin extracted from purple cabbage in fermented milk drinks. *Acta Agronómica*, 68, 134–141. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n2.79078>
- Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou, J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food Chemistry*, 275, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.103>
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510–523. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>

- Fenema, O. R. (2000). *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Fennema, O. R., & Tannenbaum, S. R. (2010). *Introducción a la química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Fera, A., Galih, A., Arini, M., Alia, F., Sisca, U., & Mimiek, M. (2013). Extraction and stability test of anthocyanin from buni fruits (*Antidesma bunius* L.) as an alternative natural and safe food colorants. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, *1*, 1–6.
- Ferrari, C. C., Marconi, S., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technology*, *31*(4), 458–467. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.742103>
- Fonseca, A., Alves, C., Alexandre, R., Fernández, G., de Tarso, P., & Martínez, J. (2018). Encapsulation of anthocyanin-rich extract from blackberry residues by spray-drying, freeze-drying and supercritical antisolvent. *Powder Technology*, *340*, 553–562. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.063>
- Forero, D., Morales, A., & Osorio, C. (2011). *Microencapsulación del color de la guayaba*. Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, *75*(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>
- Galindo, G., Báez-Gonzales, J., Alanis, M., Regalado-Méndez, S., Galindo, S., & Vernon, E. (2010). *Eficiencia de encapsulación del aceite de linaza utilizando goma de mezquite y quitosano como materiales de pared*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/245023014>
- Gallardo, T. (2017). *El potencial de la mashua en mercados con mayor poder adquisitivo*. MyPerúGlobal.
- García-Beneytez, E., Cabello, F., & Revilla, E. (2003). Analysis of grape and wine anthocyanins by HPLC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(19), 5622–5629. <https://doi.org/10.1021/jf0302207>

- Garcia, C., & Blesso, C. N. (2021). Antioxidant properties of anthocyanins and their mechanism of action in atherosclerosis. *Free Radical Biology and Medicine*, *172*, 152–166.
- Garzón, G. A., Riedl, K. M., & Schwartz, S. J. (2009). Determination of anthocyanins, total phenolic content, and antioxidant activity in Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.). *Journal of Food Science*, *74*(3), C227–C232. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01092.x>
- Gelardi, G., Mantellato, S., Marchon, D., Palacios, M., Eberhardt, A., & Flatt, R. (2016). Chemistry of chemical admixtures. En *Science and technology of concrete admixtures* (pp. 149–218). Elsevier
- George, S., & Cenkowski, S. (2007). Influence of harvest time on the quality of oil-based compounds in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*) seed and fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(20), 8054–8061. <https://doi.org/10.1021/jf070772f>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. En *Current protocols in food analytical chemistry*. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Giusti, M. M., Rodríguez, L., & Wrolstad, R. E. (1999). Molar absorptivity and color characteristics of acylated and nonacylated anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(11), 4631–4637. <https://doi.org/10.1021/jf981271k>
- Gomes, J. V. P., Rigolon, T. C. B., da Silveira, A. C., Alvarez-Leite, J. I., Martino, H. S. D., & Rosa, C. O. B. (2019). Antiobesity effects of anthocyanins on mitochondrial biogenesis, inflammation, and oxidative stress: A systematic review. *Nutrition*, *66*, 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.05.005>
- Gonzales, H., Gonzales, S., & Rosales, R. (2011). Caracterización de compuestos volátiles durante el secado por aspersion de jugo de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.). *Revista*, xx(x), xx–xx. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67418397002>
- González-Palomares, S., Estarrón-Espinosa, M., Gómez-Leyva, J., & Andrade-González, I. (2009). Effect of the temperature on the spray drying of roselle extracts (*Hibiscus*

- sabdariffa L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(1), 62–67.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-008-0103-y>
- González, M., Moreno, G., & López, S. (2020). Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua. *Conciencia Digital*, 3(3), 199–214.  
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1299>
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129–1151.  
<https://doi.org/10.1081/DRT-120038584>
- Grabowski, J. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*, 71(5), E209–E217. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00036.x>
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., & Hermann, M. (2003). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Lima, Perú: International Potato Center; Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Gerencia Regional de Desarrollo Agrario (GRDA). (2022). *Información estadística: Serie histórica de producción agrícola*. Recuperado de <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agraria-informatica/agricola/>
- Guevara-Freire, D., Valle-Velástegui, L., Barros-Rodríguez, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Dobronski-Arcos, J., & Pomboza-Tamaquiza, P. (2018). Nutritional composition and bioactive components of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Revista*, 21.
- He, F., Liang, N. N., Mu, L., Pan, Q. H., Wang, J., Reeves, M. J., & Duan, C. Q. (2012). Anthocyanins and their variation in red wines I: Monomeric anthocyanins and their color expression. *Molecules*, 17(2), 1571–1601.  
<https://doi.org/10.3390/molecules17021571>
- Heras, I., Alvis, A., & Arrazola, G. (2013). Optimización del proceso de extracción de antocianinas y evaluación de la capacidad antioxidante de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Información Tecnológica*, 24(5), 93–102.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000500011>

- Hernández, J., & Bermejo, L. J. (1992). *Cultivos marginados: Otra perspectiva de 1492*. México:
- Hogekamp, S., & Schubert, H. (2003). Rehydration of food powders. En *Food Science and Technology International* (Vol. 9, pp. 223–235).
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., & Pinjari, D. V. (2019). A critical review on the possible remediation of sediment in cocoa/coffee flavored milk. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.02>
- Huang, W., Zhao, X., Chai, Z., Herrera, D., Li, B., Yang, Y., Lu, S., & Tu, Z. (2023). Improving blueberry anthocyanins' stability using a ferritin nanocarrier. *Molecules*, 28, 1–12. <https://doi.org/10.3390/molecules28155844>
- Huang, M., Theng, A. H. P., Yang, D., & Yang, H. (2021). Influence of  $\kappa$ -carrageenan on the rheological behaviour of a model cake flour system. *LWT*, 136, 110324. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110324>
- Iglesias, J. (2009). *Diseño de ingredientes antioxidantes de origen natural y su aplicación en la estabilización de productos derivados de la pesca* (Tesis de posgrado). Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Inostroza, L., Castro, A., Hernández, E., Carhuapoma, M., Yuli, R., Collado, A., & Córdova, J. (2015). Actividad antioxidante de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón (mashua) y su aplicación como colorante para yogur. *Ciencia e Investigación*, 18(2). <https://doi.org/10.15381/ci.v18i2.13615>
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26, 816–835. <https://doi.org/10.1080/07373930802135972>
- Jamanca, N., Gonzáles, S., & Alfaro, C. (2017). *Antioxidantes en los alimentos*.
- Jiang, Q., Li, S., Du, L., Liu, Y., & Meng, Z. (2021). Soft  $\kappa$ -carrageenan microgels stabilized Pickering emulsion gels: Compact interfacial layer construction and particle-dominated emulsion gelation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 602, 822–833. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.06.070>

- Jiménez-Aguilar, D., Ortega-Regules, A., Lozada-Ramírez, J. D., Pérez-Pérez, M. C., Vernon-Carter, E. J., & Welti-Chanes, J. (2011). Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*, 889–894. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.04.012>
- Jinapong, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>
- Jittanit, W., Chantara-In, M., Deying, T., & Ratanavong, W. (2011). Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and Arabic gum as adjuncts. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *33*, 33–41.
- Johnson, E. J. (2002). The role of carotenoids in human health. *Nutrition in Clinical Care*, *5*(2), 56–65. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x>
- Jokioja, J., Linderborg, K., Kortensniemi, M., Nuora, A., Heinonen, J., Sainio, T., Viitanen, M., Kallio, H., & Yang, B. (2020). Anthocyanin-rich extract from purple potatoes decreases postprandial glycemic response and affects inflammation markers in healthy men. *Food Chemistry*, *310*, 125797. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125797>
- Juhadi, W., & Marpaung, A. M. (2021). Optimization of time, temperature, and pH for the extraction of anthocyanin from buni (*Antidesma bunius*) fruit. *Food Science and Technology Journal*, *4*(1), 8–15. <https://doi.org/10.25139/fst.v4i1.3319>
- Kanha, N., Surawang, S., Pitchakarn, P., & Laokuldilok, T. (2020). Microencapsulation of copigmented anthocyanins using double emulsion followed by complex coacervation: Preparation, characterization and stability. *LWT – Food Science and Technology*, *133*, 110154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110154>
- Kavoosi, G., Derakhshan, M., Salehi, M., & Rahmati, L. (2017). Microencapsulation of *Zataria* essential oil in agar, alginate and carrageenan. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *45*, 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.010>
- Khazaei, K., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati Kakhki, A. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, *105*, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.042>

- Koutsopoulos, D., Koutsimanis, G., & Bloukas, J. G. (2008). Effect of carrageenan level and packaging during ripening on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages produced with olive oil. *Meat Science*, *79*(1), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.08.016>
- Kruger, M. J., Davies, N., Myburgh, K. H., & Lecour, S. (2014). Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular diseases. *Food Research International*, *59*, 41–52.
- Kuck, L. S., & Zapata, C. L. V. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, *194*, 569–576. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.066>
- Kunapornsujarit, D., & Intipunya, P. (2013). Effect of spray drying temperature on quality of longan beverage powder.
- Lal, S. N. D., O'Connor, C. J., & Eyres, L. (2006). Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. *Advances in Colloid and Interface Science*, *123–126*, 433–437.
- Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015). Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT – Food Science and Technology*, *64*, 405–411. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.015>
- Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2017). Microencapsulation of black glutinous rice anthocyanins using maltodextrins produced from broken rice fraction as wall material by spray drying and freeze drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12877>
- Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (2000). Evaluation of CIE-Lab colour parameters during the clarification of a sugar syrup from mesquite pods (*Prosopis pallida* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, *35*, 385–389. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00394.x>
- Largo, E., Cortés, M., & Velásquez, H. (2015). Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *68*, 7509–7520. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47839>

- Leiva-Revilla, J., Cárdenas-Valencia, I., Rubio, J., Guerra-Castañón, F., Olcese-Mori, P., Gasco, M., & Gonzales, G. F. (2012). Evaluation of different doses of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) on the reduction of sperm production, motility and morphology in adult male rats. *Andrologia*, *44*, 205–212. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.2011.01165.x>
- Leo, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leo, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, *39*, 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Leon, E. (2019). *Tomo 2. Alimentos del Perú: Propiedades nutricionales y farmacológicas*. <https://www.researchgate.net/publication/377926144>
- Liang, Z., Sang, M., Fan, P., Wu, B., Wang, L., Yang, S., & Li, S. (2011). CIELAB coordinates in response to berry skin anthocyanins and their composition in *Vitis*. *Journal of Food Science*, *76*(3), C490–C497. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02095.x>
- Li, X., Xu, J., Tang, X., Liu, Y., Yu, X., Wang, Z., & Liu, W. (2016). Anthocyanins inhibit trastuzumab-resistant breast cancer in vitro and in vivo. *Molecular Medicine Reports*, *13*(5), 4007–4013. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4990>
- Li, P., Feng, D., Yang, D., Li, X., Sun, J., Wang, G., Tian, L., Jiang, X., & Bai, W. (2021). Protective effects of anthocyanins on neurodegenerative diseases. *Trends in Food Science & Technology*, *117*, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.016>
- Liu, J., Zhan, X., Wan, J., Wang, Y., & Wang, C. (2015). Review for carrageenan-based pharmaceutical biomaterials: Favourable physical features versus adverse biological effects. *Carbohydrate Polymers*, *121*, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.017>
- Llauce, T., Paredes, A., & Castillo, W. (2015). *Evaluación de la atomización del jugo de aguaymanto (Physalis peruviana) por secado por aspersión (Vol. 2)*.
- Longo, L., & Vasapollo, G. (2006). Extraction and identification of anthocyanins from *Smilax aspera* L. berries. *Food Chemistry*, *94*, 226–231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.008>
- Lutz, M. (2013). *Biodisponibilidad de compuestos bioactivos en alimentos*.

- Machado, A. P. F., Pereira, A. L. D., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2017). Recovery of anthocyanins from residues of *Rubus fruticosus*, *Vaccinium myrtillus* and *Eugenia brasiliensis* by ultrasound assisted extraction, pressurized liquid extraction and their combination. *Food Chemistry*, *231*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.060>
- Magalhães, L. M., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2008). Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, *613*, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.02.047>
- Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Assadpoor, E. (2014). Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review. *Drying Technology*, *32*(5), 509–518. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.839562>
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Ramírez, C., Chávez, O., Tay, D., & Ellis, D. (2013). *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.: Catálogo de la colección de germoplasma de mashua. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://doi.org/10.4160/9789290604310>
- Marathe, S. J., Shah, N. N., Bajaj, S. R., & Singhal, R. S. (2021). Esterification of anthocyanins isolated from floral waste: Characterization of the esters and their application in various food systems. *Food Bioscience*, *40*, 100852. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100852>
- Martinelli, L., Gabas, A. L., & Telis-Romero, J. (2007). Thermodynamic and quality properties of lemon juice powder as affected by maltodextrin and arabic gum. *Drying Technology*, *25*, 2035–2045. <https://doi.org/10.1080/07373930701728836>
- Meenakshi, N., Sasikala, S., & Pavithra, M. (2018). Physical properties of microencapsulated anthocyanin by spray drying of red *Amaranthus* extract with maltodextrin. *International Journal of Food Properties*.
- Mehran, M., Masoum, S., & Memarzadeh, M. (2020). Improvement of thermal stability and antioxidant activity of anthocyanins of *Echium amoenum* petal using maltodextrin/modified starch combination as wall material. *International Journal of Biological Macromolecules*, *148*, 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.197>

- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2022). *Producción de principales cultivos*.
- Minemoto, Y., Hakamata, K., Adachi, S., & Matsuno, R. (2002). Oxidation of linoleic acid encapsulated with gum arabic or maltodextrin by spray-drying. *Journal of Microencapsulation*, 19(2), 181–189. <https://doi.org/10.1080/02652040110065468>
- Mirhojati, H., Sharayei, P., & Ghavidel, R. (2017). Microencapsulation of anthocyanin pigments obtained from seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruit using freeze drying. *Iranian Food Science and Technology Journal*. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1396i3.58661>
- Mirzaei, M., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2021). Spray-drying microencapsulation of anthocyanins of black seedless barberry (*Berberis vulgaris*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(e15858). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15858>
- Mohammadalinejhad, S., Almonaityt, A., Jensen, I., Kurek, M., & Lerfall, J. (2023). Microesferas de alginato incorporadas con antocianinas de maíz morado (*Zea mays* L.) mediante extrusión electrostática: Optimización de la microencapsulación, caracterización y estudios de estabilidad. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125684>
- Mohammadalinejhad, S., & Kurek, M. A. (2021). Microencapsulation of anthocyanins: Critical review of techniques and wall materials. *Applied Sciences*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094183>
- Moraes, R., Øllgaard, B., Kvist, L., Borchsenius, F., & Balslev, H. (2006). *Botánica económica de los Andes centrales*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Frutos, M. J., Galtier, P., Dusemund, B. (2017). Re-evaluation of guar gum (E 412) as a food additive. *EFSA Journal*, 15. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4669>
- Moser, P., Telis, V. R. N., Neves, N. A., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food Chemistry*, 214, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.081>

- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and food applications – A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 409–418. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>
- Nayak, C. A., & Rastogi, N. K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, 28, 1396–1404. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482705>
- Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: A review. *Veterinarni Medicina*, 58. <https://doi.org/10.17221/6758-VETMED>
- Nguyen, Q. D., Dang, T. T., Nguyen, T. V., Nguyen, T. T., & Nguyen, N. N. (2021). Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of drying conditions on some physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried powder. *Food Science & Nutrition*, 9, 191–203. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2659>
- Novais, C., Molina, A., Abreu, R., Santo-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., Pereira, C., & Barros, L. (2022). Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(9), 2789–2805. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07533>
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90, 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.013>
- Ochoa, A., González, S., Morales, J., Rocha, N., Trancoso, N., & Urbina, M. (2011). Rehydration and functional properties of a powder product from pomegranate–apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*.
- Osmani, S. A., Hansen, E. H., Aubert, C., Olsen, C. E., Bak, S., & Møller, B. L. (2009). Effect of glucuronosylation on anthocyanin color stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 3149–3155. <https://doi.org/10.1021/jf8034435>
- Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J. G., Winterhalter, P., & Morales, A. L. (2010). Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6977–6985. <https://doi.org/10.1021/jf100536g>

- Osterloh, A., Ebert, G., Held, W. H., & Schulz, H. (1996). Rezensionen/Book reviews.
- Otalora, M., Wilches, A., & Gómez, J. (2023). Spray-drying microencapsulation of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale* Sw.) anthocyanins using prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel mucilage or gum arabic: A comparative study. *Foods*, *12*, 1811. <https://doi.org/10.3390/foods12091811>
- Pedroza, R. (2002). *Alimentos microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas.*
- Pereira, K. C., Ferreira, D. M., Alvarenga, G. F., Pereira, M. S., Barcelos, M. S., & Costa, J. G. (2018). Microencapsulation and release controlled by the diffusion of food ingredients produced by spray drying: A review. *Brazilian Journal of Food Technology*, *21*. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, *19*(4), 1297–1306.
- Pieczkolan, E., & Kurek, M. (2019). Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, *129*, 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.073>
- Phan, K., Van den Broeck, E., Van Speybroeck, V., De Clerck, K., Raes, K., & De Meester, S. (2020). The potential of anthocyanins from blueberries as a natural dye for cotton: A combined experimental and theoretical study. *Dyes and Pigments*, *176*, 108180. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.108180>
- Prajapati, V., Maheriya, P., Jani, G., & Solanki, H. (2014). Carrageenan: A natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate Polymers*, *105*, 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.067>
- Prakash, S., Huppertz, T., Karvchuk, O., & Deeth, H. (2010). Ultra-high-temperature processing of chocolate flavoured milk. *Journal of Food Engineering*, *96*, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.008>

- Qin, Y., Yun, D., Xu, F., Chen, D., Kan, J., & Liu, J. (2021). Smart packaging films based on starch/polyvinyl alcohol and *Lycium ruthenicum* anthocyanins-loaded nano-complexes: Functionality, stability and application. *Food Hydrocolloids*, *119*, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106850>
- Quaglieri, C., Jourdes, M., Waffo-Teguo, P., & Teissedre, P. L. (2017). Updated knowledge about pyranoanthocyanins: Impact of oxygen on their contents, and contribution in the winemaking process to overall wine color. *Trends in Food Science & Technology*, *67*, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.018>
- Rehman, A., Liang, Q., Karim, A., Assadpour, E., Jafari, S. M., Rasheed, H., Virk, M., Qayyum, A., Suleria, H. A. R., & Ren, X. (2024). Pickering high internal phase emulsions stabilized by biopolymeric particles: From production to high-performance applications. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109751>
- Rein, M. (2005). *Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins* (Tesis doctoral). Department of Applied Chemistry and Microbiology.
- Reyes, A., Galicia, C., & Carrillo, M. (2011). Antioxidantes: La magia de lo natural. *Revista Académica de Investigación*.
- Rezende, Y. R. S., Nogueira, J. P., & Narain, N. (2018). Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, *254*, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>
- Rivas, C. (2010). *Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de chirimoya (Annona cherimola Mill)* (Tesis de posgrado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Robert, P., & Fredes, C. (2015). The encapsulation of anthocyanins from berry-type fruits. *Molecules*, *20*(4), 5875–5888. <https://doi.org/10.3390/molecules20045875>
- Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepúlveda, E., Chávez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, *45*(7), 1386–1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02270.x>

- Rodriguez, E., Vidallon, M., Mendoza, D., & Reyes, C. (2016). Health-promoting bioactivities of betalains from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton and Rose) peels as affected by carbohydrate encapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4679–4689. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7681>
- Roos, Y., & Karel, M. (1991b). Phase transitions of amorphous sucrose and frozen sucrose solutions. *Food Science and Technology International*, 26, 553–566. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb02001.x>
- Sablani, S. S., Shrestha, A. K., & Bhandari, B. R. (2008). A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 416–421. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.024>
- Saéñz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095>
- Sakulnarmrat, K., Wongsrikaew, D., & Konczak, I. (2021). Microencapsulation of red cabbage anthocyanin-rich extract by drum drying technique. *LWT – Food Science and Technology*, 137, 110473. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110473>
- Salehi, F. (2019). Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review. *Journal of Texture Studies*, 51, 361–370. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12463>
- Salehi, F. (2019). Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food Science & Nutrition*, 7(11), 3391–3402. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1205>
- Santiago, M. C. P. A., Nogueira, R., Paim, D. R. S. F., Gouvêa, A. C., Godoy, R., Peixoto, F., Pacheco, S., & Freitas, S. (2016). Effects of encapsulating agents on anthocyanin retention in pomegranate powder obtained by the spray drying process. *LWT – Food Science and Technology*, 73, 551–556. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.059>
- Saucedo-Luna, W., Castro-Montoya, A., Rico, J., & Campos-García, J. (2010). Optimization of acid hydrolysis of bagasse from *Agave tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(1), 91–97.

