



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS**

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en
Agroindustrias mención Tecnología de Alimentos

Autor:

Encalada Aldaz Jaime Esteban

Tutor:

Villacrés Poveda Clara Elena, PhD

LATACUNGA-ECUADOR

2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión" presentado por Encalada Aldaz Jaime Esteban, para optar por el título Magíster en Agroindustrias mención Tecnología de Alimentos.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe para su exposición y defensa pública.

Latacunga, septiembre, 9, 2022



PhD Clara Elena Villacrés Poveda

C.C. 1801504422

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magister en Agroindustrias mención Tecnología de Alimentos; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, septiembre, 9, 2022



Mg. Gabriela Beatriz Arias Palma

C.C. 1714592746

Presidente del tribunal



Mg. Jaime Orlando Rojas Molina

C.C. 0502645435

Miembro 2



Mg. Manuel Enrique Fernández Paredes

C.C. 0501511604

Miembro 3

DEDICATORIA

A mis padres, Jaime y Marianita, quienes son el pilar fundamental de mi vida, me han sabido inculcar valores y principios para ser un hombre de bien, siempre me han apoyado en todo, y con cada motivación de ellos aprendí a seguir adelante y no rendirme frente a ninguna adversidad. A mis hermanos, Estela y Martin, quienes son una parte importante de mi vida y siempre me han apoyado. A mi novia Elisa, quien ha sido una parte muy importante en mi vida.

Jaime Encalada

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes del programa de la Maestría en Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi por sus enseñanzas. Además quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la PhD Elena Villacrés y la MsC. María Belén Quelal, investigadoras del INIAP, quienes me brindaron cabida en las instalaciones del INIAP Santa Catalina y asesoramiento para poder realizar esta investigación.

Jaime Esteban Encalada Aldaz

RESPONSABILIDAD DE AUTORIA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, septiembre, 9, 2022



Jaime Esteban Encalada Aldaz

C.C. 1720165362

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, septiembre, 9, 2022



Jaime Esteban Encalada Aldaz
C.C. 1720165362

AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, septiembre, 9, 2022



Mg. Gabriela Beatriz Arias Palma

C.C. 1714592746

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS

Título: Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión.

Autor: Encalada Aldaz Jaime Esteban

Tutor: Villacrés Poveda Clara Elena, PhD

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de los principales factores en el proceso de microencapsulación del jugo de mandarina para obtener polvo secado por aspersión, como un método alternativo de conservación del jugo. Se realizó la caracterización físico-química del jugo y se obtuvieron valores de 2,830 de pH, 11,330 °Brix, 0,646 % ácido cítrico, 6290,411 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ de actividad antioxidante, 20,284 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de vitamina C, 11,114 % de sólidos totales y 80,886% de humedad. Los factores evaluados para el secado por aspersión fueron la temperatura de entrada (125 - 155°C), concentración de maltodextrina (3 – 9%) y flujo de alimentación (3 - 6 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$), que presentaron diferente grado de significancia sobre las variables de respuesta, las cuales fueron color, contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad, rendimiento, actividad antioxidante, contenido de vitamina C, sólidos solubles, acidez titulable, pH y solubilidad. Mediante el uso del programa Design-Expert se encontró que la combinación óptima para maximizar el rendimiento (62,173 %), actividad antioxidante (6252.270 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C (19,941 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) fue aplicar 125 °C de temperatura de entrada, 5,07% de maltodextrina y 3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de flujo de alimentación, valores que fueron similares a los obtenidos en laboratorio (62,157 % de rendimiento, 6251,572 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ de actividad antioxidante y 19,767 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de contenido de vitamina C) bajo las condiciones antes mencionadas.

PALABRAS CLAVE: Microencapsulación, mandarina, maltodextrina, secado por aspersión.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
GRADUATE DIRECTORATE

MASTER'S DEGREE IN AGROINDUSTRY MAJOR IN FOOD TECHNOLOGY

Title: Microencapsulation of spray-dried mandarin juice.

Author: Encalada Aldaz Jaime Esteban

Tutor: Villacrés Poveda Clara Elena, PhD

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effects of the main factors in the microencapsulation process of mandarin juice to obtain spray-dried powder, as an alternative method of juice preservation. The physical-chemical characterization of the juice was carried out and values of 2.830 pH, 11.330 °Brix, 0.646% citric acid, 6290.411 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ of antioxidant activity, 20.284 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ of vitamin C, 11.114% of total solids, and 80.886% moisture were obtained. The factors evaluated for spray drying were the inlet temperature (125 - 155°C), maltodextrin concentration (3 - 9%), and feed flow (3 - 6 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$), which presented different degrees of significance on the response variables; for example, color, moisture content, water activity, hygroscopicity, yield, antioxidant activity, vitamin C content, soluble solids, titratable acidity, pH, and solubility. By using the Design-Expert program, it was found that the optimal combination to maximize yield (62.173%), antioxidant activity (6252.270 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$), and vitamin C content (19.941 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) was to apply 125 °C of inlet temperature, 5.07% maltodextrin and 3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ feed flow, such values were similar to those obtained in the laboratory (62.157% yield, 6251.572 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ antioxidant activity and 19,767 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ vitamin C content) under the aforementioned conditions.

KEY WORDS: Microencapsulation, tangerine, maltodextrin, spray drying.

Patricio Javier Serrano Escobar con cédula de identidad número: 1707257083 Master of Arts in TESOL y Traductor Profesional Certificado en el idioma inglés < > español en los Estados Unidos, con número de registro de la SENESCYT: SETEC_MDT-3104-CCL-252641; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: MICROENCAPSULATION OF SPRAY-DRIED MANDARIN JUICE de: Encalada Aldaz Jaime Esteban, aspirante a Magister en Agroindustria con mención en Tecnología de Alimentos.

Quito, septiembre, 06, 2022



Patricio Javier Serrano Escobar
C.C. 1707257083



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN TRIBUNAL	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESPONSABILIDAD DE AUTORIA	6
RENUNCIA DE DERECHOS	7
AVAL DEL PRESIDENTE	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS	12
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	16
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Hipótesis o preguntas de investigación	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA	5
2.1. Fundamentación epistemológica	5
2.1.1. Generalidades de la mandarina	5
2.1.2. Generalidades de la microencapsulación	6
2.1.3. Microencapsulación mediante secado por aspersión	7
2.1.4. Materiales encapsulantes	8
2.1.5. Color	9
2.1.6. Contenido de humedad	9
2.1.7. Actividad de agua	9
2.1.8. Sólidos totales	10
2.1.9. pH	10

2.1.10. Acidez titulable.....	10
2.1.11. Sólidos solubles	11
2.1.12. Actividad antioxidante	11
2.1.13. Vitamina C	12
2.1.14. Solubilidad.....	12
2.1.15. Higroscopicidad.....	12
2.2. Fundamentación del estado del arte	13
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Modalidad o enfoque de la investigación.....	19
3.2. Tipo de investigación	19
3.3. Técnicas e instrumentos	20
3.3.1. Técnicas e instrumentos	20
3.4. Diseño experimental.....	20
3.4.1. Factores en estudio	21
3.4.2. Combinaciones	21
3.4.3. Unidad Experimental.....	22
3.4.4. Análisis estadístico	22
3.5. Métodos específicos de la especialidad a emplear en la investigación	22
3.5.1 Microencapsulación del jugo de mandarina	22
3.5.2. Propiedades fisicoquímicas del jugo de mandarina.....	23
3.5.2.1. Color	23
3.5.2.2. Diámetro y peso	23
3.5.2.3. pH del jugo	23
3.5.2.4. Sólidos solubles	23
3.5.2.5. Acidez titulable	23
3.5.2.6. Densidad relativa	24
3.5.2.7. Humedad y sólidos totales	24
3.5.3. Propiedades fisicoquímicas del microencapsulado	24
3.5.3.1. Color	24
3.5.3.2. Contenido de humedad del microencapsulado	24
3.5.3.3. Actividad de agua	25
3.5.3.4. Higroscopicidad	25
3.5.3.5. Rendimiento del microencapsulado.....	26
3.5.3.6. Actividad antioxidante	26

3.5.3.7. Contenido de vitamina C	28
3.5.3.8. pH, sólidos solubles y acidez titulable.....	29
3.5.3.9. Solubilidad	30
3.5.3.10. Test de disolución	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Caracterización fisicoquímica del jugo de mandarina	31
4.2. Caracterización fisicoquímica del jugo microencapsulado.....	32
4.2.1. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el color.....	32
4.2.2. Efecto de la concentración de maltodextrina (A), temperatura de secado (B) y flujo de alimentación (C) sobre el contenido de humedad y actividad de agua	32
4.2.3. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la higroscopicidad	37
4.2.4. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el rendimiento.....	39
4.2.5. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la actividad antioxidante	42
4.2.6. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el contenido de vitamina C.....	44
4.2.7. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre los sólidos solubles y la acidez titulable	46
4.2.8. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el pH	49
4.2.9. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la solubilidad y test de disolución	50
4.2.10. Optimización de la microencapsulación del jugo de mandarina	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores evaluados en la investigación	21
Tabla 2 Combinaciones evaluadas en la investigación	21
Tabla 3 Esquema del análisis de varianza	22
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos de la fruta y jugo de mandarina	31
Tabla 5 Color de los hesperidios, cáscara y jugo de mandarina	31
Tabla 6 Rendimiento, capacidad antioxidante y contenido de vitamina C del jugo de mandarina, aplicando condiciones óptimas de microencapsulación	51
Tabla 7 Análisis de varianza para 14 variables de respuesta	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva estándar de trolox usada en la determinación de la actividad antioxidante	27
Figura 2 Curva estándar de ácido ascórbico utilizada para la determinación de vitamina C.	29
Figura 3 Superficie de respuesta del menor contenido de humedad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%).....	33
Figura 4 Superficie de respuesta del mayor contenido de humedad en función del flujo de alimentación y la concentración de maltodextrina (%)	33
Figura 5 Superficie de respuesta de la menor actividad de agua en función de la temperatura de secado (°C) y flujo de alimentación (mL·min ⁻¹).....	35
Figura 6 Superficie de respuesta de la mayor actividad de agua en función de la temperatura de secado (°C) y flujo de alimentación (mL·min ⁻¹).....	35
Figura 7 Superficie de respuesta del menor porcentaje de higroscopicidad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	38
Figura 8 Superficie de respuesta del mayor porcentaje de higroscopicidad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	38
Figura 9 Superficie de respuesta del menor rendimiento en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%).....	40
Figura 10 Superficie de respuesta del mayor rendimiento en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%).....	41
Figura 11 Superficie de respuesta de la menor actividad antioxidante en función de la concentración de maltodextrina (%) y la temperatura de secado (°C)	43
Figura 12 Superficie de respuesta de la mayor actividad antioxidante en función de la concentración de maltodextrina (%) y la temperatura de secado (°C)	43
Figura 13 Superficie de respuesta del menor contenido de vitamina C en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	45
Figura 14 Superficie de respuesta del mayor contenido de vitamina C en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	45

Figura 15 Superficie de respuesta del menor contenido de sólidos solubles en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	47
Figura 16 Superficie de respuesta del mayor contenido de sólidos solubles en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	47
Figura 17 Superficie de respuesta del menor porcentaje de acidez titulable en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	48
Figura 18 Superficie de respuesta del mayor porcentaje de acidez titulable en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%)	49
Figura 19 Superficie de respuesta de la optimización de la microencapsulación en función al rendimiento, actividad antioxidante y contenido de vitamina C.....	51

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Título del proyecto: Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión.

Línea de investigación: Desarrollo y seguridad alimentaria y procesos industriales

Sub línea de investigación: Optimización de procesos tecnológicos agroindustriales

Proyecto de investigación asociado: Departamento de Nutrición y Calidad E.E. Santa Catalina

Grupo de investigación: Departamento de Nutrición y Calidad E.E. Santa Catalina

Red nacional o internacional: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP

1.1. Justificación

La mandarina es un cítrico que pertenece a la familia Rutaceae, se originó en el sudeste asiático y su cultivo se ha expandido en el mundo (Velasco y Licciardello, 2014, p. 640). Sus frutos son hesperidios jugosos, se caracterizan por su alto contenido de ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides y azúcares. El contenido de ácido ascórbico oscila entre 21,19 y 29,80 mg·100 mL⁻¹ y carotenoides es de 10,7 mg·mL⁻¹, siendo la β-criptoxantina el más abundante y responsable del color amarillo anaranjado; estos compuestos tienen propiedades antioxidantes beneficiosas para la salud, sin embargo, su estabilidad depende en gran medida de la temperatura (Putnik *et al.*, 2017, p. 1347). La mandarina es el segundo cítrico de mayor importancia después de la naranja, pues en el 2020 se registró una

producción mundial de 31,6 millones de Ton (USDA, 2020, p. 4; García *et al.*, 2013, p. 869). En Ecuador es cultivada en las regiones interandina, litoral y amazónica; de acuerdo con el INEC (2014, p. 16), se destinan alrededor de 6664 Ha a su producción, siendo las principales variedades la injerta, dancy, verde, manabita y patateña. Debido a su contenido nutricional y agradable sabor, esta fruta se consume principalmente fresca, y apenas el 28% de su producción total se destina para la elaboración de zumos, mermeladas, jaleas (El Barnossi *et al.*, 2021, p. 1).

Este cítrico se consume principalmente fresco y en menor medida se procesa para producir jugos, motivo por el cual existe desperdicio de los frutos durante los picos productivos (El Barnossi *et al.*, 2021, p. 1). Además, el procesamiento térmico de los jugos y las condiciones ambientales durante el almacenamiento influyen en la estabilidad de compuestos bioactivos como vitaminas y antioxidantes. Por ello, se han desarrollado nuevas técnicas como la microencapsulación, que permite encapsular componentes líquidos, sólidos o gaseosos con materiales que protegen los nutrientes y compuestos bioactivos de la temperatura, luz y oxígeno (Karrar *et al.*, 2021, p. 208).

El secado por aspersión es uno de los métodos más usados en la microencapsulación de alimentos debido a que el producto final presenta una adecuada estabilidad y permite prolongar su vida útil, además los materiales encapsulantes son económicos, siendo los más usados polímeros como la maltodextrina, goma arábiga, entre otros (Paulo y Santos, 2017, p. 1330). En un estudio, Ramakrishnan *et al.* (2018, p. 406), lograron estabilizar los antioxidantes del jugo de tomate de árbol durante su almacenamiento al microencapsularlo con goma arábiga. De manera similar, Borrmann *et al.* (2013, p. 23), realizaron un estudio donde retuvieron entre 77,1 y 77,5% de vitamina C en jugo de maracuyá microencapsulado con n-octenilsuccinato.