- Seid-Mahdi, J., Mahdavi-Khazaei, K., & Hemmati-Kakhki, A. (2015). Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. *Carbohydrate Polymers*, *140*, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.079>
- Sharif, N., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S. M. (2020). Nano/microencapsulation of anthocyanins; A systematic review and meta-analysis. *Food Research International*, *132*, 109077. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109077>
- Sharma, A., Jana, A., & Chavan, R. (2012). Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *11*, 518–528. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00199.x>
- Siddiqui, S., Alvi, T., Biswas, A., Shityakov, S., Gusinskaia, T., Lavrentev, F., Dutta, K., Khan, M., Stephen, J., & Radhakrishnan, M. (2022). Food gels: Principles, interaction mechanisms and its microstructure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(33), 12530–12551. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2030191>
- Silva, E., Rogez, H., & Larondelle, Y. (2013). Optimization of extraction of phenolics from *Inga edulis* leaves using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, *55*, 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.008>
- Silva, P., Stringheta, P. C., Teófilo, R. F., & de Oliveira, I. R. N. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. *Journal of Food Engineering*, *117*(4), 538–544. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.039>
- Teng, H., Mi, Y., Cao, H., & Chen, L. (2022). Enzymatic acylation of raspberry anthocyanin: Evaluations on its stability and oxidative stress prevention. *Food Chemistry*, *372*, 130766. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130766>
- Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., & Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *88*, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001>
- Tomsone, L., Galoburda, R., Kruma, Z., Durrieu, V., & Cinkmanis, I. (2020). Microencapsulation of horseradish (*A Armoracia rusticana* L.) juice using spray-drying. *Foods*, *9*(9), 1332. <https://doi.org/10.3390/foods9091332>

- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>
- Tonon, R. V., Freitas, S. S., & Hubinger, M. D. (2011). Spray drying of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), 691–700. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00518.x>
- Totosaus, A., & Güemes-Vera, N. (2008). Effect of  $\kappa$ - and  $\lambda$ -carrageenans as fat-replacers in low-fat Oaxaca cheese. *International Journal of Food Properties*, 11(3), 656–668. <https://doi.org/10.1080/10942910701594111>
- True, R., & Wallick, D. (2012). Reviewing the use of ethylcellulose, methylcellulose and hypromellose in microencapsulation. Part 1: Materials used to formulate microcapsules. *Journal of Microencapsulation*. <https://doi.org/10.3109/03639045.2011.590990>
- Ungar, Y., Osundahunsi, O. F., & Shimoni, E. (2003). Thermal stability of genistein and daidzein and its effect on their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4394–4399. <https://doi.org/10.1021/jf034021z>
- U.S. Department of Agriculture. (2016). *Carrageenan handling/processing*. National Organic Program. Technical Evaluation Report.
- Vásquez, J., Gonzáles, J., & Pino, J. (2012). Decrease in spermatic parameters of mice treated with hydroalcoholic extract of *Tropaeolum tuberosum* “mashua”. *Revista Peruana de Biología*, 19(1), 89–93. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195024647011>.
- Velásquez-Barreto, F., Ramírez, E., Chuquilín, R., & Aliaga-Barrera, I. (2020). Optimization of the functional properties of a drink based on tubers of purple mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). *Agroindustrial Science*, 10(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.09>
- Velásquez, F., & Velezmoro, C. (2022). Microencapsulación de extractos de mashua morada usando almidones de tubérculo modificados con anhídrido octenil succínico. *Revista*

*Internacional de Ciencia Alimentaria*, 2022, 1–13.  
<https://doi.org/10.1155/2022/8133970>

- Velásquez, F. (2019). *Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Vergara, C., Pino, M., 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*, 25(3), 722. <https://doi.org/10.3390/molecules25030722>
- Villacrez, J., Carriazo, J., & Osorio, C. (2014). Microencapsulation of Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) aqueous extract by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, 7(5), 1445–1456. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1172-y>
- Villanueva, J., Codezo-Hoyos, L., & Asqu岸, E. (2008). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh).
- Wang, Z., Sun, L., Fang, Z., Nisar, T., Zou, L., Li, D., & Guo, Y. (2021). *Lycium ruthenicum* Murray anthocyanins effectively inhibit  $\alpha$ -glucosidase activity and alleviate insulin resistance. *Food Bioscience*, 41, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100949>
- Wang, L., Shiraishi, A., Hashimoto, F., Aoki, N., Shimizu, K., & Sakata, Y. (2001). Analysis of petal anthocyanins to investigate flower coloration of Zhongyuan (Chinese) and Daikon Island (Japanese) tree peony cultivars. *Journal of Plant Research*, 114, 33–43. <https://doi.org/10.1007/PL00013966>
- Weber, F., Boch, K., & Schieber, A. (2017). Influence of copigmentation on the stability of spray-dried anthocyanins from blackberry. *LWT – Food Science and Technology*, 75, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.042>
- Weber, F., & Larsen, L. R. (2017). Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Research International*, 100, 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.033>
- Wielinga, W. (2010). *Food stabilisers, thickeners, and gelling agents*. Blackwell Publishing.

- Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, *16*, 423–428.
- Xiong, T., Sun, H., Niu, Z., Xu, W., Li, Z., He, Y., Luo, D., Xi, W., Wei, J., & Zhang, C. (2022). Carrageenan-based Pickering emulsion gels stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticle: Microstructure, rheological, and texture perspective. *Foods*, *11*(23), 3757. <https://doi.org/10.3390/foods11233757>
- Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. *Food Chemistry: X*, *24*, 101883. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883>
- Yamashita, C., Chung, M., dos Santos, C., Mayer, C., Moraes, I., & Branco, I. (2017). Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. *LWT – Food Science and Technology*, *84*, 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.063>
- Yingngam, B., Tantiraksaroj, K., Taweetao, T., Rungseevijitprapa, W., Supaka, N., & Brantner, A. H. (2018). Modeling and stability study of the anthocyanin-rich maoberry fruit extract in fast-dissolving spray-dried microparticles. *Powder Technology*, *325*, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.059>
- Yoshida, K., Kitahara, S., Ito, D., & Kondo, T. (2006). Ferric ions involved in the flower color development of the Himalayan blue poppy, *Meconopsis grandis*. *Phytochemistry*, *67*(10), 992–998. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.03.013>
- Yu, W., Gao, J., Hao, R., Zhang, C., Liu, H., Fan, J., & Wei, J. (2021). *Aronia melanocarpa* Elliot anthocyanins inhibit colon cancer by regulating glutamine metabolism. *Food Bioscience*, *40*, 100910. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100910>
- Zhang, L., Wang, Y., Cao, Y., Wang, F., & Li, F. (2025). Enhancing the bioavailability and stability of anthocyanins for the prevention and treatment of central nervous system-related diseases: A review. *Foods*, *14*(14).
- Zeng, Y.-J., Yang, H., Zong, M., & Lou, W. (2018). Purification of anthocyanins from Saskatoon berries and their microencapsulation in deep eutectic solvents. *LWT – Food Science and Technology*, *95*, 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.087>

Zheng, L., Ding, Z., Zhang, M., & Sun, J. (2011). Microencapsulation of bayberry polyphenols by ethyl cellulose: Preparation and characterization. *Journal of Food Engineering*, *104*(1), 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.031>

## ANEXOS

### Anexo 1: Resultados de antocianinas monoméricas (25 % flujo másico).



Emitido en Juliaca, el 19 de agosto de 2024

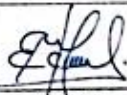
Nombre del solicitante	: Jhaquelin Coylla Tumi
RUC / DNI	: 72608581
Dirección del solicitante	: Jirón Rimac SN – Juliaca – San Román – Puno
Servicio solicitado	: Determinación de antocianinas monoméricas por método diferencial de pH.
Producto declarado	: Extracto de mashua morada microencapsulado.
Cantidad de muestra	: 20 g
Identificación / marca	: SIN MARCA.
Presentación	: Atomizado y envasado.
Lugar y fecha de recepción	: Laboratorio CITAL, 29 de julio de 2024.
Características	: Muestra proporcionada en envase de vidrio aislado de la luz.
Condiciones de recepción	: En aparente buen estado a temperatura ambiente.
Muestra de Dirimencia	: No proporcionada por la solicitante.
Fecha de inicio de ensayos	: 05 de agosto de 2024
Fecha de término de ensayos	: 09 de agosto de 2024

#### ENSAYOS

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS	
Contenido de antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH	mg equivalentes de cianidina-3-glucósido / g, base seca	T11 - 110 °C	8.86 ± 0.20
		T12 - 110 °C	19.38 ± 0.63
		T21 - 120 °C	19.15 ± 0.17
		T22 - 120 °C	19.89 ± 0.61
		T31 - 130 °C	21.55 ± 0.34
		T32 - 130 °C	19.96 ± 0.25
		G11 - 110 °C	9.29 ± 0.10
		G12 - 110 °C	23.28 ± 0.22
		G21 - 120 °C	18.04 ± 0.05
		G22 - 120 °C	22.98 ± 0.34
		G31 - 130 °C	13.71 ± 0.36
		G32 - 130 °C	20.03 ± 0.22

DETERMINACIONES	MÉTODOS DE ENSAYO
Contenido de antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH	Giusti, M. & Wrolstad, R. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. En W. John (Ed.), <i>Current Protocols in Food Analytical Chemistry</i> . John Wiley & Sons. <a href="https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00">https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00</a>



  
**Ing. Edwin Chila-Choque**  
**JEFE DE LABORATORIO**  
**CIP. 180253**

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del Laboratorio Centro de Investigación en Tecnología de los Alimentos – CITAL - UPeU / Laboratorio Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos – CICAL - UPeU. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
**PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME**

Carretera Arequipa km. 06 Chullunquiani, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: cicalj@upeu.edu.pe

**Anexo 2: Resultados de la determinación de la capacidad antioxidante (fm: 25%).**



Emitido en Juliaca, el 19 de agosto de 2024

Nombre del solicitante : Jhaquelin Coyla Tumi  
 RUC/DNI : 72608581  
 Dirección del solicitante : Jirón Rimac SN – Juliaca – San Román – Puno  
 Servicio solicitado : Determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH  
 Producto declarado : **Extracto de mashua morada microencapsulado**  
 Cantidad de muestra : 20 g  
 Identificación / marca : SIN MARCA  
 Presentación : Atomizado y envasado  
 Lugar y fecha de recepción : Laboratorio CITAL, 29 de julio de 2024  
 Características : Muestra proporcionada en envase de vidrio  
 Condiciones de recepción : En aparente buen estado a temperatura ambiente.  
 Muestra de Dirimencia : No proporcionada por la solicitante.  
 Fecha de inicio de ensayos : 05 de agosto de 2024  
 Fecha de término de ensayos : 09 de agosto de 2024

**ENSAYOS**

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS	
Determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH	µmol equivalentes de Trolox / g, base seca	T11 - 110 °C	85.01 ± 4.16
		T12 - 110 °C	62.81 ± 7.40
		T21 - 120 °C	65.14 ± 5.22
		T22 - 120 °C	55.70 ± 6.34
		T31 - 130 °C	55.18 ± 2.49
		T32 - 130 °C	63.18 ± 2.45
		G11 - 110 °C	90.76 ± 3.48
		G12 - 110 °C	46.24 ± 2.85
		G21 - 120 °C	70.92 ± 4.67
		G22 - 120 °C	42.97 ± 7.62
		G31 - 130 °C	77.51 ± 2.75
		G32 - 130 °C	57.02 ± 1.50

DETERMINACIONES	MÉTODOS DE ENSAYO
Capacidad antioxidante por el ensayo DPPH	Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. <i>LWT-Food Science and Technology</i> , 28,(1):25-30. <a href="https://doi.org/10.3390/foods9050670">https://doi.org/10.3390/foods9050670</a>



*Edwin Chila Choque*

**Ing. Edwin Chila Choque**  
**JEFE DE LABORATORIO**  
**CIP. 160253**

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del Laboratorio Centro de Investigación en Tecnología de los Alimentos – CITAL - UPeU / Laboratorio Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos – CICAL - UPeU. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

Carretera Arequipa km. 06 Chullunquiani, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: cicalj@upeu.edu.pe

**Anexo 3: Resultados de la determinación de antocianinas monoméricas (fm:35 %).**



Emitido en Juliaca, el 23 de abril de 2025

Nombre del solicitante	: Luz Gisela Pfuño Medina
DNI	: 73384977
Dirección:	: Av. Manco Capac SN - San Miguel - San Román - Puno
Servicio solicitado	: Determinación de antocianinas monoméricas por método diferencial de pH
Producto declarado	: Extracto de mashua morada microencapsulado
Cantidad de muestra	: 20 g
Identificación / marca	: SIN MARCA
Presentación	: Atomizado y envasado
Lugar y fecha de recepción	: Laboratorio CITAL, 06 de noviembre de 2024
Características	: Muestra proporcionada en envase de vidrio aislado de la luz
Condiciones de recepción	: En aparente buen estado a temperatura ambiente
Muestra de Dirimencia	: No proporcionada por la solicitante
Fecha de inicio de ensayos	: 11 de noviembre de 2024
Fecha de término de ensayos	: 13 de noviembre de 2024

**ENSAYOS**

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS	
		C	
Determinación del contenido de antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH	mg equivalentes de cianidina-3-glucósido / g, base seca	C	19.40 ± 0.26
		C11 - 110 °C	11.75 ± 0.10
		C12 - 110 °C	10.67 ± 0.26
		C21 - 120 °C	11.21 ± 0.20
		C22 - 120 °C	10.57 ± 0.14
		C31 - 130 °C	10.21 ± 0.09
		C32 - 130 °C	10.72 ± 0.42
		F11 - 110 °C	12.12 ± 0.30
		F12 - 110 °C	14.41 ± 0.33
		F21 - 120 °C	12.98 ± 0.05
		F22 - 120 °C	13.94 ± 0.27
		F31 - 130 °C	14.74 ± 0.56
		F32 - 130 °C	12.89 ± 0.30

DETERMINACIONES	MÉTODOS DE ENSAYO
Contenido de antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH	Giusti, M. & Wrolstad, R. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. En W. John (Ed.), <i>Current Protocols in Food Analytical Chemistry</i> . John Wiley & Sons. <a href="https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00">https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00</a>

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos - CICAL - UPEU. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

Carretera Arequipa km. 06 Chullunquiani, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: cicalj@upeu.edu.pe



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Andrés Alberto Corimayhua Silva  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP 359974

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del ICI (AI). Los resultados de los ensayos comprenden solo a los (muestras) del prototipo o del lote ensayados) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

Carretera Arequipa km. 06 Chulunquiari, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: [icai@upeu.edu.pe](mailto:icai@upeu.edu.pe)

**Anexo 4: Resultados de la determinación de la capacidad antioxidante (fm: 35 %).**



Emitido en Juliaca, el 23 de abril de 2025

Nombre del solicitante	: Luz Gisela Píuño Medina
DNI	: 73384977
Dirección:	: Av. Manco Capac SN - San Miguel - San Román - Puno
Servicio solicitado	: Determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH
Producto declarado	: Extracto de mashua morada microencapsulado
Cantidad de muestra	: 20 g
Identificación / marca	: SIN MARCA
Presentación	: Atomizado y envasado
Lugar y fecha de recepción	: Laboratorio CITAL, 06 de noviembre de 2024
Características	: Muestra proporcionada en envase de vidrio
Condiciones de recepción	: En aparente buen estado a temperatura ambiente.
Muestra de Dirimencia	: No proporcionada por la solicitante.
Fecha de inicio de ensayos	: 11 de noviembre de 2024
Fecha de término de ensayos	: 13 de noviembre de 2024

**ENSAYOS**

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS	
		C	
Determinación de la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH	µmol equivalentes de Trolox / g. base seca	C	135.42 ± 0.77
		C11 - 110 °C	65.94 ± 0.33
		C12 - 110 °C	75.14 ± 0.42
		C21 - 120 °C	71.23 ± 0.41
		C22 - 120 °C	69.74 ± 0.33
		C31 - 130 °C	83.21 ± 0.16
		C32 - 130 °C	78.73 ± 0.16
		F11 - 110 °C	66.42 ± 0.44
		F12 - 110 °C	51.05 ± 0.49
		F21 - 120 °C	65.76 ± 1.02
		F22 - 120 °C	49.56 ± 0.34
		F31 - 130 °C	37.67 ± 0.44
		F32 - 130 °C	68.39 ± 0.56

DETERMINACIONES	MÉTODOS DE ENSAYO
Capacidad antioxidante por el ensayo DPPH	Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. <i>LWT-Food Science and Technology</i> , 28;(1):25-30. <a href="https://doi.org/10.3390/foods9050670">https://doi.org/10.3390/foods9050670</a>

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos - CICAL - UPeU. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PROHIBIDA LA MODIFICACION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

Carretera Arequipa km. 06 Chullunquiani, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: cicalj@upeu.edu.pe



Ing. Andrés Alberto Corimayhua Silva  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP 359974

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad del IICA. Los resultados de los ensayos corresponden solo a las muestras del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME

Carretera Arequipa km. 06 Chulunquiani, Juliaca, Teléfono: +51 1-6186302 / E-mail: [cicalj@upeu.edu.pe](mailto:cicalj@upeu.edu.pe)

**Anexo 5: Panel fotográfico del proyecto de investigación.**



*Troceado de mashua para facilitar la obtención del extracto.*



*Extracción del extracto de Mashua.*



*Filtrado del extracto de Mashua*



*Proceso de atomizado del extracto acondicionado.*



*Obtención y almacenamiento de las microcapsulas del extracto de Mashua*



Determinación de las propiedades físicas y fisicoquímicas de la antocianina microencapsulada a partir de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).



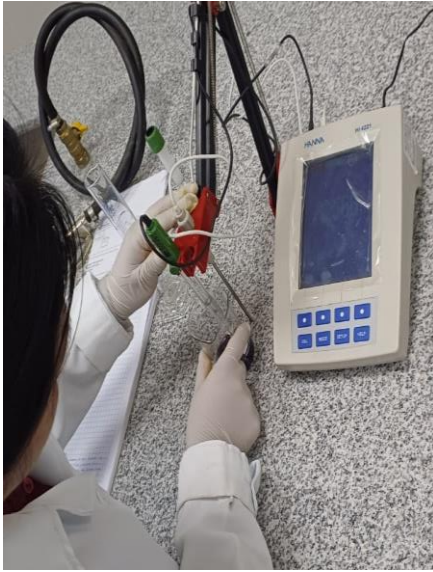
*Determinación de humectabilidad de las microcápsulas de antocianinas de mashua.*

*Determinación de dispersabilidad y solubilidad de las microcápsulas de antocianinas de mashua.*



*Determinación de higroscopicidad de las microcápsulas de antocianinas de mashua.*

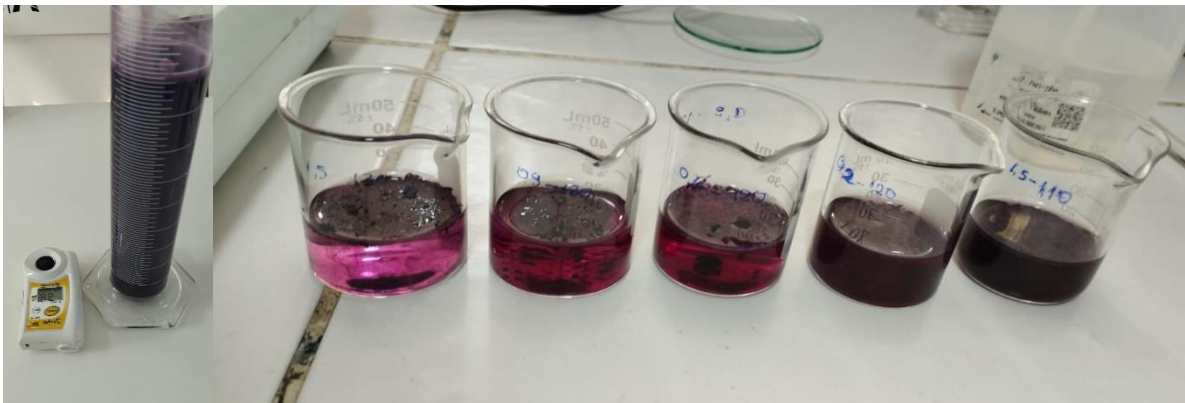
*Determinación de la densidad aparente de la Mashua atomizada.*



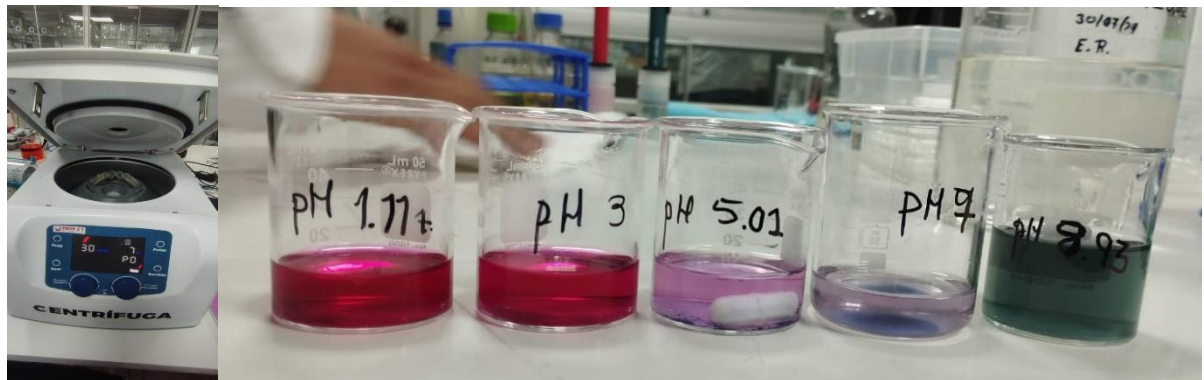
*Medición de pH de las microcápsulas de antocianinas de mashua.*



*Titulación de Mashua atomizada previamente diluida para determinar la acidez*



*Determinación de los (°brix) de las microcápsulas de antocianinas de mashua (Tropaeolum Tuberosum.)*



*Determinación de antocianinas de mashua morada (Tropaeolum Tuberosum.)*

**Anexo 6: Datos estadísticos de ANOVA del tiempo de humectabilidad.**

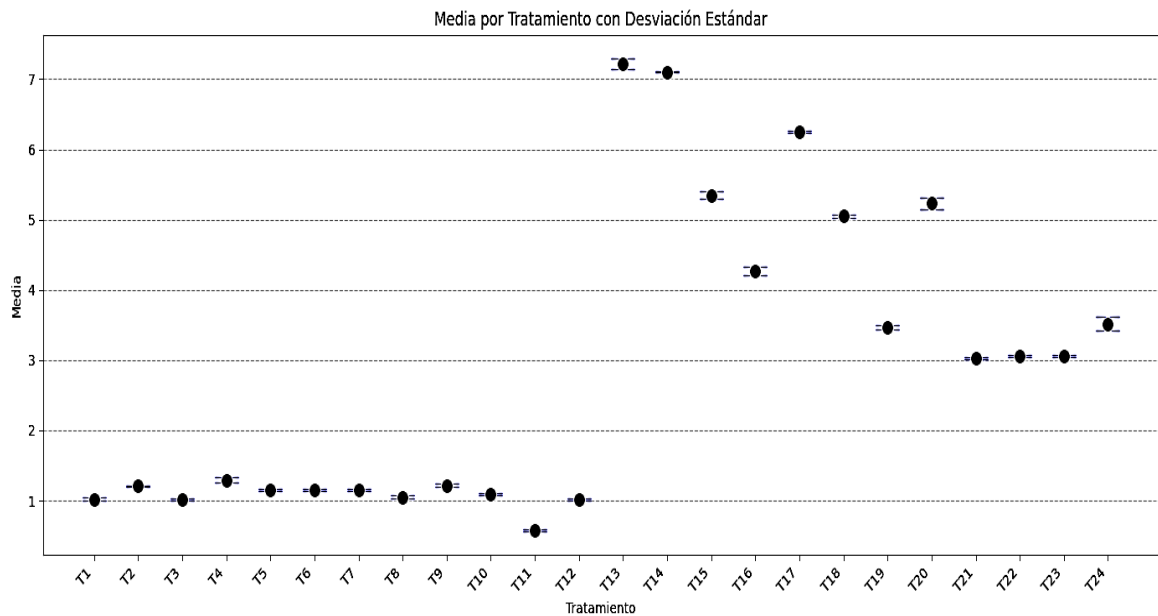
**Tabla 25: ANOVA del tiempo de humectabilidad en las microcápsulas de mashua morada**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	79.3775252	1	79.3775252	64.77	0.0000
Dentro de grupos	26.9613211	22	1.2255146		
Total	106.338846	23	4.6234281		

**Tabla 26: Medias para la humectabilidad en las microcápsulas por agentes.**

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	1.079417	0.0524362	0.1816442	0.9640054 – 1.194828
Goma Guar	12	4.716667	0.4488907	1.555003	3.728665 – 5.704668
Combinado	24	2.898042	0.438911	2.150216	1.990085 – 3.805998
Diferencia		-3.63725	0.451943		-4.574522 – -2.699978

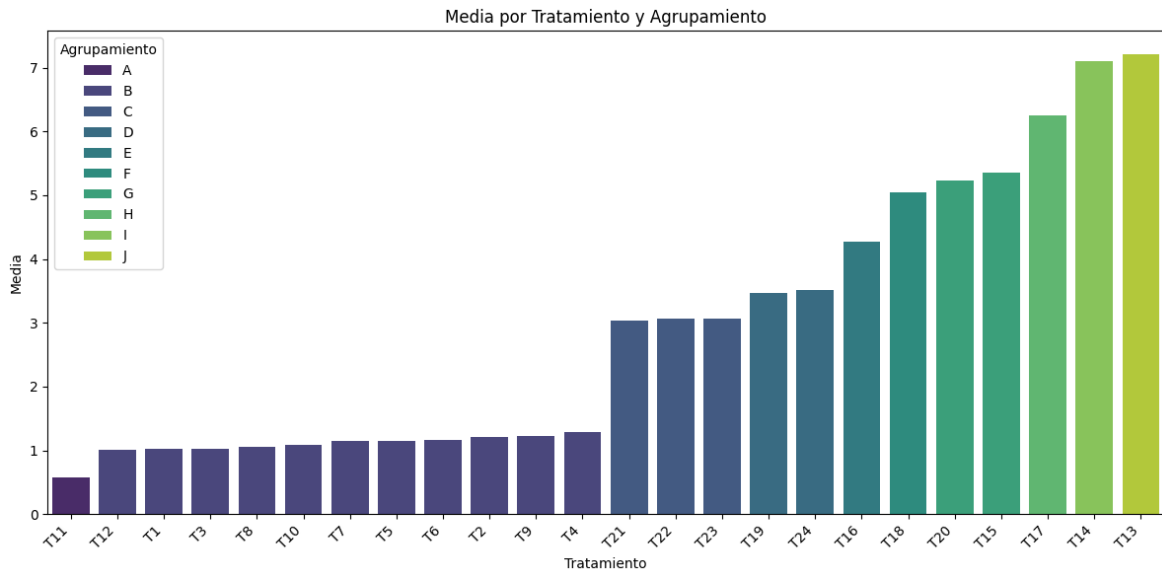
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)  $t = -8.0480$



**Figura 24: Medias con desviación estándar de la humectabilidad en las microcápsulas**

**Tabla 27: Medias y agrupamiento según la prueba de Tukey para la humectabilidad en las microcápsulas.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupamiento</b>
T11	3	0.577	A
T12	3	1.013	B
T1	3	1.020	B
T3	3	1.023	B
T8	3	1.050	B
T10	3	1.090	B
T7	3	1.150	B
T5	3	1.150	B
T6	3	1.157	B
T2	3	1.210	B
T9	3	1.220	B
T4	3	1.293	B
T21	3	3.033	C
T22	3	3.060	C
T23	3	3.060	C
T19	3	3.467	D
T24	3	3.513	D
T16	3	4.267	E
T18	3	5.050	F
T20	3	5.233	G
T15	3	5.350	G
T17	3	6.250	H
T14	3	7.100	I
T13	3	7.217	J



**Figura 25:** Medias por tratamiento y agrupamiento de la humectabilidad en las microcápsulas.

**Anexo 7:** Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de dispersabilidad.

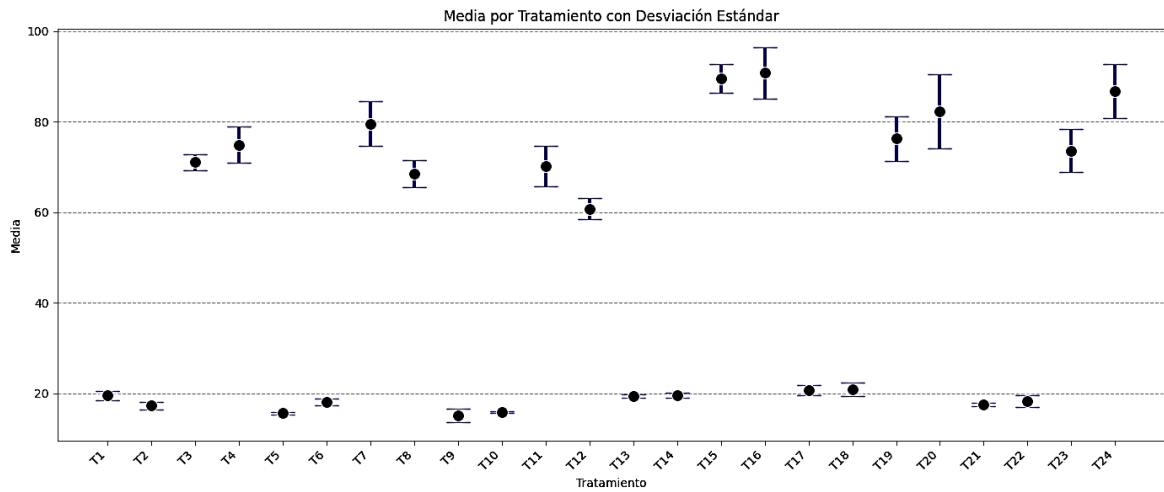
**Tabla 28:** ANOVA del porcentaje de dispersabilidad en las microcápsulas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	330.702029	1	330.702029	0.34	0.5656
Dentro de grupos	21384.8688	22	972.039493		
Total	21715.5709	23	944.155255		

**Tabla 29:** Medias de la dispersabilidad en las microcápsulas por agentes encapsulantes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	43.88283	8.219507	28.47321	25.79182 – 61.97385
Goma Guar	12	51.30692	9.718348	33.66534	29.91698 – 72.69686
Combinado	24	47.59488	6.272145	30.72711	34.61996 – 60.5698
Diferencia		-7.424083	12.72818		-33.82071 – 18.97255

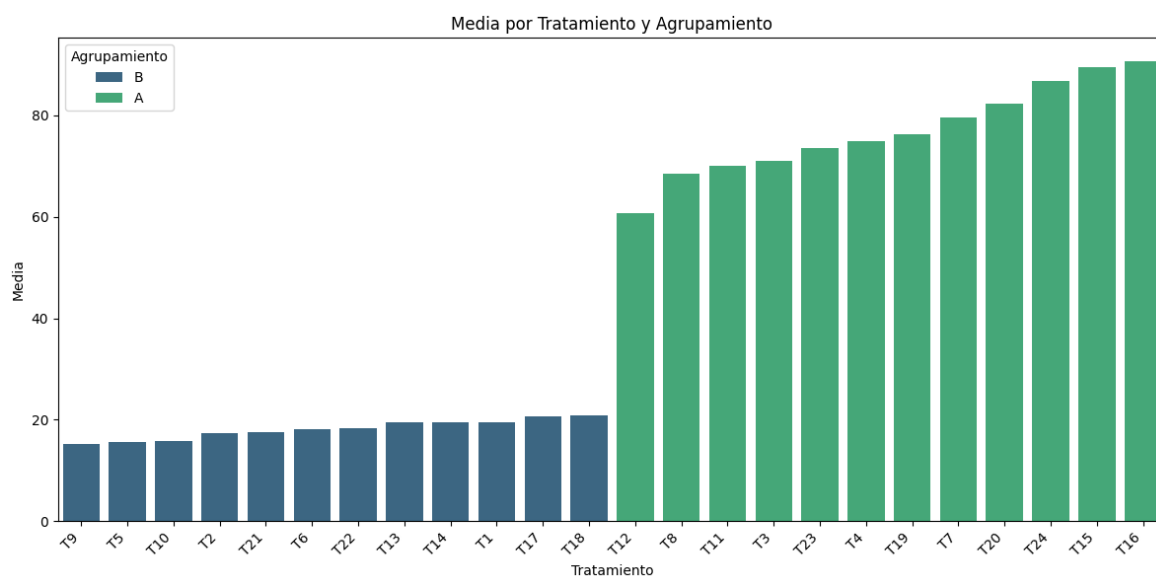
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)      t = -0.5833



**Figura 26:** Medias por tratamiento con desviación estándar de la dispersabilidad en las microcápsulas.

**Tabla 30:** Medias y agrupamiento de Tukey de la dispersabilidad en las microcápsulas.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T16	3	90.747	A
T15	3	89.527	A
T24	3	86.807	A
T20	3	82.300	A
T7	3	79.533	A
T19	3	76.260	A
T4	3	74.887	A
T23	3	73.570	A
T3	3	71.050	A
T11	3	70.160	A
T8	3	68.500	A
T12	3	60.760	A
T18	3	20.877	B
T17	3	20.757	B
T1	3	19.540	B
T14	3	19.540	B
T13	3	19.417	B
T22	3	18.310	B
T6	3	18.193	B
T21	3	17.580	B
T2	3	17.340	B
T10	3	15.870	B
T5	3	15.627	B
T9	3	15.137	B