1.2. Planteamiento del problema

La mandarina es una fruta que se consume generalmente en estado fresco y debido a su alto contenido de humedad es muy perecible, por lo que existen desperdicios durante los picos productivos, además esta fruta se caracteriza por ser fuente de

compuestos bioactivos como vitamina C y carotenoides. Estos compuestos son beneficios para la salud; sin embargo durante la transformación de los frutos en jugo y su posterior almacenamiento son susceptibles a degradarse debido a su inestabilidad en presencia de calor, luz, humedad y oxígeno. La microencapsulación mediante secado por aspersion es una alternativa que permite prolongar la vida útil del jugo, además de preservar los compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante, debido a que el material encapsulante envuelve y protege a la matriz alimenticia de factores ambientales y posteriormente permite la liberación controlada de los compuestos antes mencionados.

Debido a los problemas antes mencionados, en esta investigación se microencapsuló el jugo de mandarina mediante secado por aspersion y se evaluaron las propiedades físico-químicas, así como la estabilidad de sus compuestos bioactivos. Esta tecnología es una alternativa para la preservación e industrialización del jugo en épocas de mayor producción.

1.3. Hipótesis o preguntas de investigación

H0: La microencapsulación del jugo de mandarina no afecta a las propiedades físico-químicas y compuestos bioactivos del jugo.

H1: La microencapsulación del jugo de mandarina afecta a las propiedades físico-químicas y compuestos bioactivos del jugo.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general: Evaluar el efecto de la microencapsulación sobre las características físico-químicas y antioxidantes del jugo de mandarina (*Citrus x reticulata* var. Dancy) secado por aspersion.

1.4.2. Objetivos específicos:

Determinar las propiedades fisicoquímicas del jugo de mandarina en estado fresco y microencapsulado mediante mediciones del color, contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad, actividad antioxidante, contenido de vitamina C, sólidos solubles, acidez titulable, pH y solubilidad.

Optimizar el proceso de microencapsulación del jugo de mandarina en función al rendimiento, actividad antioxidante y contenido de vitamina C.

Elaborar el microencapsulado en función de la combinación óptima, caracterizando el rendimiento, actividad antioxidante, contenido de vitamina C y compararlo con el jugo de mandarina.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

2.1. Fundamentación epistemológica

2.1.1. Generalidades de la mandarina

La mandarina es un fruto originario de Asia, el cual pertenece a la familia Rutaceae, su cultivo se ha expandido por el mundo y debido al fitomejoramiento se han originado varias especies, siendo *Citrus reticulata*, *Citrus unshiu* y *Citrus clementina* las más destacadas (Velasco y Licciardello, 2014, p. 641). De acuerdo con Putnik *et al.* (2017, p. 1346), los mandarinos son árboles perennes que pueden alcanzar hasta 7,5 m de altura con raíces profundas, hojas reticuladas, flores hermafroditas, frutos en forma de hesperidios y dependiendo de la variedad, los frutos pueden tener semillas o ser partenocárpicos, sin embargo, se caracterizan por su jugosidad y sabor agradable, lo cual hace que los consumidores prefieran consumirlas frescas. La parte comestible de la mandarina se caracteriza por su capacidad antioxidante, debido al contenido de compuestos bioactivos como vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, entre otros, siendo los principales la vitamina C (21,19 a 29,80 mg Vitamina C·100 ml⁻¹ Jugo), la β-criptoxantina (10,7 mg β-criptoxantina·mL⁻¹ Jugo) y flavononas como la hesperidina y narirutina (10 a 42 mg Flavononas·L⁻¹ Jugo) (Hussain *et al.*, 2021, p. 229).

El consumo de mandarina se ha incrementado en los últimos años, pues en el 2020 se registró una producción mundial de 31,6 millones de Ton, pasando a ser el segundo cítrico de mayor importancia después de la naranja (USDA, 2020, p. 4; García *et al.*, 2013, p. 869). En Ecuador su cultivo se centra en la región litoral y en menor medida en las regiones interandina y amazónica, ocupando un área de alrededor de 6664 Ha y las principales variedades cultivadas son la injerta, dancy,

verde, manabita y patateña (INEC 2014, p. 16). Debido a su agradable sabor, esta fruta se consume principalmente fresca y apenas el 28% de su producción se destina para la industrialización (El Barnossi *et al.*, 2021, p. 1; Putnik *et al.*, 2017, p. 1347).

2.1.2. Generalidades de la microencapsulación

Los antioxidantes como la vitamina C son compuestos bioactivos benéficos para la salud, ya que al poseer dobles enlaces en su estructura química disminuyen las reacciones de oxidación en las células y así evitan la formación de radicales libres, debido a esto se los ha asociado con la prevención de enfermedades degenerativas. Sin embargo, los factores ambientales como temperatura, oxígeno, pH, presión, entre otros afectan su estabilidad y los vuelven susceptibles a degradarse (Villagrán *et al.*, 2019, p. 805). Debido a esto se han desarrollado alternativas como la microencapsulación, que permite preservar estos compuestos bioactivos además de darle un valor agregado a la fruta al convertirla en jugo en polvo.

La microencapsulación es una técnica que se desarrolló por Green y Schleicher durante la década de 1950 y su objetivo fue el desarrollo de cápsulas que contenían tinta para ser usadas en la imprenta. En la actualidad su uso se ha extendido principalmente a las industrias cosmética, farmacéutica y alimenticia, debido a que permite proteger partículas sólidas, líquidas o gaseosas de factores ambientales externos en materiales que actúan como una pared protectora (Paulo y Santos, 2017, p. 1330). De acuerdo con Adolfo y Huertas (2010, p. 5670), la microencapsulación permite proteger un ingrediente activo de factores degradantes como luz, temperatura, oxígeno y humedad, también permite la liberación de la sustancia encapsulada de manera controlada y bajo condiciones específicas y además facilita el manejo de materiales líquidos al transformarlos en polvo.

La microencapsulación es una técnica que permite convertir materiales líquidos o gaseosos en sólidos mediante el envolvimiento de la matriz alimenticia o núcleo en pequeñas partículas sólidas llamadas material de pared, que generalmente son polímeros. Este proceso presenta diferentes ventajas en la conservación de alimentos, como enmascarar olores y sabores, proteger compuestos bioactivos de

factores ambientales y mejorar su estabilidad oxidativa y prolongar la vida útil. Los materiales de pared generalmente son compuestos orgánicos y deben ser reconocidos como seguros para consumo humano y los más empleados son la maltodextrina, goma arábica, goma xantan, entre otros (González y Martínez, 2015; Nazzaro *et al.*, 2012).

Esta técnica ha permitido la conservación y protección de compuestos sensibles como carotenoides, antocianinas, vitaminas y polifenoles de factores ambientales como temperatura, luz, oxígeno, humedad, entre otros. El material de pared envuelve y protege a la matriz alimenticia y evita su degradación, permite una liberación controlada en función de diferentes factores como la temperatura, presión, pH, enzimas, entre otros, mejora el manejo del principio activo ya que disminuye la higroscopicidad, oculta olores, sabores y colores y evita interacciones entre diferentes ingredientes en una fórmula (Jal *et al.*, 2020, p. 3). Según Furuta y Neoh (2021, p. 1800), la microencapsulación de un material puede realizarse mediante procesos químicos como coacervación, gelificación iónica, co-cristalización, atrapamiento en liposomas, entre otros o mediante procesos físicos como secado por aspersión, secado por congelamiento y extrusión. En la industria alimentaria se encapsulan principalmente probióticos y compuestos bioactivos procedentes de vegetales como aceites esenciales, vitaminas, carotenoides, compuestos volátiles, entre otros.

2.1.3. Microencapsulación mediante secado por aspersión

Existen diferentes métodos para microencapsular alimentos y uno de ellos es el secado por aspersión, el cual consiste en atomizar un producto líquido, que generalmente es una solución, emulsión o suspensión, usando aire caliente para obtener de manera inmediata polvo. Este procedimiento permite reducir el contenido y actividad de agua para garantizar la estabilidad microbiológica y bioquímica del producto y le confiere propiedades específicas. El secado por aspersión ha sido ampliamente utilizado para encapsular alimentos como leche, jugos de frutas y extractos de biocompuestos específicos (Gharsallaoui y Chambin, 2007, p. 1109). En esta técnica influyen factores como temperatura de entrada y salida, flujo de alimentación y porcentaje de aspiración, los cuales van a depender del producto a encapsular, por ejemplo, en el caso de los carotenoides, al

ser compuestos sensibles al oxígeno, luz y calor se debe evitar temperaturas altas que eviten el rompimiento de los dobles enlaces que estos poseen en su estructura (González y Martínez, 2015, p. 188), es así que Aguiar *et al.* (2011, p. 37), observaron que un incremento en la temperatura de entrada en la microencapsulación de licopeno redujo su contenido y determinaron una temperatura óptima de 120 °C.

El método de secado por aspersión es un proceso mecánico ampliamente usado en la microencapsulación de alimentos debido a que presenta costos relativamente bajos, los materiales encapsulados presentan una adecuada estabilidad y eficiencia de encapsulación (96 – 100%) en comparación con otros métodos (Adolfo y Huertas, 2010, p. 5678). Según Mujumdar (2021, p. 263), es un método que permite transformar fluidos en productos secos, mediante la atomización del fluido de interés hacia un medio de secado caliente, que generalmente es aire, esto genera una rápida evaporación permitiendo que se forme una película protectora del material encapsulante sobre el fluido de interés. Debido a lo antes mencionado, los factores de mayor importancia durante este método son el flujo de alimentación, las temperaturas de entrada y salida y el tiempo de residencia. Además, Ricci *et al.* (2022, p. 1), mencionan que este método es adecuado para la encapsulación de compuestos volátiles y bacterias probióticas ya que pueden ser secados a presión atmosférica y bajas temperaturas, lo cual hace que las propiedades y la calidad final del material microencapsulado puedan controlarse de manera más óptima.

2.1.4. Materiales encapsulantes

Según Rutz *et al.* (2013, p. 1256), un material encapsulante debe cumplir con ciertas características como ser comestible, manipulable, biodegradable, tener baja higroscopia y debe ser capaz de aislar la sustancia de interés de las condiciones ambientales externas, de tal manera que la proteja durante su procesamiento y almacenamiento. Además, Adolfo y Huertas (2010, p. 5674) mencionan que los materiales encapsulantes deben ser relativamente baratos y de fácil acceso, siendo los más usados carbohidratos como los almidones, maltodextrinas y gomas, lípidos como grasas lácteas, lecitinas y ceras y proteínas como caseinato de sodio y aislados de proteínas de suero y soya.

Uno de los materiales de pared más utilizados y económicos es la maltodextrina y de acuerdo con Furuta y Neoh (2021, p. 1800), es un polímero que resulta de la hidrólisis ácida del almidón y se caracteriza por ser soluble en agua fría, presentar resistencia a la degradación enzimática y principalmente tener baja viscosidad, lo cual hace que las maltodextrinas sean idóneas para encapsular sustancias que presentan problemas de aglomeración durante el almacenamiento como los jugos de diferentes frutas.

2.1.5. Color

Uno de los parámetros físicos importantes es el color de los alimentos, el cual es un parámetro importante que influye en la aceptación de los mismos por parte de los consumidores, esta variable puede ser medida utilizando colorímetros y se determina mediante las coordenadas CIELAB, las cuales se expresan en términos de luminosidad (L), croma (C) y tono (H) (Pinzón *et al.*, 2015, p. 46). El color del jugo de mandarina está dado por el contenido de B-criptoxantina, el cual es el carotenoide más abundante en la fruta y responsable del color amarillo-naranja (Putnik *et al.*, 2017, p. 1347).

2.1.6. Contenido de humedad

El contenido de humedad es un parámetro físico que se expresa en porcentaje y hace referencia al contenido de agua que pueda tener un alimento, la cual puede ser libre (congelable y aprovechable por microorganismos) o ligada (no congelable y no aprovechable por microorganismos) (García y Fernández, 2010, p. 3). Es importante porque es un índice de estabilidad usado en procesos industriales como molienda de cereales, mezclado de productos, elaboración de jugos líquidos y en polvo. Los métodos directos más usados para determinar el contenido de humedad en un alimento son de secado por estufa o radiación infrarroja o métodos indirectos mediante refractometría (Popping y Diaz, 2014, p. 87).

2.1.7. Actividad de agua

La actividad de agua es un parámetro físico directamente relacionado al agua libre o no ligada del alimento y se representa mediante la relación entre la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con el alimento con la presión parcial de

vapor de agua en condiciones estándares (Cardona, 2019, p. 2). Es un factor indicativo para la vida útil de un alimento, ya que indica la actividad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos y es usado en la industria para determinar el método y tiempo de conservación de los alimentos. La forma más sencilla de determinar la actividad de agua de un alimento es mediante un medidor de actividad de agua (Carrillo *et al.*, 2007, p. 58).

2.1.8. Sólidos totales

Dentro de las propiedades químicas se tiene los sólidos totales, que en un jugo de fruta son la materia seca que queda luego de eliminar el contenido de humedad y representan entre el 5 y 25% de la masa del jugo, siendo los azúcares y ácidos orgánicos los principales componentes. Existen diferentes métodos para la determinación de los sólidos totales de un jugo, pero el más usado es el secado para eliminar la humedad y se calcula por diferencia de pesos entre el peso de la muestra fresca y peso de la muestra seca (Popping y Diaz, 2014, p. 87).

2.1.9. pH

Otro parámetro es el pH, el cual permite determinar la acidez o basicidad de una disolución o matriz alimenticia en función de la concentración de iones hidrógeno y que se mide usando tiras medidoras o medidores electrónicos de pH en una escala que va del 0 al 14, siendo 0 el valor más ácido y 14 el valor más básico (Saarela *et al.*, 2011, p. 106). En el caso de los jugos, el pH dependerá de la concentración de ácidos orgánicos de la fruta. Los valores de pH del jugo de mandarina fluctúan entre 2,10 y 3,70, siendo el ácido cítrico el más abundante y responsable de dicha acidez (Li *et al.*, 2013, p. 1429).