**Figura 27:** Medias por tratamiento y agrupamiento de la dispersabilidad en las microcápsulas.

**Anexo 8:** Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de solubilidad.

**Tabla 31:** ANOVA de la determinación de la solubilidad en las microcápsulas.

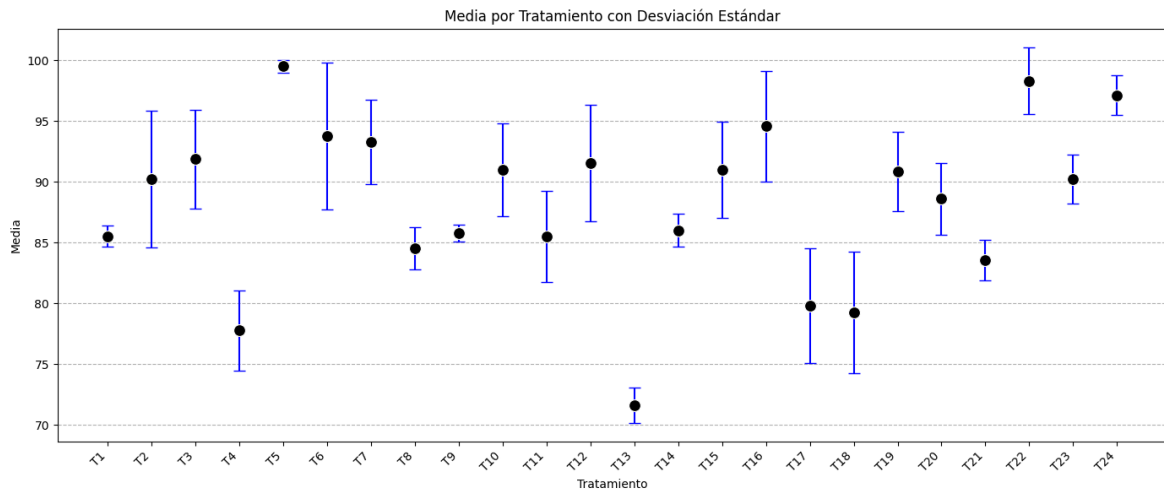
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15.4882402	1	15.4882402	0.33	0.5729
Dentro de grupos	1040.11243	22	47.2778379		
Total	1055.60067	23	45.8956814		

**Tabla 32:** Medias para la determinación de la solubilidad en las microcápsulas.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	89.17833	1.633035	5.657	85.58405 – 92.77262
Goma Guar	12	87.57167	2.283164	7.909111	82.54646 – 92.59688
Combinado	24	88.375	1.382867	6.774635	85.51432 – 91.23568
Diferencia		1.606665	2.80707		-4.214841 – 7.428171

Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)

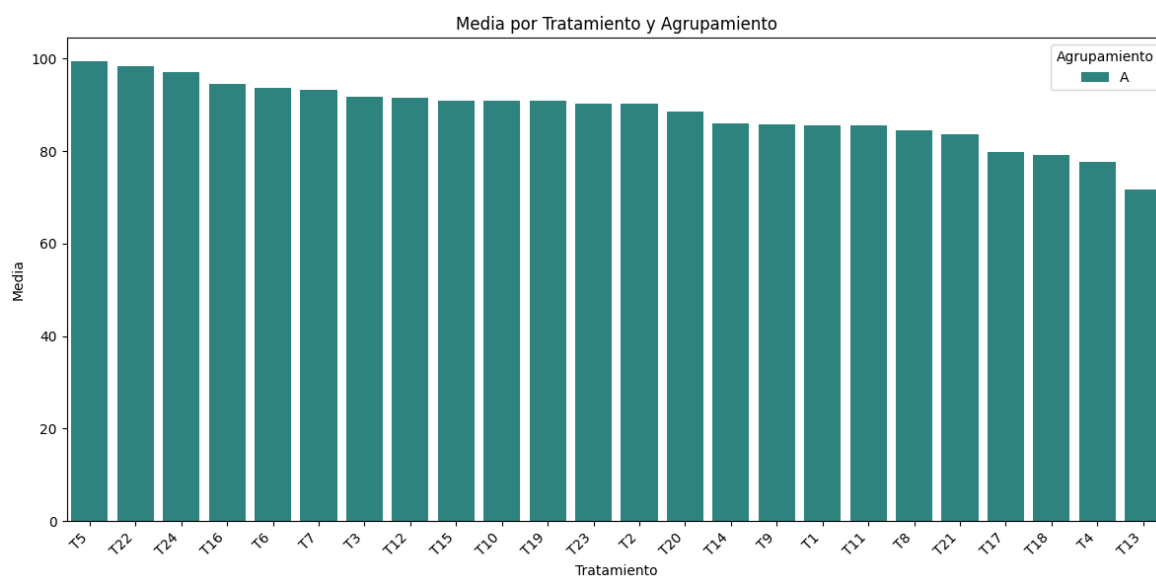
t = 0.5724



**Figura 28:** Medias por tratamiento con desviación estándar de la solubilidad en las microcápsulas.

**Tabla 33:** Medias y agrupamiento de Tukey para la solubilidad en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T5	3	99.510	A
T22	3	98.287	A
T24	3	97.100	A
T16	3	94.567	A
T6	3	93.730	A
T7	3	93.267	A
T3	3	91.867	A
T12	3	91.533	A
T15	3	91.000	A
T10	3	90.993	A
T19	3	90.833	A
T23	3	90.233	A
T2	3	90.200	A
T20	3	88.600	A
T14	3	86.013	A
T9	3	85.770	A
T1	3	85.500	A
T11	3	85.500	A
T8	3	84.500	A
T21	3	83.577	A
T17	3	79.787	A
T18	3	79.250	A
T4	3	77.767	A
T13	3	71.610	A



**Figura 29:** Medias por tratamiento y agrupamiento de la solubilidad en las microcápsulas.

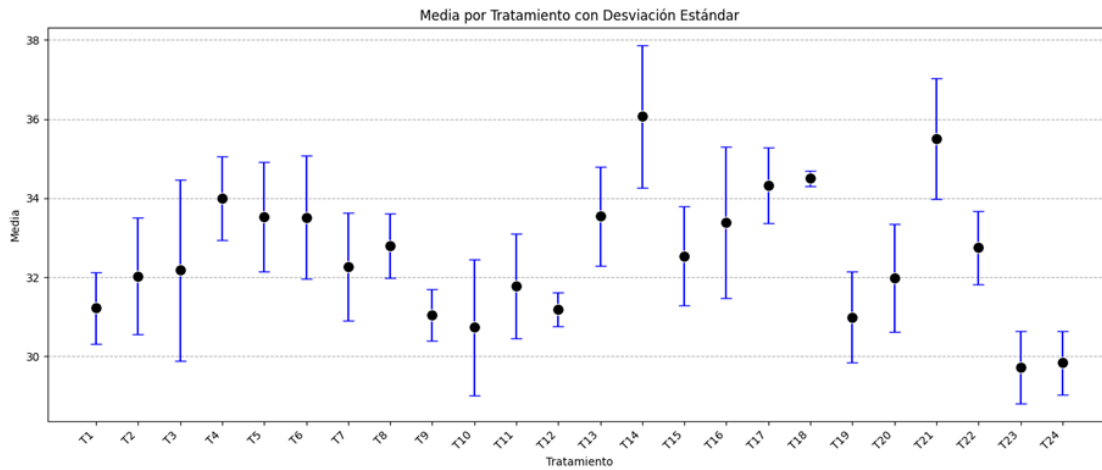
**Anexo 9:** Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de higroscopicidad.

**Tabla 34:** ANOVA de la higroscopicidad en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.26860512	1	3.26860512	1.22	0.2809
Dentro de grupos	58.8364739	22	2.67438518		
Total	62.105079	23	2.70022083		

**Tabla 35:** Medias para la higroscopicidad en las microcápsulas por agentes.

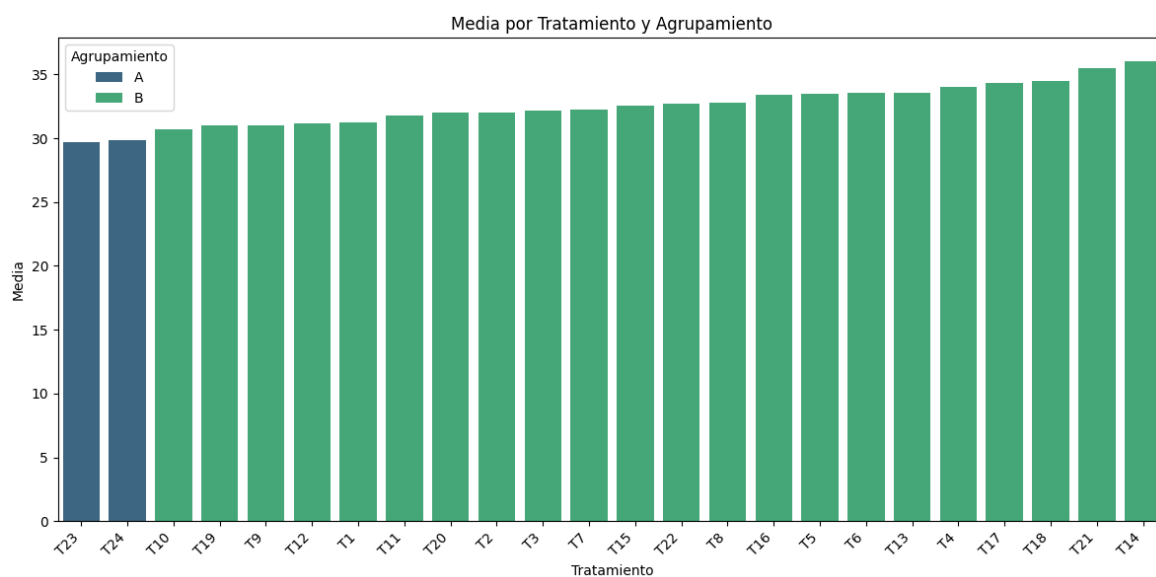
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	32.19008	0.3108185	1.076707	31.50598 – 32.87419
Goma Guar	12	32.92817	0.5908661	2.04682	31.62768 – 34.22865
Combinado	24	32.55913	0.3354239	1.643235	31.86525 – 33.25300
Diferencia	-	0.7380837	0.6676308		-2.122665 – 0.6464978
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -1.1055



**Figura 30:** Medias por tratamiento con desviación estándar de la higroscopicidad en las microcápsulas.

**Tabla 36:** Medias y agrupamiento de Tukey para la higroscopicidad en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T23	3	29.727	A
T24	3	29.840	A
T10	3	30.730	B
T19	3	30.990	B
T9	3	31.050	B
T12	3	31.190	B
T1	3	31.220	B
T11	3	31.777	B
T20	3	31.980	B
T2	3	32.030	B
T3	3	32.180	B
T7	3	32.270	B
T15	3	32.540	B
T22	3	32.747	B
T8	3	32.790	B
T16	3	33.383	B
T6	3	33.520	B
T5	3	33.530	B
T13	3	33.540	B
T4	3	34.000	B
T17	3	34.320	B
T18	3	34.503	B
T21	3	35.500	B
T14	3	36.063	B



**Figura 31:** Medias por tratamiento y agrupamiento de la higroscopicidad en las microcápsulas de mashua morada.

**Anexo 10:** Datos estadísticos de ANOVA de la densidad aparente.

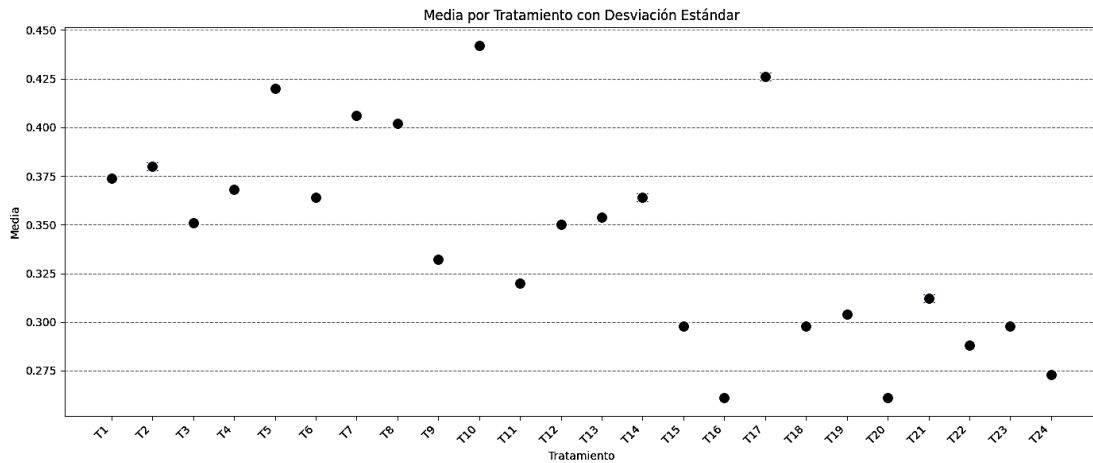
**Tabla 37:** ANOVA de la densidad aparente en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.024832664	1	0.024832664	13.70	0.0012
Dentro de grupos	0.039879165	22	0.001812689		
Total	0.064711829	23	0.002813558		

**Tabla 38:** Medias para la densidad aparente en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	0.37575	0.0104694	0.036267	0.352707 – 0.398793
Goma Guar	12	0.3114167	0.0138747	0.048633	0.280787 – 0.3419546
Combinado	24	0.3435833	0.0108274	0.053043	0.3211852 – 0.3659814
Diferencia		0.0643333	0.0173815		0.0282864 – 0.1003803

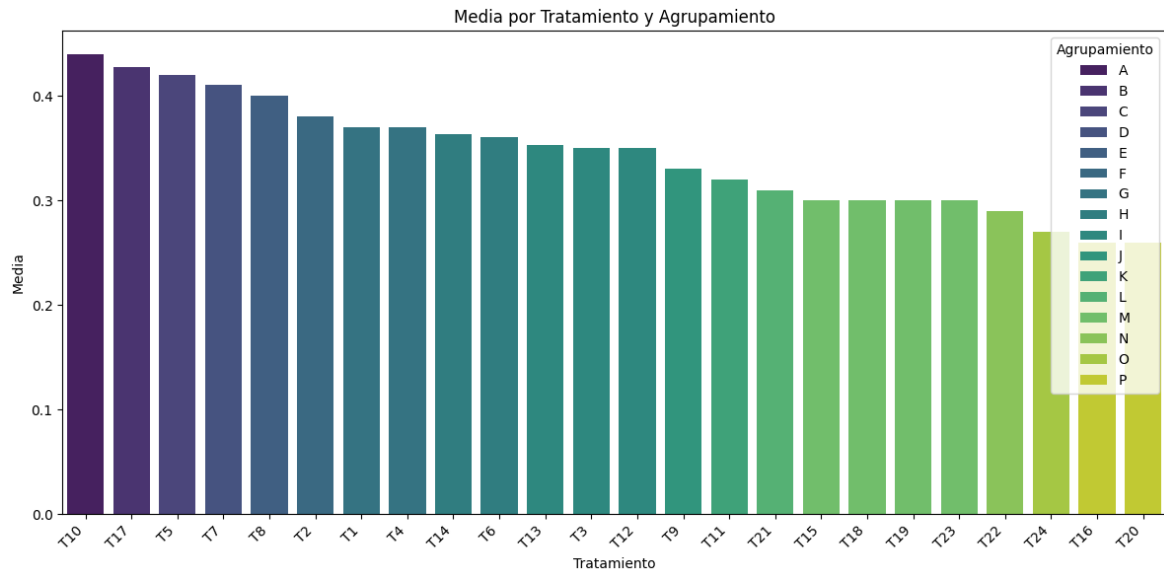
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar) t = 3.7013



**Figura 32: Medias con desviación estándar de densidad aparente en las microcápsulas.**

**Tabla 39: Medias y agrupamiento de Tukey para la densidad aparente en las microcápsulas.**

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T10	3	0.440	A
T17	3	0.427	B
T5	3	0.420	C
T7	3	0.410	D
T8	3	0.400	E
T2	3	0.380	F
T1	3	0.370	G
T4	3	0.370	G
T14	3	0.363	H
T6	3	0.360	H
T13	3	0.353	I
T3	3	0.350	I
T12	3	0.350	I
T9	3	0.330	J
T11	3	0.320	K
T21	3	0.310	L
T15	3	0.300	M
T18	3	0.300	M
T19	3	0.300	M
T23	3	0.300	M
T22	3	0.290	N
T24	3	0.270	O
T16	3	0.260	P
T20	3	0.260	P



**Figura 33:** Medias por tratamiento y agrupamiento de la densidad aparente en las microcápsulas.

**Anexo 11:** Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de rendimiento.

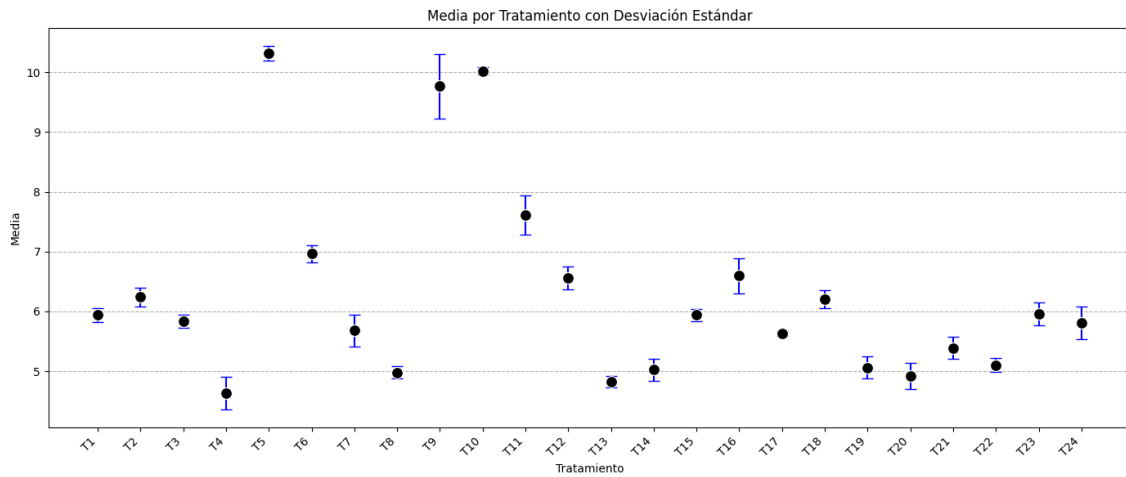
**Tabla 40:** ANOVA del rendimiento en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.6443836	1	13.6443836	6.46	0.0186
Dentro de grupos	46.4330119	22	2.11059145		
Total	60.0773955	23	2.61206067		

**Tabla 41:** Medias para el rendimiento en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	7.047167	0.5697324	1.973611	5.793194 – 8.301139
Goma Guar	12	5.539167	0.1648339	0.571015	5.17637 – 5.901964
Combinado	24	6.293167	0.3299028	1.616187	5.610711 – 6.975623
Diferencia		1.508	0.593098		0.27799 – 2.73801

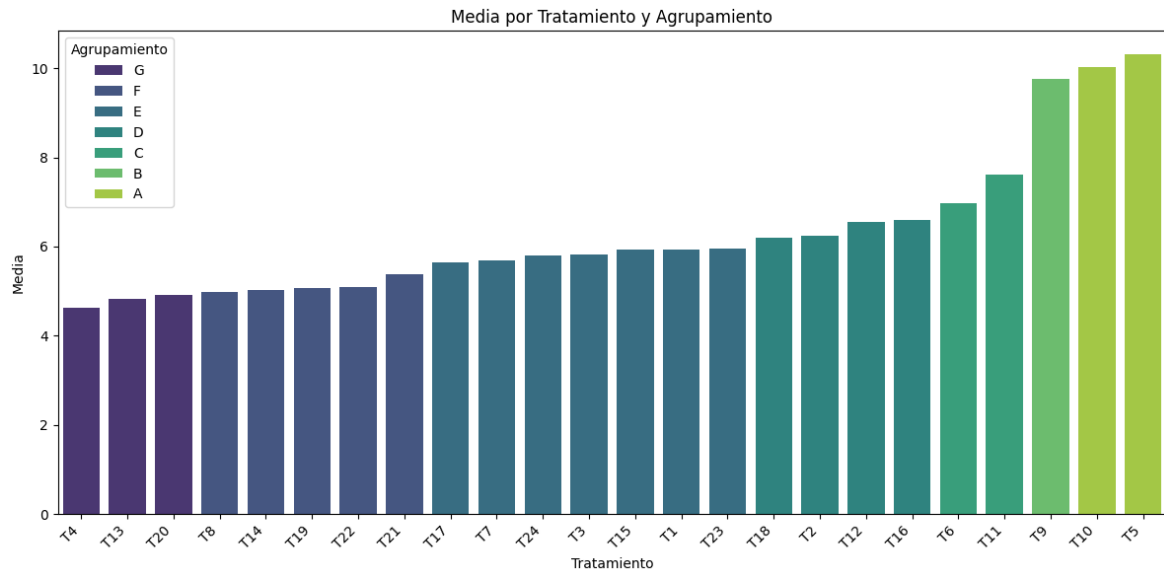
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)  $t = 2.5426$



**Figura 34:** Medias con desviación estándar para el rendimiento en las microcápsulas.

**Tabla 42:** Medias y agrupamiento de Tukey para el rendimiento en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T5	3	10.320	A
T10	3	10.027	A
T9	3	9.770	B
T11	3	7.617	C
T6	3	6.970	C
T16	3	6.597	D
T12	3	6.560	D
T2	3	6.240	D
T18	3	6.207	D
T23	3	5.960	E
T1	3	5.940	E
T15	3	5.940	E
T3	3	5.833	E
T24	3	5.810	E
T7	3	5.683	E
T17	3	5.637	E
T21	3	5.387	F
T22	3	5.103	F
T19	3	5.063	F
T14	3	5.027	F
T8	3	4.980	F
T20	3	4.920	G
T13	3	4.823	G
T4	3	4.637	G



**Figura 35: Medias por tratamiento y agrupamiento del rendimiento en las microcápsulas de mashua morada.**

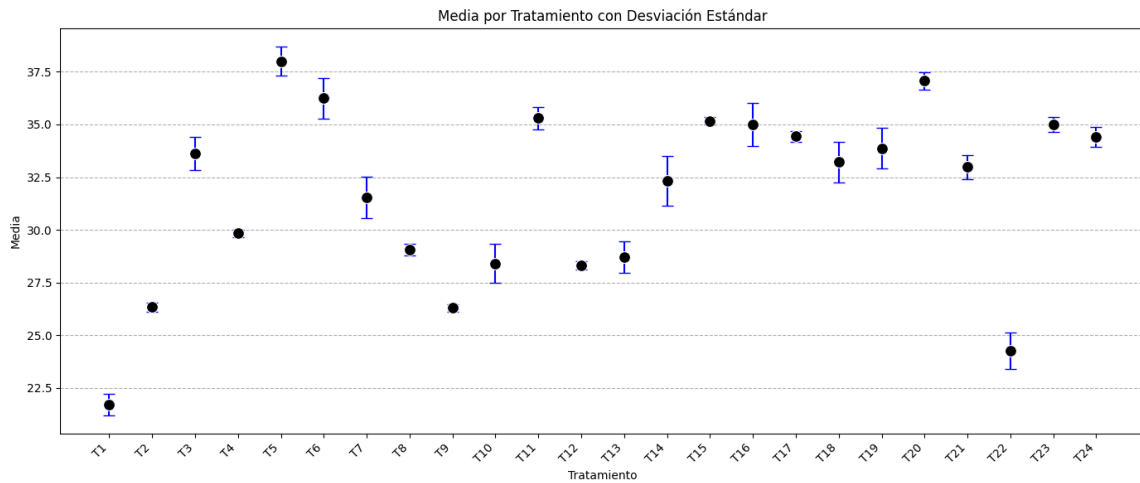
**Anexo 12: Datos estadísticos de ANOVA del color (Croma \*C).**

**Tabla 43: ANOVA del color (Croma \*C) en las microcápsulas de la mashua morada.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	42.2145221	1	42.2145221	2.47	0.1302
Dentro de grupos	375.829095	22	17.0831407		
Total	418.043617	23	18.1758094		

**Tabla 44: Medias para el color en las microcápsulas por agentes.**

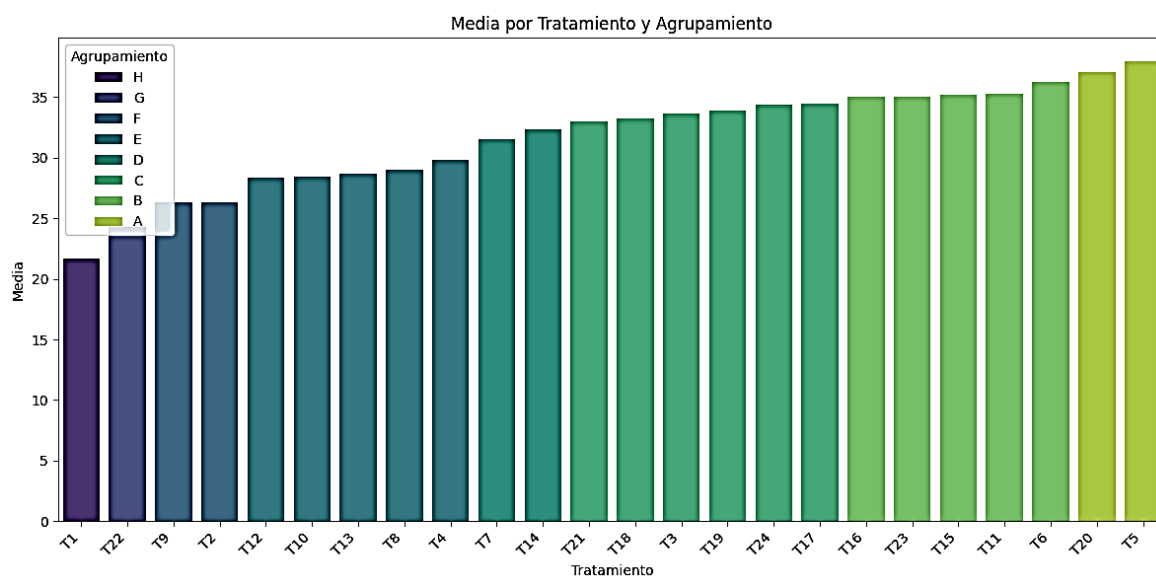
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	30.38742	1.367669	4.737744	27.3772 – 33.39764
Goma Guar	12	33.03992	0.9882672	3.423458	30.86476 – 35.21508
Combinado	24	31.71367	0.8702444	4.26331	29.91343 – 33.5139
Diferencia		-2.6525	1.687362		-6.151874 – 0.8468748
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -1.5720



**Figura 36:** Medias por tratamiento con desviación estándar para el color (croma C\*) en las microcápsulas.

**Tabla 45:** Medias y agrupamiento de Tukey para el color (croma C\*) en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T5	3	37.993	A
T20	3	37.060	A
T6	3	36.240	B
T11	3	35.297	B
T15	3	35.177	B
T16	3	35.000	B
T23	3	35.000	B
T17	3	34.430	C
T24	3	34.407	C
T19	3	33.873	C
T3	3	33.633	C
T18	3	33.217	C
T21	3	32.983	C
T14	3	32.337	D
T7	3	31.537	D
T4	3	29.833	E
T8	3	29.047	E
T13	3	28.713	E
T10	3	28.407	E
T12	3	28.330	E
T2	3	26.333	F
T9	3	26.293	F
T22	3	24.277	G
T1	3	21.703	H



**Figura 37:** Medias por tratamiento y agrupamiento del color (croma C\*) en las microcápsulas.

## PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

**Anexo 13:** Datos estadísticos de ANOVA del porcentaje de humedad.

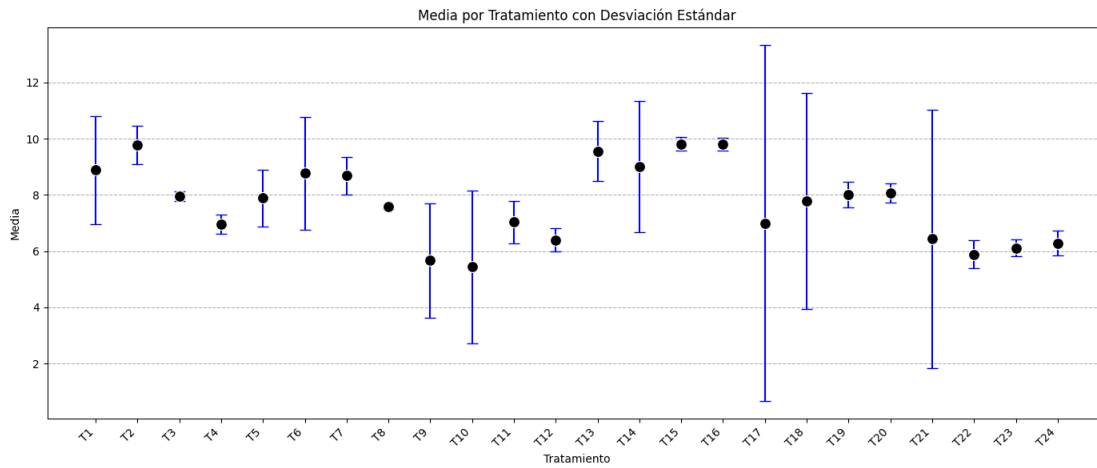
**Tabla 46:** ANOVA de la humedad en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.303749957	1	0.303749957	0.15	0.6999
Dentro de grupos	43.81349494	22	1.99154315		
Total	44.1176993	23	1.91816084		

**Tabla 47:** Medias para la humedad en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	7.589417	0.3869857	1.340558	6.737667 – 8.441166
Goma Guar	12	7.814417	0.426809	1.47851	6.875016 – 8.753817
Combinado	24	7.701917	0.2827072	1.384977	7.117092 – 8.286741
Diferencia		-0.225	0.5761283		-1.419817 – 0.9698171

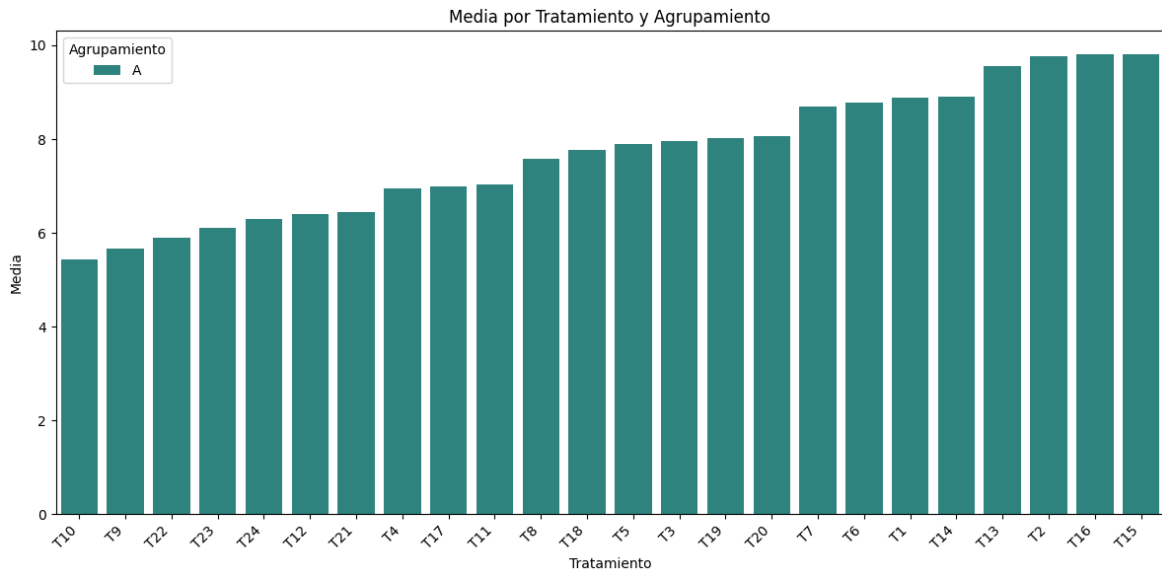
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar) t = -0.3905



**Figura 38:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad de las microcápsulas.

**Tabla 48:** Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T10	3	5.443	A
T9	3	5.667	A
T22	3	5.887	A
T23	3	6.107	A
T24	3	6.287	A
T12	3	6.400	A
T21	3	6.447	A
T4	3	6.950	A
T17	3	7.000	A
T11	3	7.040	A
T8	3	7.577	A
T18	3	7.777	A
T5	3	7.890	A
T3	3	7.967	A
T19	3	8.013	A
T20	3	8.070	A
T7	3	8.693	A
T6	3	8.780	A
T1	3	8.890	A
T14	3	9.000	A
T13	3	9.553	A
T2	3	9.777	A
T16	3	9.813	A
T15	3	9.817	A



**Figura 39:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas.

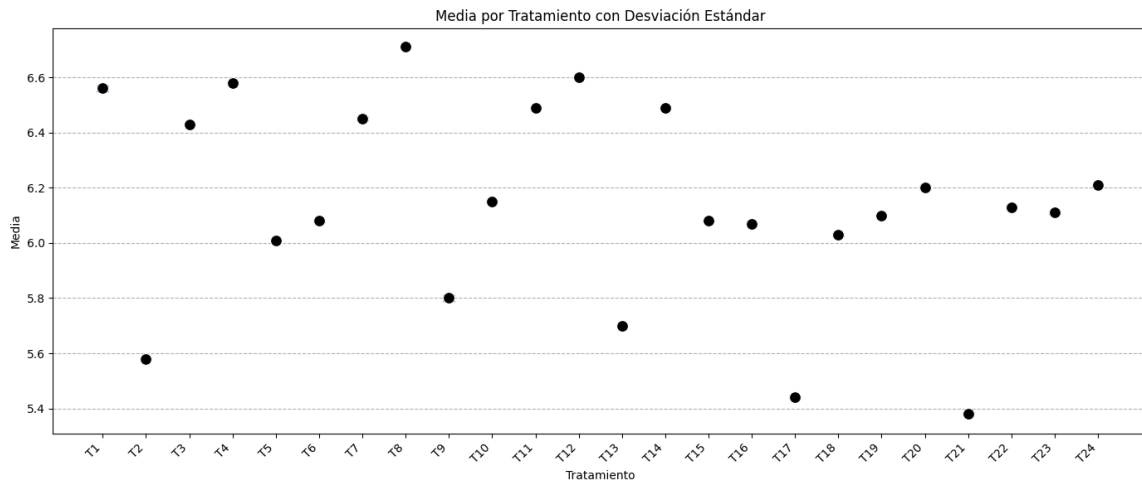
**Anexo 14:** Datos estadísticos ANOVA del pH.

**Tabla 49:** ANOVA del pH en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.510416528	1	0.510416528	4.38	0.0481
Dentro de grupos	2.56396585	22	0.116543902		
Total	3.07438238	23	0.133668799		

**Tabla 50:** Medias para el pH en las microcápsulas por agentes.

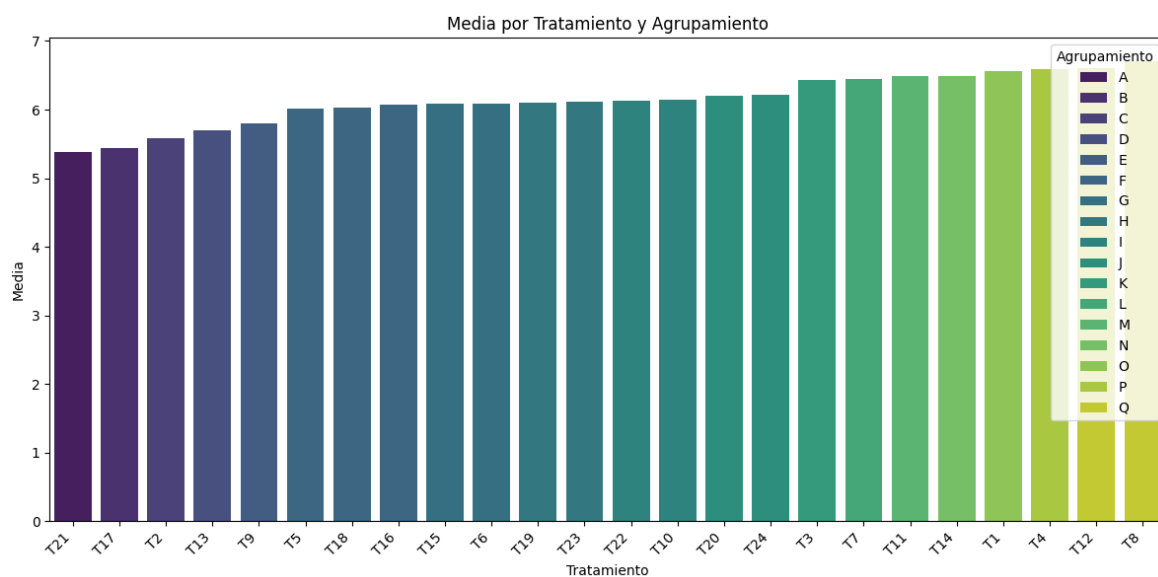
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	6.286667	0.1030176	0.3568634	6.059926 – 6.513407
Goma Guar	12	5.995	0.0938689	0.3251712	5.788396 – 6.201604
Combinado	24	6.140833	0.0746293	0.3656074	5.986451 – 6.295216
Diferencia		0.2916666	0.13937		0.002631 – 0.5807022
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = 2.0928



**Figura 40:** Medias por tratamiento con desviación estándar para el pH de las microcápsulas.

**Tabla 51:** Medias y agrupamiento de Tukey para el pH en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T21	3	5.383	A
T17	3	5.443	B
T2	3	5.580	C
T13	3	5.700	D
T9	3	5.800	E
T5	3	6.010	F
T18	3	6.033	F
T16	3	6.070	F
T15	3	6.080	G
T6	3	6.083	G
T19	3	6.100	H
T23	3	6.113	H
T22	3	6.133	I
T10	3	6.150	I
T20	3	6.203	J
T24	3	6.210	J
T3	3	6.430	K
T7	3	6.453	L
T11	3	6.490	M
T14	3	6.493	M
T1	3	6.560	N
T4	3	6.583	O
T12	3	6.600	P
T8	3	6.710	Q