2.1.10. Acidez titulable

La acidez titulable es un parámetro químico que indica el grado de acidez en función del contenido de ácidos orgánicos libres en el alimento y se puede determinar mediante volumetría con un reactivo básico (hidróxido de sodio o hidróxido de potasio) y un colorante indicador (fenolftaleína). Esta variable permite expresar en porcentaje el contenido del ácido orgánico predominante en un alimento, que en el caso del jugo de mandarina y de otros cítricos es el ácido cítrico (Torres *et al.*, 2013, p. 52). Existen diversos factores durante el cultivo de

una fruta que afectan esta variable, como luz, temperatura, riego, etc., pero uno de los más importantes es el índice de madurez y generalmente el contenido de ácidos orgánicos de una fruta disminuye a medida que madura (Beckles, 2012, p. 131).

2.1.11. Sólidos solubles

Los sólidos solubles son un parámetro químico que se expresa en grados Brix, que en el caso de frutas, indica la cantidad de azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa) presentes y el método más común para determinarlos es mediante el uso de un refractómetro (Li *et al.*, 2016, p. 897). Existen factores extrínsecos que afectan el contenido de sólidos solubles de una fruta, como luz, temperatura, riego e intrínsecos como el índice de madurez, siendo que a medida que madura una fruta, la concentración de azúcares se incrementa (Beckles, 2012, p. 131). En el caso de las mandarinas el contenido de sólidos solubles puede variar generalmente entre 7 y 14 °Brix (Domínguez y Gómez, 2014, p. 30).

2.1.12. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante es un parámetro químico relacionado con el tipo y concentración de compuestos bioactivos de un alimento, como antocianinas, compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C, etc., los cuales tienen la capacidad de inhibir radicales libres (Carrasco y Zelada, 2008, p. 117). Existen diferentes métodos para determinar la capacidad antioxidante como el método FRAP, el cual se fundamenta en la reducción de hierro férrico a su forma ferrosa o el método ABTS, que se fundamenta en la reducción de la coloración verde/azul debido a la reacción del radical ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS) con el antioxidante presente en la muestra (Araya *et al.*, 2006, p. 362).

La mandarina se caracteriza por su alto contenido de B-criptoxantina y vitamina C, que son compuestos que ayudan a reducir las reacciones de oxidación en las células, evitando así la formación de radicales libres (Putnik *et al.*, 2017, p. 1347). En el procesamiento de jugos existen factores que influyen en la degradación de compuestos antioxidantes, como las condiciones de extracción del jugo, temperatura de almacenamiento, luz, entre otros. Sin embargo, la pérdida de estos

compuestos puede reducirse con el uso de materiales de pared como la maltodextrina y de técnicas como la microencapsulación (Flores y Flores, 2018, p. 176).

2.1.13. Vitamina C

El ácido ascórbico o vitamina C es un potente antioxidante que ayuda a prevenir la formación de radicales libres. Las frutas y vegetales son las principales fuentes de vitamina C, entre los cuales destacan los cítricos, kiwi, sandía, fresas, brócoli, pimiento, entre otros (Brown y Challem, 2007, p. 65). Según Villagrán *et al.* (2019, p. 801), la vitamina C neutraliza radicales libres, reduce el hierro y ayuda a la generación de vitamina E. Uno de los métodos más precisos para la determinación de vitamina C es mediante espectrofotometría UV-visible. Generalmente los cítricos tienen un contenido de vitamina C entre 20 y 50 mg·100g⁻¹ pero este rango puede variar en función de la variedad, condiciones de cultivo y poscosecha. Los principales factores que afectan a la estabilidad de la vitamina C son el calor, oxidación y deshidratación (Villagrán *et al.*, 2019, p. 805).

2.1.14. Solubilidad

La solubilidad es una medida porcentual de la capacidad de una sustancia para disolverse en un solvente, que generalmente es agua. Este factor depende del tipo de soluto, que en el caso de alimentos puede ser azúcar, sal, jugo en polvo, etc. y de la temperatura. Generalmente se determina mediante la relación entre el peso fresco y seco de sólidos solubles y peso fresco y seco de sólidos totales (Pastor y González, 2010, p. 2).

2.1.15. Higroscopicidad

La higroscopicidad es un factor relacionado con la capacidad que tiene un alimento de absorber humedad del ambiente. Generalmente se mide mediante una relación entre la masa del alimento seca y la masa del alimento rehidratada y se considera adecuado que un polvo tenga baja higroscopicidad, bajo contenido de agua y grado de apelmazamiento y alta solubilidad (Aldana *et al.*, 2010, p. 74).

2.2. Fundamentación del estado del arte

El secado por aspersión es un método de microencapsulación ampliamente usado en la industria alimenticia y cosmética, debido a que permite recubrir compuestos de interés en un material de pared (generalmente son biopolímeros o proteínas) que tiene la capacidad de proteger al núcleo de factores ambientales y de degradaciones oxidativas, ocultar olores y sabores y permite la liberación controlada del producto encapsulado. Debido a las ventajas mencionadas, este método ha sido ampliamente estudiado para la conservación de jugos de frutas y compuestos bioactivos como antocianinas, fenoles, vitaminas, etc., y a continuación se presentan algunos avances que se han realizado sobre la microencapsulación mediante secado por aspersión.

En un estudio, Castañón *et al.* (2020, p. 195) evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (120, 140 y 160 °C), concentración de maltodextrina (3, 5 y 7%) y flujo de alimentación (10, 12 y 14 mL·min⁻¹) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de naranja secado por aspersión. Las variables evaluadas fueron el rendimiento, densidad aparente, contenido de humedad, contenido de fenoles totales y color. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para microencapsular jugo de naranja mediante secado por aspersión fueron 160 °C de temperatura de entrada, 7% de concentración de maltodextrina y 14 mL·min⁻¹ de flujo de alimentación y en función a los parámetros descritos se obtuvo un rendimiento de 63,68%, contenido de humedad de 2,40%, densidad aparente de 0,5 g·cm⁻³ y contenido de fenoles totales de 573,83 mg·L⁻¹

En un estudio similar, Ghalegi *et al.* (2021, p. 1941) evaluaron el efecto de la concentración de maltodextrina (25, 35 y 45%) y temperatura de entrada (124 y 143 °C) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de granada secado por aspersión. Las variables de respuesta fueron el contenido de humedad, pH, contenido de cenizas, color y contenido de fenoles totales. Los autores concluyeron que las condiciones óptimas para la microencapsulación fueron 25% de concentración de maltodextrina y 143 °C de temperatura de entrada, parámetros mediante los cuales obtuvieron un contenido de humedad de 3,91%, contenido de cenizas de 0,58%, pH de 3,4 y contenido de fenoles totales de 903 mg ácido gálico·g db⁻¹.

Chen *et al.* (2021, p. 1), evaluaron en su estudio el efecto del tipo de extracción (agua y etanol) y del tipo de material de pared (maltodextrina, goma de acacia y una mezcla de ambas) sobre las propiedades fisicoquímicas de extractos de *Cyclocarya paliurus*. Las variables evaluadas fueron solubilidad, contenido de humedad, actividad de agua, contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que todos los polvos obtuvieron propiedades físicas adecuadas, con solubilidades de 88,81 a 99,12%, contenidos de humedad de 4,09 a 6,64% y actividades de agua de 0,11 a 0,19. Además se observó que la combinación de maltodextrina y goma de acacia en una proporción 1:1 presentó los mayores valores de contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (63,94 mg equivalente de ácido gálico·g⁻¹ y 513,49 μM TE·g⁻¹ respectivamente).