**Figura 41:** Medias por tratamiento y agrupamiento para el pH en las microcápsulas.

**Anexo 15:** Datos estadísticos ANOVA de los sólidos solubles (*•Brix*).

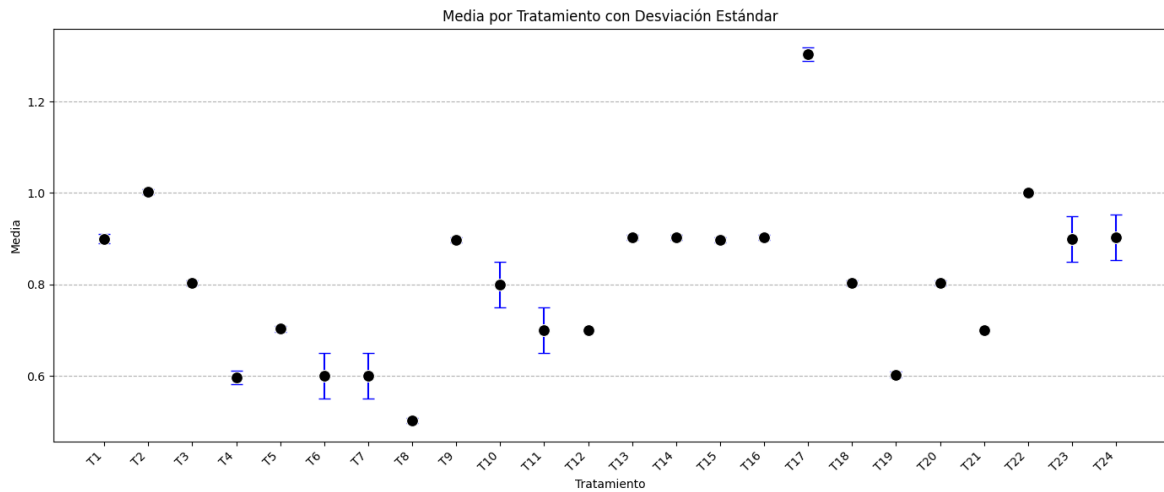
**Tabla 52:** ANOVA de los sólidos solubles (*•Brix*) en las microcápsulas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.137259348	1	0.137259348	5.36	0.0304
Dentro de grupos	0.563728566	22	0.025624026		
Total	0.700987913	23	0.030477735		

**Tabla 53:** Medias para los sólidos solubles (*•Brix*) en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	0.7338333	0.0432503	0.1498234	0.6386401 – 0.8290266
Goma Guar	12	0.8850833	0.0489906	0.1697086	0.7772557 – 0.992911
Combinado	24	0.8094583	0.0356357	0.1745787	0.7357402 – 0.8831765
Diferencia		-0.15125	0.0653504		-0.2867784 – -0.0157216

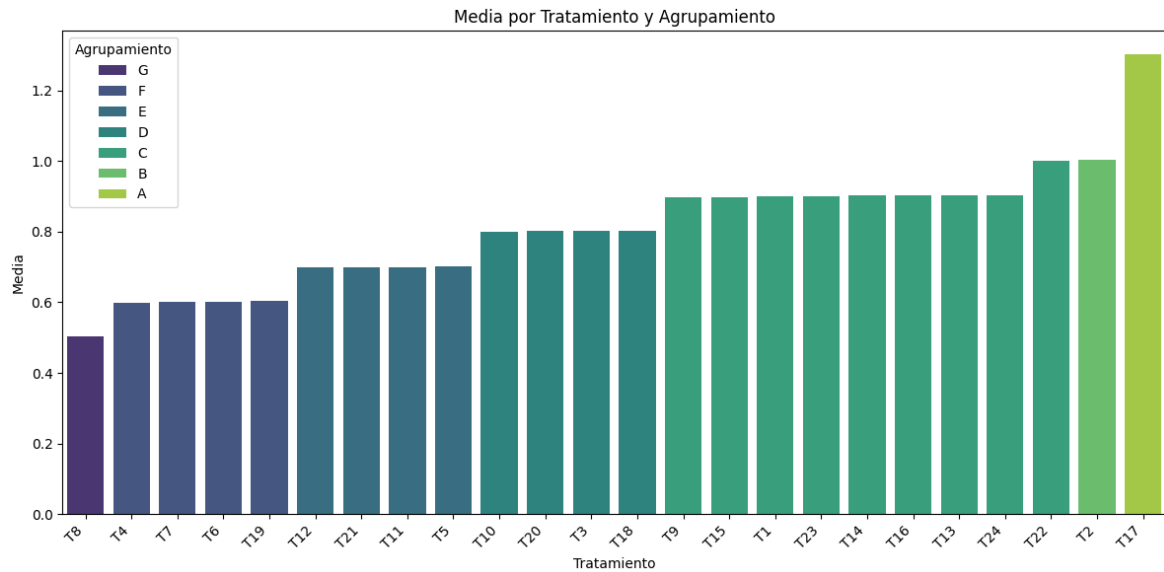
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)  $t = -2.3144$



**Figura 42:** Medias por tratamiento con desviación estándar para los sólidos solubles (°Brix) de las microcápsulas.

**Tabla 54:** Medias y agrupamiento de Tukey para los sólidos solubles (°Brix) en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T17	3	1.303	A
T2	3	1.003	B
T22	3	1.000	B
T13	3	0.903	C
T14	3	0.903	C
T16	3	0.903	C
T24	3	0.903	C
T1	3	0.900	C
T23	3	0.900	C
T9	3	0.897	C
T15	3	0.897	C
T3	3	0.803	D
T18	3	0.803	D
T20	3	0.803	D
T10	3	0.800	D
T5	3	0.703	E
T11	3	0.700	E
T12	3	0.700	E
T21	3	0.700	E
T19	3	0.603	F
T6	3	0.600	F
T7	3	0.600	F
T4	3	0.597	F
T8	3	0.503	G



**Figura 43:** Medias por tratamiento y agrupamiento para los sólidos soluble (°brax) en las microcápsulas de mashua morada.

**Anexo 16:** Datos estadísticos ANOVA de acidez.

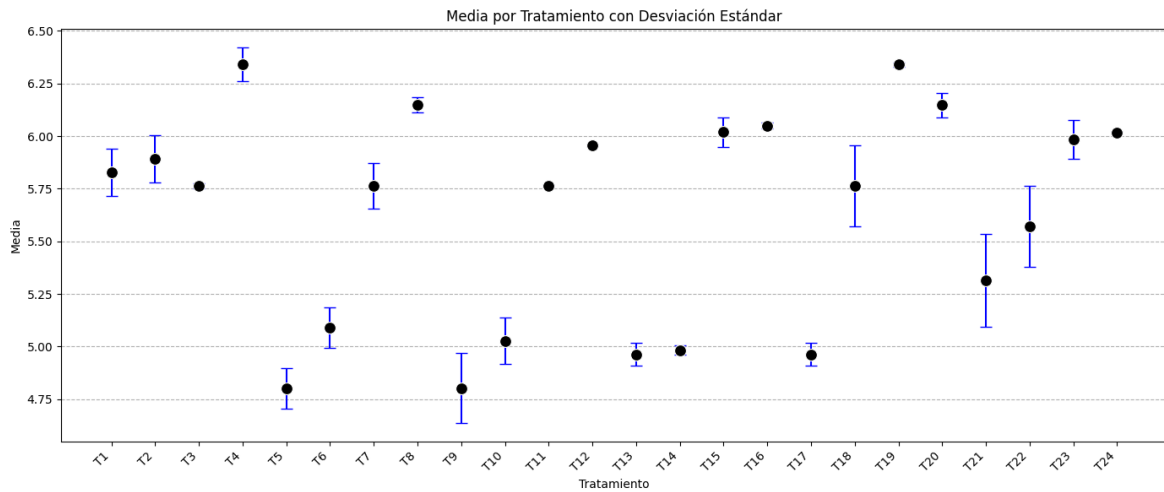
**Tabla 55:** ANOVA para la acidez en las microcápsulas de la mashua morada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.036738385	1	0.036738385	0.14	0.7133
Dentro de grupos	5.83216848	22	0.265098567		
Total	5.86890687	23	0.255169864		

**Tabla 56:** Medias para la acidez en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	5.598333	0.152016	0.5265989	5.263748 – 5.932918
Goma Guar	12	5.676583	0.1451696	0.5028824	5.357067 – 5.9961
Combinado	24	5.637458	0.103112	0.5051434	5.424155 – 5.850762
Diferencia		-0.07825	0.2101978		-0.5141735 – 0.3576734

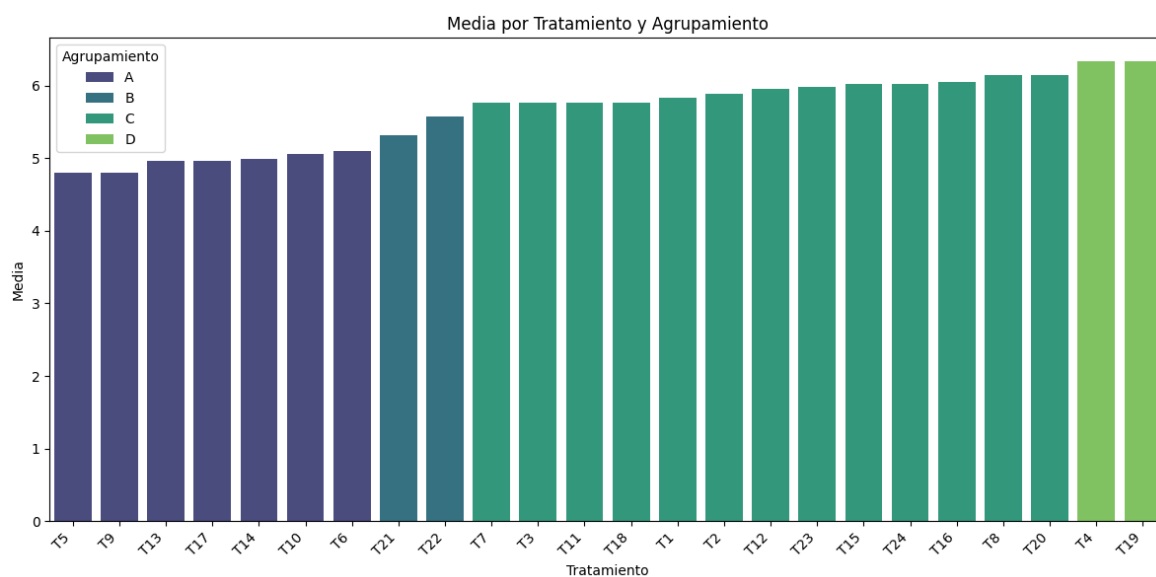
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)      t = -0.3723



**Figura 44:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la acidez de las microcápsulas.

**Tabla 57:** Medias y agrupamiento de Tukey para la acidez en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T5	3	4.803	A
T9	3	4.803	A
T13	3	4.967	A
T17	3	4.967	A
T14	3	4.987	A
T10	3	5.060	A
T6	3	5.093	A
T21	3	5.317	B
T22	3	5.570	B
T7	3	5.760	C
T3	3	5.763	C
T11	3	5.763	C
T18	3	5.763	C
T1	3	5.827	C
T2	3	5.893	C
T12	3	5.957	C
T23	3	5.983	C
T15	3	6.020	C
T24	3	6.020	C
T16	3	6.050	C
T8	3	6.150	C
T20	3	6.150	C
T4	3	6.340	D
T19	3	6.340	D



**Figura 45:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la acidez en las microcápsulas.

## PROPIEDADES FUNCIONALES

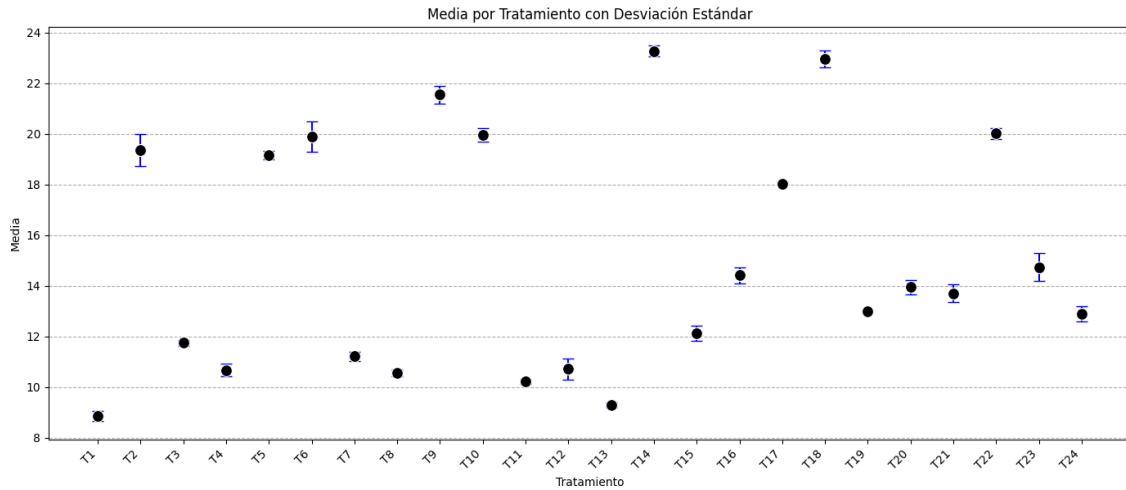
**Anexo 17:** Datos estadísticos ANOVA del contenido de antocianinas.

**Tabla 58:** ANOVA del contenido de antocianinas en las microcápsulas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.75196502	1	8.75196502	0.40	0.5332
Dentro de grupos	480.47024	22	21.8395564		
Total	489.222205	23	21.2705306		

**Tabla 59:** Medias para el contenido de antocianinas en las microcápsulas por agentes.

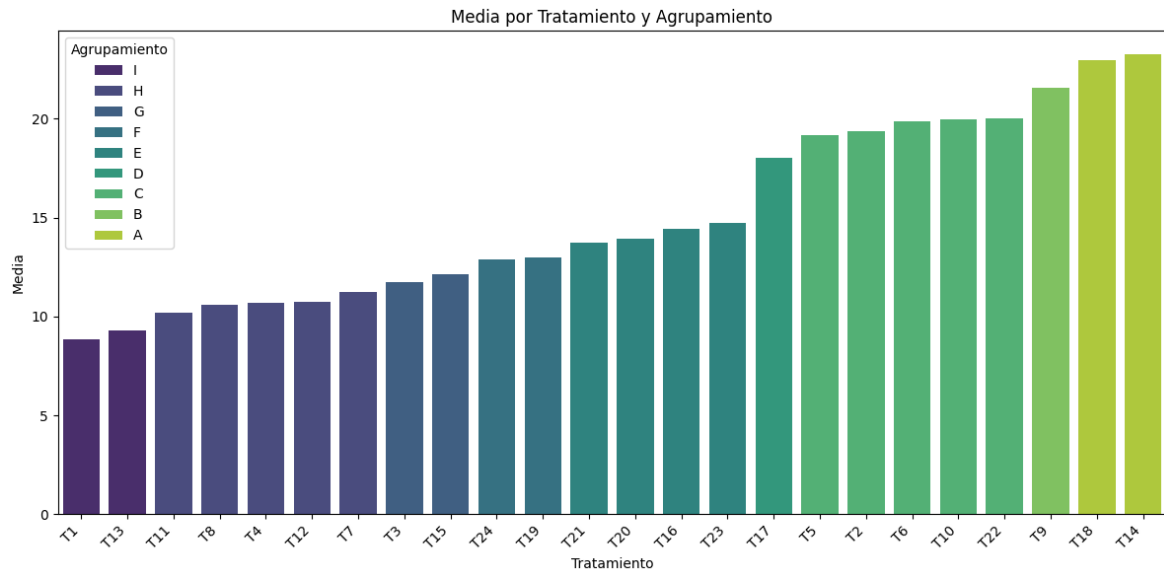
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	14.49283	1.422362	4.927205	11.36224 – 17.62343
Goma Guar	12	15.70058	1.27154	4.404743	12.90194 – 18.49922
Combinado	24	15.09671	0.9414203	4.611999	13.14923 – 17.04418
Diferencia		-1.20775	1.907859		-5.164408 – 2.748907
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -0.6330



**Figura 46:** *Medias por tratamiento con desviación estándar para las antocianinas de las microcápsulas.*

**Tabla 60:** *Medias y agrupamiento de Tukey para las antocianinas en las microcápsulas por agentes.*

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T14	3	23.280	A
T18	3	22.977	A
T9	3	21.550	B
T22	3	20.030	C
T10	3	19.963	C
T6	3	19.890	C
T2	3	19.377	C
T5	3	19.153	C
T17	3	18.037	D
T23	3	14.743	E
T16	3	14.413	E
T20	3	13.943	E
T21	3	13.710	E
T19	3	12.983	F
T24	3	12.890	F
T15	3	12.113	G
T3	3	11.747	G
T7	3	11.217	H
T12	3	10.717	H
T4	3	10.670	H
T8	3	10.567	H
T11	3	10.210	H
T13	3	9.290	I
T1	3	8.860	I



**Figura 47:** Medias por tratamiento y agrupamiento para las antocianinas en las microcápsulas.

**Anexo 18:** Datos estadísticos ANOVA de la capacidad antioxidante.

**Tabla 61:** ANOVA para la capacidad antioxidante en las microcápsulas.

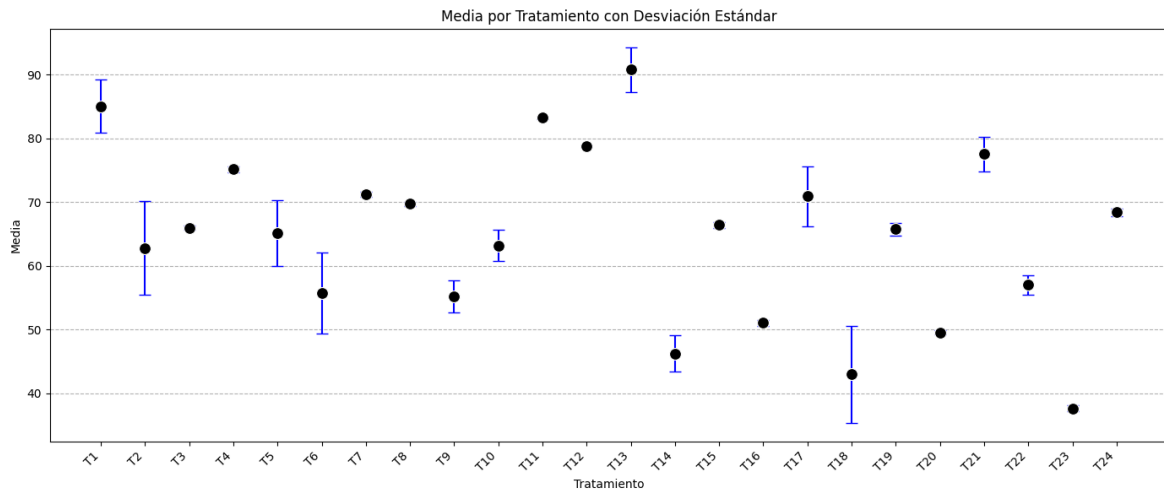
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	474.592755	1	474.592755	2.78	0.1094
Dentro de grupos	3751.12531	22	170.505696		
Total	4225.71807	23	183.726872		