En otro estudio, Janiszewska-turak *et al.* (2017, p. 134) evaluaron el efecto de diferentes materiales de pared, los cuales fueron maltodextrina, goma arábica, mezclas de maltodextrina y goma arábica (1:1, 2:1, 3:1) y aislado de proteína de suero sobre las propiedades físicas y estructurales de microcápsulas de jugo de zanahoria y establecieron un valor fijo de temperatura de entrada de 160 °C. Las variables de respuesta fueron materia seca, actividad de agua, diámetro, contenido de carotenoides, higroscopicidad y temperatura de transición vítrea y los autores concluyeron que la goma arábica fue el material de pared que mostró mejor retención de carotenoides, menor actividad de agua y buenas propiedades higroscópicas, sin embargo, señalaron que todos los polvos presentaron una actividad de agua inferior a 0,26 y un contenido de materia seca entre 98 y 99%, lo cual indicó que los materiales usados presentaron potencial para la protección de los carotenoides en el tiempo.

Araujo *et al.* (2020, p. 392), evaluaron en su estudio el efecto del material de pared (goma arábica, maltodextrina y mezcla de ambas) y una temperatura fija de 140 °C sobre la capacidad antioxidante de jugo de sapote secado por aspersion. La capacidad antioxidante fue medida usando tres métodos (FRAP, DPPH Y ABTS) y los resultados mostraron que el jugo microencapsulado con maltodextrina presentó la mayor capacidad antioxidante con el método ABTS (834,11 μM trolox·eq g⁻¹), por lo cual se concluyó que la maltodextrina fue un material

apropiado para preservar la capacidad antioxidante del jugo de sapote microencapsulado.

En otro estudio, Moura *et al.* (2022, p. 1) evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (90 a 190 °C), flujo de alimentación (3,33 a 16,66 mL·min⁻¹) y concentración de maltodextrina (10 a 30%) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de mombin amarillo secado por aspersion. Las variables de respuesta fueron contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad, retención de carotenoides totales y rendimiento. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para la microencapsulación fueron 140 °C de temperatura de entrada, 12,33 mL·min⁻¹ de flujo de alimentación y 10% de concentración de maltodextrina, parámetros mediante los cuales se obtuvo buena solubilidad, retención de carotenoides totales y actividad antioxidante.

Selvamuthukumaran y Khanum (2014, p. 3731), evaluaron en su estudio el efecto de la temperatura de entrada (148,79 – 191,21 °C) y la concentración de maltodextrina (10 – 49,14%) sobre la optimización de la microencapsulación de jugo de espinillo amarillo secado por aspersion. Las variables de respuesta fueron contenido de humedad, solubilidad, dispersabilidad, contenido de vitamina C y color. Los resultados mostraron que la temperatura de entrada influyó significativamente sobre el contenido de humedad y vitamina C mientras que el contenido de maltodextrina influyó significativamente sobre la solubilidad, dispersabilidad y color, además las condiciones óptimas para la microencapsulación fueron 162,5 °C de temperatura de entrada y 25% de concentración de maltodextrina.

En otro estudio, Bastos *et al.* (2012, p. 683) desarrollaron un nuevo producto microencapsulando jugo de anacardo (*Anacardium occidentale*) mediante secado por aspersion utilizando como material de pared un aislado de proteína de suero y quitosano y lo compararon con un jugo comercial. Las variables medidas fueron rendimiento, contenido de vitamina C, tamaño de partícula, color y además evaluaron la estabilidad del polvo en almacenamiento durante 5 meses y concluyeron que el material de pared usado fue efectivo en la protección de

compuestos bioactivos como la vitamina C, ya que las microcápsulas mostraron mayor estabilidad de la vitamina C y color en comparación con el jugo comercial.

Ramakrishnan *et al.* (2018, p. 406), evaluaron en su estudio el efecto de diferentes materiales de pared como maltodextrina, almidón modificado con anhídrido n-octenil succínico y goma arábica sobre la eficiencia de encapsulación, propiedades de los polvos y estabilidad de compuestos bioactivos en jugo de tomate de árbol secado por aspersión. Las variables evaluadas fueron contenido de humedad, higroscopicidad, color, rendimiento, eficiencia de encapsulación, actividad antioxidante, fenoles totales, flavonoides totales y además realizaron un ensayo de estabilidad en función de la luz y temperatura de almacenamiento. Los autores concluyeron que los materiales de pared usados fueron apropiados para la encapsulación ya que los compuestos bioactivos presentaron una adecuada estabilidad, sin embargo se observaron diferencias en las propiedades fisicoquímicas, rendimiento, eficiencia de encapsulación y estabilidad durante el almacenamiento, en donde evidenciaron que los polvos almacenados en presencia de luz a 25 °C mostraron mayor degradación de sus compuestos bioactivos que los polvos almacenados en ausencia de luz a 4 °C.

Borrmann *et al.* (2013, p. 23), evaluaron en su estudio el efecto de dos temperaturas de almacenamiento (7 y 25 °C) sobre la estabilidad del contenido de vitamina C del jugo de maracuyá microencapsulado con n-octenil succinato mediante secado por aspersión. La vida útil de la vitamina C fue analizada mediante difracción de rayos x y los autores concluyeron que las muestras almacenadas a 7 °C (77,1%) mostraron mayor retención de vitamina C que las muestras almacenadas a 25 °C (71,5%), lo cual demostró que la microencapsulación resultó ser una técnica adecuada para la preservación de la vitamina C del jugo de maracuyá.

Por otro lado, Arrazola *et al.* (2014, p. 31) evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (170 y 180 °C) y de la concentración de maltodextrina (15, 20 y 30%) sobre las propiedades fisicoquímicas de microcápsulas de antocianinas de berenjena secadas por aspersión. Las variables de respuesta fueron contenido de antocianinas, parámetros de color, capacidad antioxidante, humedad, actividad de

agua, higroscopicidad, solubilidad y densidad. Los resultados mostraron que al microencapsular los extractos de antocianinas a 180 °C y con 15% de maltodextrina se obtuvieron los valores más altos de capacidad antioxidante (239,1 µM de Trolox) y solubilidad (93,61%) y menor contenido de humedad (3,43%) y actividad de agua (0,26).

Rutz *et al.* (2013, p. 1), evaluaron en su estudio el efecto de tres materiales de pared (goma xantan, goma tara y combinación de xantan y tara) sobre la microencapsulación de jugo de cereza morada brasileña. Las variables evaluadas fueron eficiencia de encapsulación, estabilidad de carotenoides, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, además evaluaron la estabilidad de compuestos bioactivos durante almacenamiento (luz y oscuridad a 4 y 25 °C). Los resultados mostraron que la goma xantan presentó la mayor eficiencia de encapsulación que el resto de materiales y la mayor estabilidad de carotenoides en almacenamiento.

En otro estudio, Aragüez *et al.* (2017, p. 29), evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (130-170 °C) y la concentración de maltodextrina (60-75%) sobre la optimización de la microencapsulación de jugo concentrado de naranja secado por aspersion. Las variables de respuesta fueron rendimiento, humedad, retención de ácido ascórbico y tiempo de rehidratación. Los resultados mostraron que al microencapsular el jugo con una temperatura de entrada de 155 °C y una concentración de maltodextrina de 74% se optimizó el proceso ya que se obtuvo 77% de rendimiento, 3,8% de humedad, 89,6% de retención de vitamina C y 64 segundos de tiempo de rehidratación.