**Tabla 62:** Medias para la capacidad antioxidante en las microcápsulas por agentes.

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	69.25033	2.833333	9.814955	63.01421 – 75.48646
Goma Guar	12	60.35658	4.515511	15.64219	50.41801 – 70.29516
Combinado	24	64.80346	2.766819	13.55459	59.07986 – 70.52706
Diferencia		8.89375	5.330818		-2.161689 – 19.94919

Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)

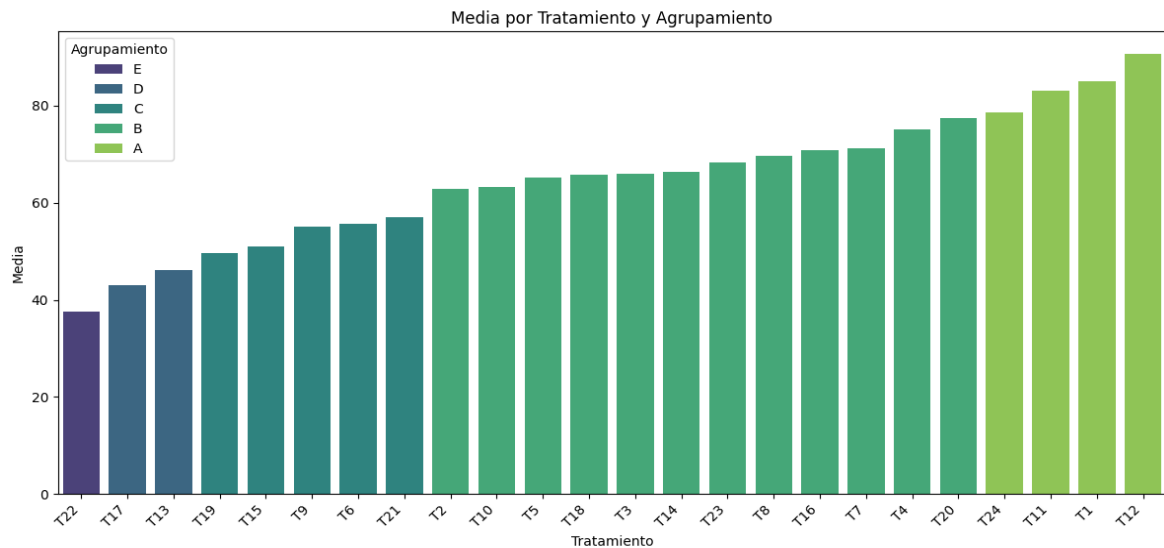
t = 1.6684



**Figura 48:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la capacidad antioxidante de las microcápsulas de mashua morada.

**Tabla 63:** Medias y agrupamiento de Tukey para la capacidad antioxidante en las microcápsulas por agentes.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T12	3	90.763	A
T1	3	85.013	A
T11	3	83.207	A
T24	3	78.727	A
T20	3	77.513	B
T4	3	75.137	B
T7	3	71.230	B
T16	3	70.923	B
T8	3	69.737	B
T23	3	68.390	B
T14	3	66.423	B
T3	3	65.940	B
T18	3	65.763	B
T5	3	65.143	B
T10	3	63.183	B
T2	3	62.813	B
T21	3	57.023	C
T6	3	55.703	C
T9	3	55.177	C
T15	3	51.047	C
T19	3	49.563	C
T13	3	46.237	D
T17	3	42.967	D
T22	3	37.670	E



**Figura 49:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la capacidad antioxidante en las microcápsulas.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ESTABILIDAD MEDIANTE HUMEDAD DE LAS MICROCÁPSULAS.

**Anexo 19:** *Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura ambiente después de 3 semanas de almacenamiento.*

**Tabla 64:** *ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 3 semanas de almacenamiento.*

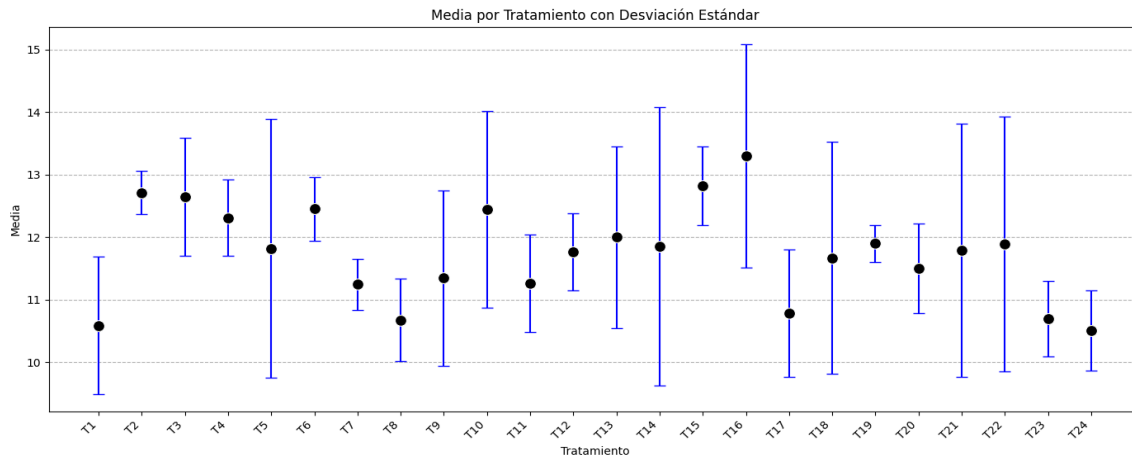
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.013113414	1	0.013113414	0.02	0.8851
Dentro de grupos	13.4924519	22	0.613293267		
Total	13.5055653	23	0.587198491		

**Tabla 65:** *Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento.*

Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	11.77125	0.2164329	0.7497457	11.29488 – 12.24762
Goma Guar	12	11.7245	0.2353133	0.815149	11.20658 – 12.24242
Combinado	24	11.74788	0.156418	0.7662888	11.4243 – 12.07145
Diferencia		0.0467501	0.3197117		-0.6162913 – 0.7097915

Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)

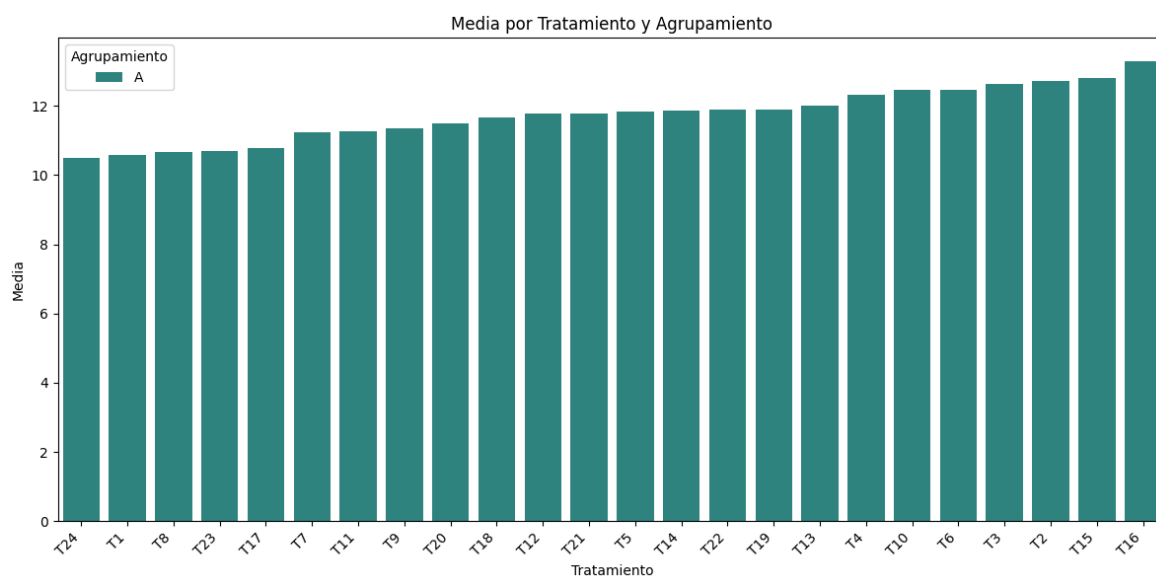
t = 0.1462



**Figura 50:** Medias con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento.

**Tabla 66:** Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T24	3	10.507	A
T1	3	10.583	A
T8	3	10.677	A
T23	3	10.700	A
T17	3	10.780	A
T7	3	11.243	A
T11	3	11.260	A
T9	3	11.347	A
T20	3	11.500	A
T18	3	11.667	A
T12	3	11.763	A
T21	3	11.787	A
T5	3	11.820	A
T14	3	11.850	A
T22	3	11.890	A
T19	3	11.897	A
T13	3	12.000	A
T4	3	12.310	A
T10	3	12.447	A
T6	3	12.453	A
T3	3	12.643	A
T2	3	12.710	A
T15	3	12.817	A
T16	3	13.297	A



**Figura 51:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 3 semanas de almacenamiento.

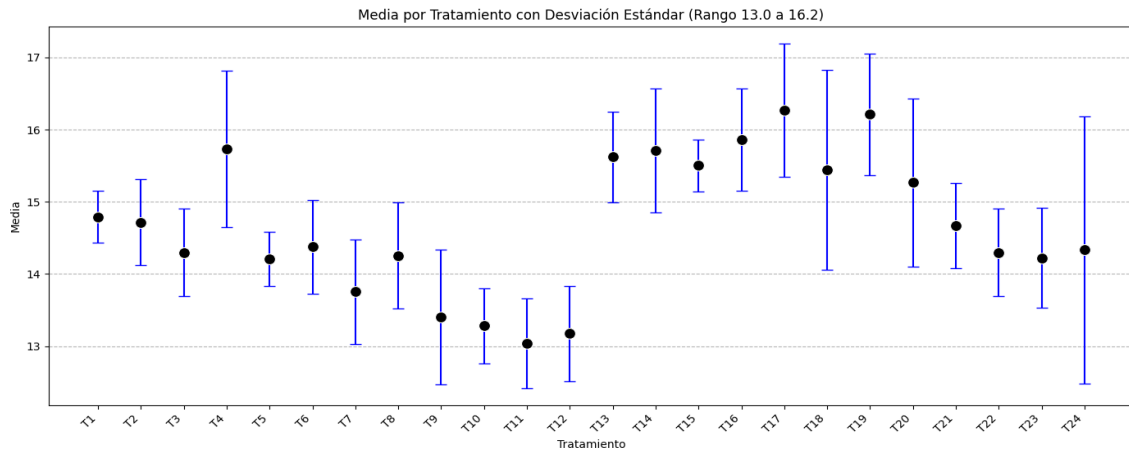
**Anexo 20:** Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.

**Tabla 67:** ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 6 semanas de almacenamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.61362048	1	8.61362048	14.72	0.0009
Dentro de grupos	12.8712999	22	0.585059088		
Total	21.4849204	23	0.934126974		

**Tabla 68:** Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.

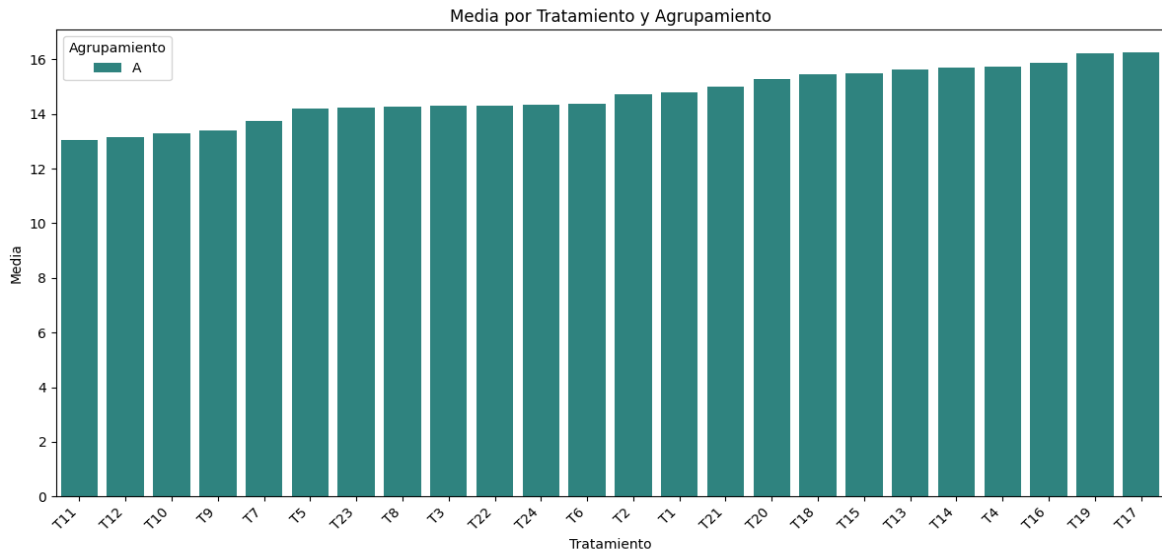
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	14.08633	0.229359	0.7945229	13.58152 – 14.59115
Goma Guar	12	15.2845	0.2119063	0.734065	14.8181 – 15.7509
Combinado	24	14.68542	0.1972865	0.9665024	14.2773 – 15.09353
Diferencia		-1.198167	0.3122657		-1.845766 – -0.5505673
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -3.8370



**Figura 52:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente tras 6 semanas de almacenamiento.

**Tabla 69:** Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T11	3	13.037	A
T12	3	13.170	A
T10	3	13.280	A
T9	3	13.407	A
T7	3	13.757	A
T5	3	14.207	A
T23	3	14.223	A
T8	3	14.257	A
T3	3	14.300	A
T22	3	14.300	A
T24	3	14.333	A
T6	3	14.377	A
T2	3	14.717	A
T1	3	14.797	A
T21	3	15.000	A
T20	3	15.267	A
T18	3	15.447	A
T15	3	15.503	A
T13	3	15.623	A
T14	3	15.710	A
T4	3	15.737	A
T16	3	15.863	A
T19	3	16.210	A
T17	3	16.270	A



**Figura 53:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura ambiente después de 6 semanas de almacenamiento.

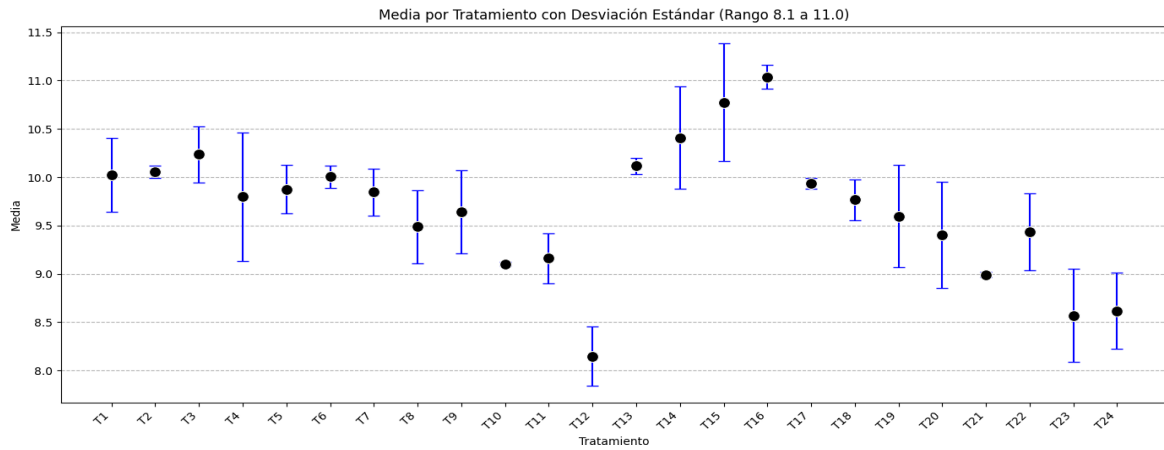
**Anexo 21:** Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura de refrigeración tras 3 semanas de almacenamiento.