Por otro lado, Ricci *et al.* (2022, p. 1) evaluaron el efecto de la temperatura de entrada y concentración de maltodextrina sobre la optimización de la microencapsulación de compuestos polifenólicos recuperados de lías de vino Cabernet Sauvignon mediante secado por aspersion. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para el secado por aspersion fueron 7g·100 mL⁻¹ de maltodextrina y 110 °C de temperatura de entrada, ya que el rendimiento fue de 82%, humedad de 0,81%, eficiencia de encapsulación de 92,2%, recuperación de polifenoles de 82,7% y actividad antioxidante de 0,36%

En otro estudio, Janiszewska (2014, p. 190) evaluó el efecto del material de pared (maltodextrina, goma arábica y una mezcla de ambas) sobre la estabilidad de los pigmentos del jugo de remolacha secado por aspersión. Las variables respuesta fueron higroscopicidad, materia seca, solubilidad y tamaño de la partícula. Los resultados mostraron que los polvos encapsulados con goma arábica obtuvieron el mayor contenido de pigmento violeta en comparación con la maltodextrina, además de que las microcápsulas de goma arábica presentaron mayor estabilidad de sus compuestos bioactivos debido a que estas presentaron menor higroscopicidad, sin embargo, los autores recomendaron el uso de microcápsulas de maltodextrina para ser usadas como suplementos en alimentos.

Ferrari *et al.* (2012, p.154), evaluaron en su estudio el efecto de la temperatura de entrada (140-180 °C) y concentración de maltodextrina (5-25%) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de mora secado por aspersión. Las variables evaluadas fueron contenido de humedad, higroscopicidad, retención de antocianinas, color, morfología del polvo y tamaño de la partícula. Los resultados mostraron que a medida que se incrementaba la temperatura de entrada aumentaba la higroscopicidad, disminuía el contenido de humedad y las partículas eran más grandes y lisas, además, a medida que se incrementaba la concentración de maltodextrina los polvos presentaron menor higroscopicidad y contenido de humedad y eran más claros y menos rojos. Finalmente concluyeron que las condiciones óptimas de procesamiento fueron temperatura de 140 a 150 °C y concentración de maltodextrina de 5 a 7%

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Modalidad o enfoque de la investigación

Según Mousalli (2016, p. 9), el presente estudio tuvo un enfoque cuantitativo ya que se planteó procedimientos para la comprobación de hipótesis y objetivos mediante la experimentación. Además, los factores evaluados fueron la concentración de maltodextrina (%), temperatura de secado (°C) y flujo de alimentación ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$). De igual manera, las variables de respuesta medidas fueron color (L, Ce, H), sólidos totales (%), pH, acidez (% ácido cítrico), sólidos solubles (°Brix) y contenido de vitamina C ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) del jugo de mandarina y rendimiento (%), contenido de humedad (%), actividad de agua, color (L, Ce, H), pH, acidez titulable (% ácido cítrico), sólidos solubles (°Brix), contenido de vitamina C ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$), capacidad antioxidante ($\text{mg Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$), solubilidad (%) e higroscopicidad (%) del jugo microencapsulado.

3.2. Tipo de investigación

Rojas (2015, p. 7), señala que una investigación experimental se basa en la comprobación de una hipótesis mediante el planteamiento de variables independientes que influyan sobre un sujeto o unidad experimental que permita registrar variables medibles y cuantificables. La presente investigación fue experimental ya que se evaluaron los efectos de tres factores controlables (concentración de maltodextrina, temperatura de secado y flujo de alimentación) sobre variables de respuesta cuantitativas del jugo y del microencapsulado.

3.3. Técnicas e instrumentos

3.3.1. Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos son procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información para responder una hipótesis, y estos deben ser confiables y objetivos para que tengan validez (Hernández y Avila, 2020, p. 52). En esta investigación se utilizó la observación, medición de variables cuantitativas y lectura científica para recolección de información y comparación con los resultados obtenidos. Además, en este estudio se emplearon instrumentos como registros específicos de datos para cada variable de respuesta y fichas nemotécnicas para sintetizar la información de fuentes bibliográficas.

3.4. Diseño experimental

En esta investigación se evaluó el efecto de la concentración de maltodextrina (%), temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y flujo de alimentación ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$) mediante la metodología de superficie de respuesta. Se utilizó un diseño de optimización-IV, ya que se evaluaron tres factores con dos niveles (límite superior e inferior) y el modelo matemático se muestra a continuación:

$$Y_{irv} = \mu + A_i + B_r + C_v + (AB)_{ir} + (AC)_{iv} + (BC)_{rv} + (A^2)_i + (B^2)_r + (C^2)_v + e_{irv}$$

Siendo:

Y_{irv} = variable de respuesta.

μ = media general.

A_i = efecto de la i - ésima concentración de maltodextrina.

B_r = efecto de la r - ésima temperatura de secado.

C_v = efecto del v - ésimo flujo de alimentación.

$(AB)_{ir}$ = efecto de la interacción entre A y B.

$(AC)_{iv}$ = efecto de la interacción entre A y C.

$(BC)_{rv}$ = efecto de la interacción entre B y C.

$(A^2)_i$ = efecto cuadrático de A.

$(B^2)_r$ = efecto cuadrático de B.

$(C^2)_v$ = efecto cuadrático de C.

e_{irv} = error experimental.

3.4.1. Factores en estudio

En la Tabla 1 se muestran los factores de estudio y los límites superior e inferior de concentración de maltodextrina, temperatura de secado y flujo de alimentación del experimento.

Tabla 1. Factores evaluados en la investigación

Factor	Límite inferior	Límite superior
A (Concentración de maltodextrina)	3%	9%
B (Temperatura de secado)	125 °C	155 °C
C (Flujo de alimentación)	3 mL·min ⁻¹	6 mL·min ⁻¹

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

3.4.2. Combinaciones

Las combinaciones fueron obtenidas de acuerdo al tipo de diseño mencionado anteriormente, se utilizó el programa Design-Expert versión 8.0.6 y para la obtención de las combinaciones se tomaron en cuenta 10 puntos del modelo, 5 puntos para estimar la falta de ajuste y 5 repeticiones, dando un total de 20 combinaciones, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 2. Combinaciones evaluadas en la investigación

Combinación	Temperatura °C	Concentración maltodextrina %	Flujo de alimentación mL·min⁻¹
C1	138	6,41	4
C2	139	3,12	4
C3	125	9,00	5
C4	155	9,00	6
C5	125	5,10	5
C6	155	3,00	3
C7	150	3,96	5
C8	125	5,25	3
C9	138	6,41	4
C10	155	3,00	6
C11	139	6,30	6
C12	125	9,00	3
C13	144	9,00	3
C14	154	6,30	4
C15	144	9,00	3
C16	134	9,00	6

C17	139	3,12	4
C18	154	6,30	4
C19	139	6,30	6
C20	125	3,00	6

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

3.4.3. Unidad Experimental

Cada unidad experimental estuvo representada por 30 g de jugo de mandarina microencapsulado para cada combinación, teniendo un total de 20 unidades experimentales.

3.4.4. Análisis estadístico

El análisis de los datos se lo realizó con el software Design-Expert versión 8.0.6.