**Tabla 70:** ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.067520217	1	0.067520217	0.14	0.7102
Dentro de grupos	10.4812533	22	0.476420605		
Total	10.5487753	23	0.458642406		

**Tabla 71:** Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.

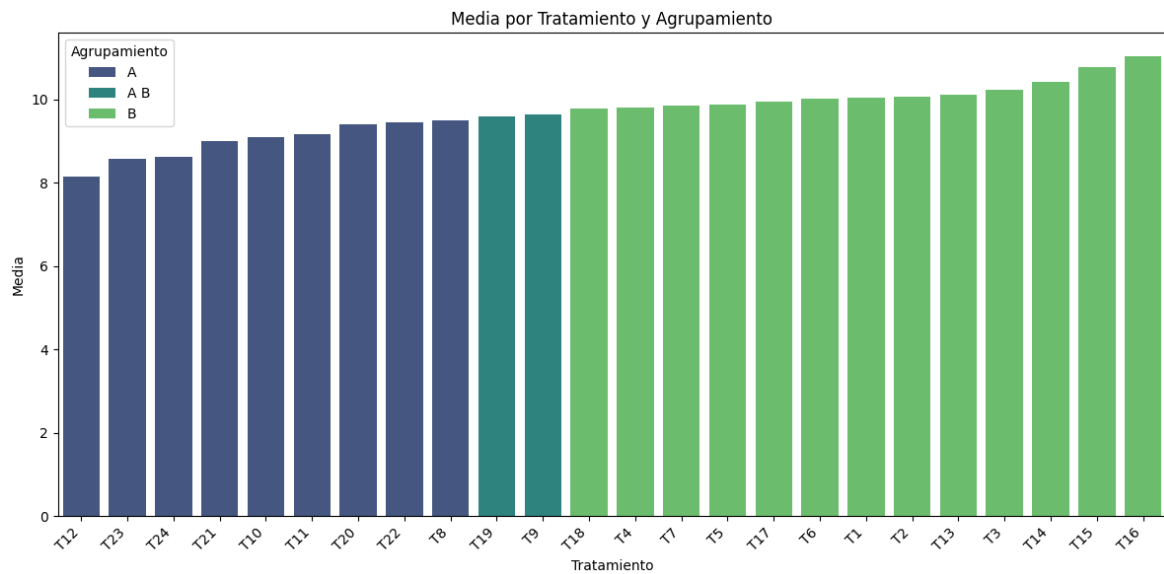
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	9.615833	0.1672068	0.5792213	9.247814 – 9.983853
Goma Guar	12	9.721917	0.2268156	0.7857123	9.222699 – 10.22113
Combinado	24	9.668875	0.1382393	0.6772314	9.382905 – 9.954845
Diferencia	-	0.1060833	0.2817861		-0.690472 – 0.4783054
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -0.3765



**Figura 54:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.

**Tabla 72:** Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T12	3	8.150	A
T23	3	8.570	A
T24	3	8.620	A
T21	3	8.993	A
T10	3	9.103	A
T11	3	9.160	A
T20	3	9.403	A
T22	3	9.440	A
T8	3	9.487	A
T19	3	9.597	A B
T9	3	9.643	A B
T18	3	9.767	B
T4	3	9.797	B
T7	3	9.850	B
T5	3	9.877	B
T17	3	9.937	B
T6	3	10.003	B
T1	3	10.027	B
T2	3	10.057	B
T13	3	10.117	B
T3	3	10.237	B
T14	3	10.410	B
T15	3	10.777	B
T16	3	11.040	B



**Figura 55:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 3 semanas de almacenamiento.

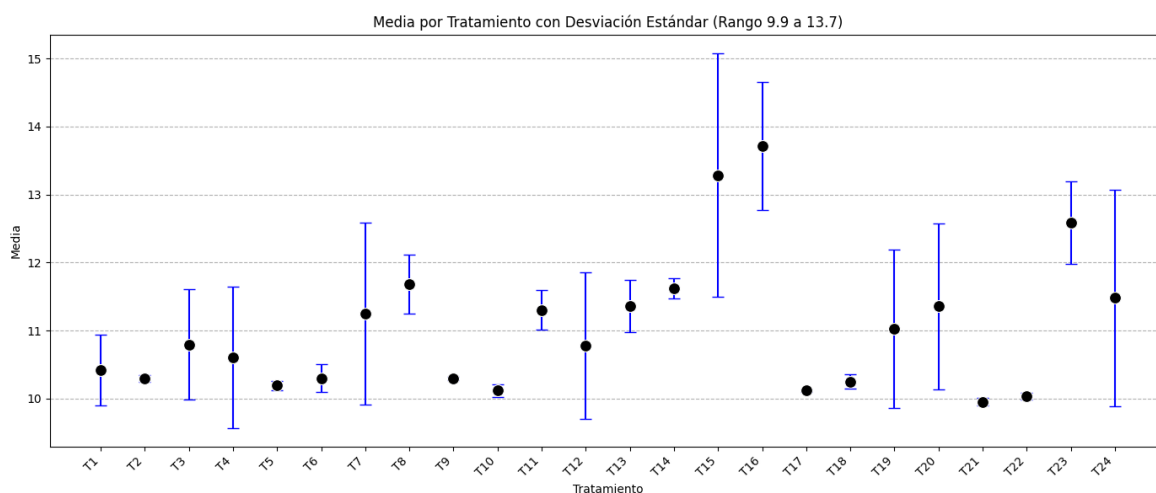
**Anexo 22:** Análisis estadístico ANOVA de la humedad a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento.

**Tabla 73:** ANOVA de la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.18718907	1	3.18718907	3.46	0.0761
Dentro de grupos	20.2413126	22	0.920059663		
Total	23.4285017	23	1.01863051		

**Tabla 74:** Medias para la humedad en las microcápsulas a temperatura de refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento por agentes.

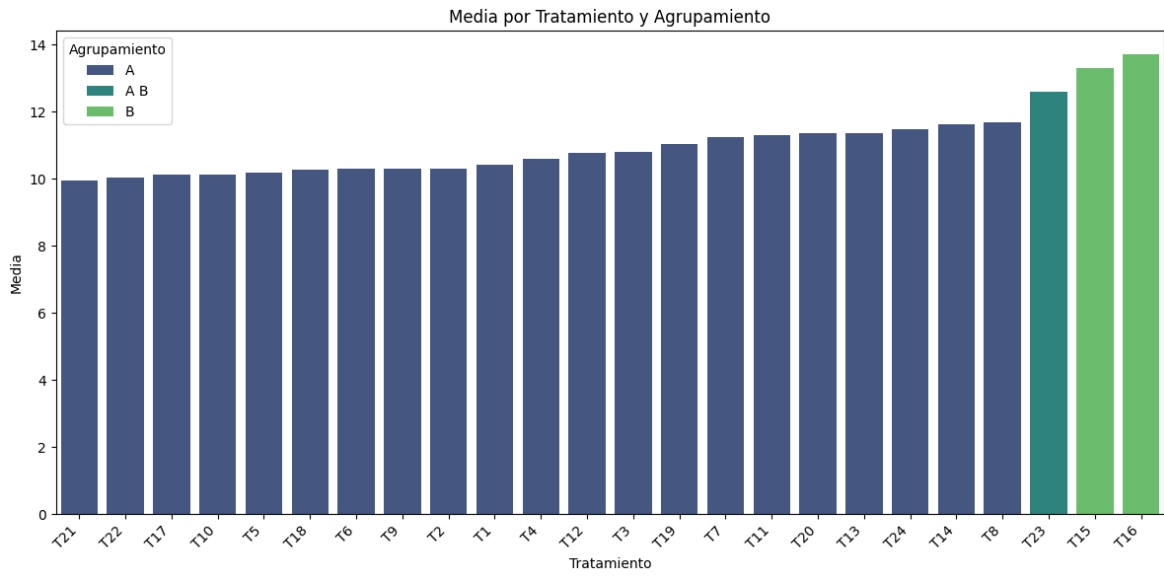
Agente	Obs	Media	Error Est.	Desv. Est.	[95% Intervalo Conf.]
Carragenina	12	10.6705	0.1456321	0.5044843	10.34997 – 10.99103
Goma Guar	12	11.39933	0.3635032	1.259212	10.59927 – 12.1994
Combinado	24	11.03492	0.2060168	1.009272	10.60874 – 11.4611
Diferencia		-0.7288334	0.3915907		-1.540943 – 0.083276
Diferencia = Media (Carragenina) – Media (Goma Guar)					t = -1.8612



**Figura 56:** Medias por tratamiento con desviación estándar para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento.

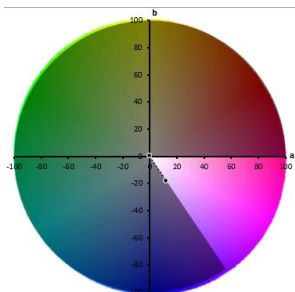
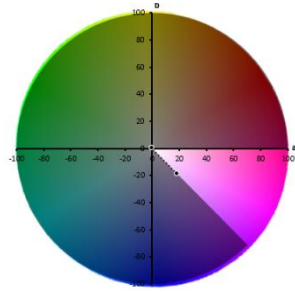
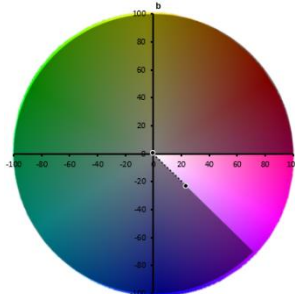
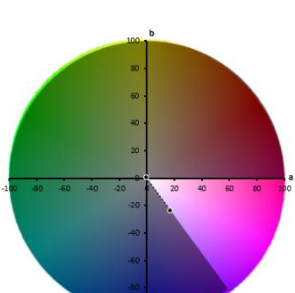
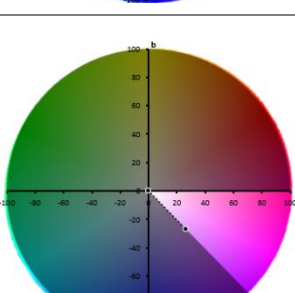
**Tabla 75:** Medias y agrupamiento de Tukey para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración después de 6 semanas de almacenamiento.

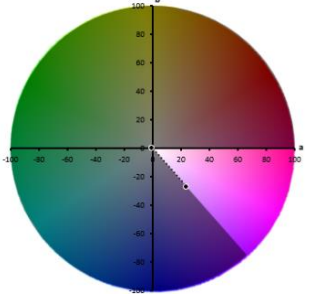
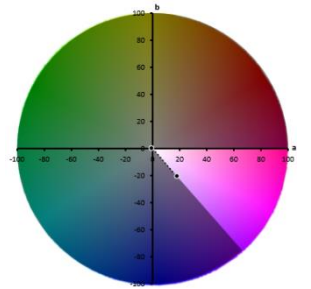
Tratamiento	Repeticiones	Media	Agrupamiento
T21	3	9.953	A
T22	3	10.037	A
T17	3	10.120	A
T10	3	10.120	A
T5	3	10.193	A
T18	3	10.253	A
T6	3	10.297	A
T9	3	10.300	A
T2	3	10.303	A
T1	3	10.417	A
T4	3	10.603	A
T12	3	10.780	A
T3	3	10.800	A
T19	3	11.027	A
T7	3	11.250	A
T11	3	11.303	A
T20	3	11.357	A
T13	3	11.360	A
T24	3	11.480	A
T14	3	11.620	A
T8	3	11.680	A
T23	3	12.593	A B
T15	3	13.283	B
T16	3	13.717	B

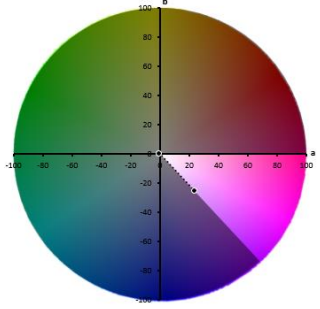
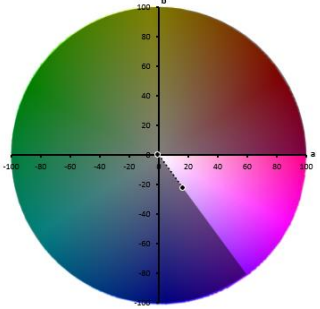
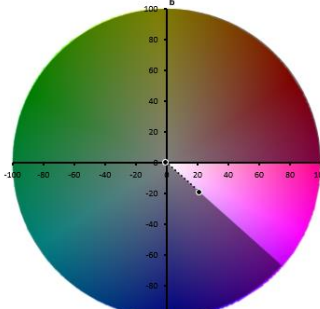
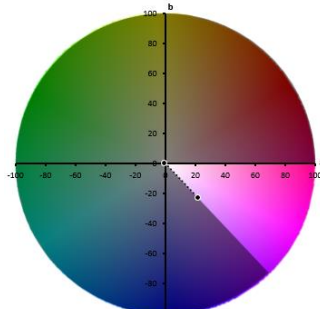
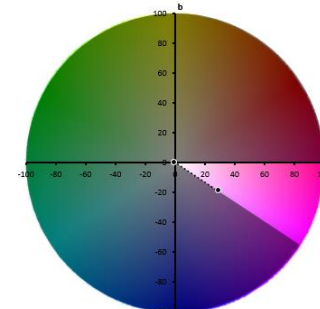


**Figura 57:** Medias por tratamiento y agrupamiento para la humedad en las microcápsulas a temperatura refrigeración tras 6 semanas de almacenamiento.

**Anexo 23: Determinación de color de las microcápsulas de antocianinas.**

Agentes	Trat.	T °C	mf (%)	Dosis (%)	CIELab	GRÁFICO
Carragenina (0.9% - 1.5%)	<b>T1</b>	110	25	0.9	L*: 49.459 ± 1.191 a*: 11.935 ± 0.621 b*: -18.123 ± 0.360	
	<b>T2</b>	110	25	1.5	L*: 50.460 ± 1.536 a*: 18.510 ± 0.153 b*: -18.731 ± 0.132	
	<b>T3</b>	110	35	0.9	L*: 44.247 ± 0.450 a*: 24.103 ± 0.469 b*: -23.453 ± 0.678	
	<b>T4</b>	110	35	1.5	L*: 45.605 ± 1.042 a*: 17.589 ± 0.117 b*: -24.098 ± 0.123	
	<b>T5</b>	120	25	0.9	L*: 39.277 ± 1.435 a*: 26.516 ± 0.480 b*: -27.213 ± 0.505	

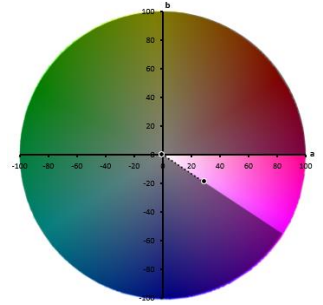
<b>T6</b>	120	25	1.5	$L^*: 52.271 \pm 0.672$ $a^*: 23.935 \pm 0.604$ $b^*: -27.210 \pm 0.750$	
<b>T7</b>	120	35	0.9	$L^*: 51.606 \pm 0.994$ $a^*: 20.178 \pm 0.833$ $b^*: -24.230 \pm 0.706$	
<b>T8</b>	120	35	1.5	$L^*: 59.511 \pm 0.436$ $a^*: 16.738 \pm 0.111$ $b^*: -23.741 \pm 0.258$	
<b>T9</b>	130	25	0.9	$L^*: 48.962 \pm 1.465$ $a^*: 20.802 \pm 0.159$ $b^*: -16.089 \pm 0.104$	
<b>T10</b>	130	25	1.5	$L^*: 47.283 \pm 0.437$ $a^*: 18.853 \pm 1.005$ $b^*: -21.243 \pm 0.346$	

	<b>T11</b>	130	35	0.9	$L^*: 41.638 \pm 1.408$ $a^*: 24.043 \pm 0.357$ $b^*: -25.843 \pm 0.477$	
	<b>T12</b>	130	35	1.5	$L^*: 51.054 \pm 0.787$ $a^*: 16.920 \pm 0.125$ $b^*: -22.718 \pm 0.283$	
<b>Goma Guar</b> (0.2% - 0.4%)	<b>T13</b>	110	25	0.2	$L^*: 43.887 \pm 2.409$ $a^*: 21.366 \pm 0.764$ $b^*: -19.182 \pm 0.350$	
	<b>T14</b>	110	25	0.4	$L^*: 44.365 \pm 0.292$ $a^*: 22.213 \pm 1.196$ $b^*: -23.489 \pm 0.729$	
	<b>T15</b>	110	35	0.2	$L^*: 54.502 \pm 0.823$ $a^*: 29.375 \pm 0.065$ $b^*: -19.348 \pm 0.349$	

---

**T16** 110 35 0.4

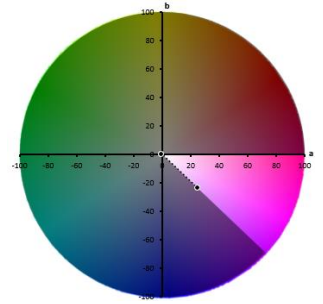
$L^*: 54.738 \pm 1.220$   
 $a^*: 29.283 \pm 0.675$   
 $b^*: -19.168 \pm 0.848$



---

**T17** 120 25 0.2

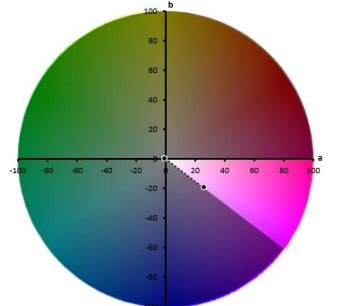
$L^*: 41.453 \pm 1.291$   
 $a^*: 24.906 \pm 0.295$   
 $b^*: -23.770 \pm 0.318$



---

**T18** 120 25 0.4

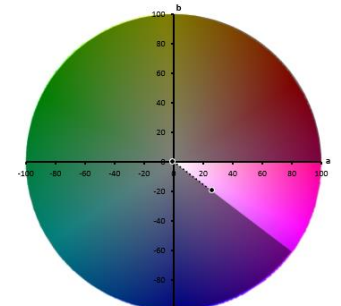
$L^*: 39.763 \pm 0.950$   
 $a^*: 26.461 \pm 1.009$   
 $b^*: -20.076 \pm 0.254$



---

**T19** 120 35 0.2

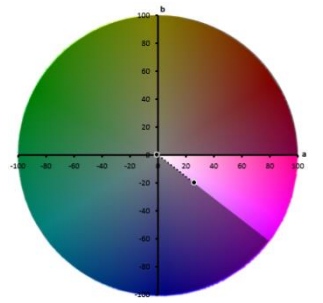
$L^*: 46.392 \pm 1.950$   
 $a^*: 26.744 \pm 0.701$   
 $b^*: -20.794 \pm 0.664$



---

**T20** 120 35 0.4

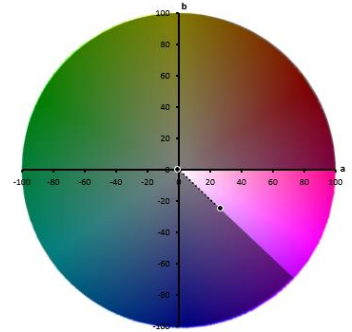
$L^*: 42.220 \pm 1.046$   
 $a^*: 27.119 \pm 0.302$   
 $b^*: -25.263 \pm 0.426$



---

**T21** 130 25 0.2

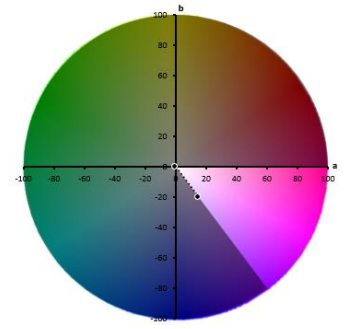
$L^*: 39.843 \pm 0.952$   
 $a^*: 26.262 \pm 0.690$   
 $b^*: -19.952 \pm 0.041$



---

**T22** 130 25 0.4

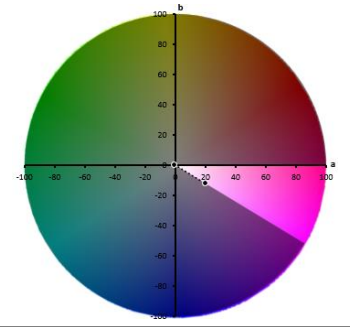
$L^*: 49.751 \pm 1.082$   
 $a^*: 20.773 \pm 0.776$   
 $b^*: -12.565 \pm 0.499$



---

**T23** 130 35 0.2

$L^*: 50.328 \pm 0.561$   
 $a^*: 26.068 \pm 0.192$   
 $b^*: -23.353 \pm 0.342$



---

**T24** 130 35 0.4

$L^*: 53.376 \pm 0.323$   
 $a^*: 25.721 \pm 0.449$   
 $b^*: -22.846 \pm 0.641$