A continuación se muestra el análisis de varianza del experimento:

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Modelo	9
Residuales	10
Falta de ajuste	5
Error puro	5
Total	19

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

3.5. Métodos específicos de la especialidad a emplear en la investigación

3.5.1 Microencapsulación del jugo de mandarina

Se adquirieron mandarinas de la variedad Dancy en los abastos de la ciudad de Sangolquí, luego en el laboratorio las frutas fueron clasificadas, lavadas y cortadas, se extrajo el jugo y se separaron las cáscaras y semillas usando un exprimidor, posteriormente se filtró el jugo en un tamiz provisto de malla de 25 μm y se lo almacenó en botellas de polietileno en congelación. Las soluciones se prepararon añadiendo las concentraciones de maltodextrina de acuerdo a lo descrito en la Tabla 2, para lo cual se pesó la maltodextrina en una balanza analítica y se utilizó un agitador magnético para homogeneizar el jugo y el polvo. Posteriormente se procedió a microencapsular el jugo usando un mini spray dryer

marca Buchi modelo B-290. Finalmente el jugo microencapsulado se almacenó en frascos ámbar a -4°C, hasta los análisis.

3.5.2. Propiedades fisicoquímicas del jugo de mandarina

3.5.2.1. Color

De acuerdo con la metodología descrita por Ibraheem *et al.* (2012, p. 165), se midió el color de la cáscara, hesperidios y jugo de las mandarinas utilizando un colorímetro marca DR LANGE espectro-color modelo LZM 268, con el sistema de coordenadas L, Ce y H. Las mediciones se realizaron sobre una superficie blanca y por triplicado para cada coordenada y muestra.

3.5.2.2. Diámetro y peso

Se midió por triplicado el diámetro mayor y menor de los hesperidios y frutos de las mandarinas utilizando un paquímetro digital. Además se registró el peso de la cáscara y del fruto de 12 mandarinas.

3.5.2.3. pH del jugo

Se utilizó la metodología AOAC 981.12 (AOAC, 2019), para lo cual se obtuvo el jugo de varias mandarinas hasta obtener 50 mL y posteriormente el pH fue medido por triplicado directamente del jugo utilizando un medidor de pH marca inoLab modelo WTW.

3.5.2.4. Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles (°Brix) se evaluó según la metodología AOAC 932.12 (AOAC, 2019), para lo cual se vertió 3 mL de jugo de mandarina en el prisma de refracción y se registran las medidas en un refractómetro marca Atago.

3.5.2.5. Acidez titulable

Esta variable se obtuvo como porcentaje de ácido cítrico, y se midió de acuerdo a lo descrito en la metodología AOAC 942.15 (AOAC, 2019). Una alícuota de jugo se tituló con una solución de NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. Los resultados se obtuvieron aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{V \times N \times K}{P} \times 100$$

Dónde: V= Volumen de NaOH consumido; P= Peso de la muestra; K= Peso equivalente del ácido cítrico (0,06404 g·meq⁻¹) y N= Normalidad del NaOH.

3.5.2.6. Densidad relativa

Esta variable se midió directamente en el jugo, para lo cual se colocó 100 mL de jugo de mandarina en una probeta. Se introdujo el densímetro y se tomó la lectura correspondiente.

3.5.2.7. Humedad y sólidos totales

Estas variables se midieron por triplicado mediante el método 930.15 de la AOAC (AOAC, 2019), para lo cual se colocó jugo de mandarina en placas Petri, se registraron los pesos y luego estas fueron colocadas en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente se registraron los pesos secos y se aplicó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de humedad y el porcentaje de sólidos totales:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_c + P_j) - P_s}{P_j} \times 100$$

$$\% \text{ Sólidos totales} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

Donde:

Pc: peso de la caja Petri; Pj: peso del jugo; Ps: peso seco de la caja Petri y el jugo.

3.5.3. Propiedades fisicoquímicas del microencapsulado

3.5.3.1. Color

De acuerdo con la metodología descrita por Ibraheem *et al.* (2012, p. 165), se midió el color de los microencapsulados utilizando un colorímetro marca DR LANGE espectro-color, modelo LZM 268, con el sistema de coordenadas L,Ce y H. Las mediciones se realizaron sobre una superficie blanca y por triplicado para los componentes del color de cada muestra.

3.5.3.2. Contenido de humedad del microencapsulado

Esta variable se determinó de acuerdo con la metodología 930,15 de la AOAC (AOAC, 2019), para lo cual se colocó 1 g de microencapsulado en una cápsula de

aluminio, la cual se dejó en una estufa a 105 °C por 24 horas. Finalmente se midió el contenido de humedad por diferencia de pesos mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_c + P_j) - P_s}{P_j} \times 100$$

$$\% \text{ Sólidos totales} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

Donde:

Pc: peso de la caja Petri; Pj: peso del jugo; Ps: peso seco de la caja Petri y el jugo.

3.5.3.3. Actividad de agua

Esta variable se midió de acuerdo con la metodología AOAC 934.06 (AOAC, 2019), para lo cual de cada combinación se pesó 1 g de microencapsulado en cápsulas plásticas para medición de actividad de agua, las cuales fueron colocadas en el medidor de actividad de agua marca Testo modelo 650. Se realizaron mediciones por triplicado.

3.5.3.4. Higroscopicidad

La higroscopicidad se determinó de acuerdo al método descrito en el estudio de Arrazola *et al.* (2014, p. 33), para lo cual se pesó 1 g de microencapsulado en una cápsula plástica, que se colocó en un desecador equipado con un medidor de humedad relativa y temperatura, junto con una solución saturada de sulfato de sodio, que se mantuvo líquida durante las mediciones de higroscopicidad. Posteriormente se pesó la muestra luego de cinco días y los datos obtenidos se expresaron en porcentaje de higroscopicidad como se muestra a continuación:

$$HG (\%) = \frac{m1/m2}{\frac{m3}{1-X}} \times 100$$

Siendo:

HG (%): higroscopicidad del jugo microencapsulado; m1: masa de la cápsula más la muestra rehidratada; m2: masa de la cápsula más la muestra inicial; m3: masa de la muestra inicial; X: humedad inicial de la muestra.

3.5.3.5. Rendimiento del microencapsulado

Para el cálculo de esta variable, se pesaron los microencapsulados de cada tratamiento y el rendimiento (%) se determinó de acuerdo a lo descrito por Ramakrishnan *et al.* (2018, p. 408), para lo cual se calculó la relación entre la masa del microencapsulado y el contenido de sólidos totales del jugo (jugo + material encapsulante) antes de ser secado por aspersion, lo cual se determinó como se explicó en el punto 2.5.3.2. mediante la siguiente fórmula:

$$Y (\%) = \frac{M}{ST} \times 100$$

Siendo:

Y (%): Rendimiento del jugo microencapsulado; M: Masa del jugo microencapsulado obtenido; ST: Contenido de sólidos totales del jugo antes de ser microencapsulado.

3.5.3.6. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Ramakrishnan *et al.* (2018, p. 408), para lo cual se elaboró una curva estándar de trolox a partir de una solución stock de trolox diluyendo 0,025 g de trolox en 50 mL de metanol al 100%; a partir de ésta se prepararon soluciones estándares con concentraciones de 200, 300, 400, 500, 600 y 700 μM de trolox $\cdot\text{L}^{-1}$. Adicionalmente, en un frasco protegido de la luz, se preparó una solución madre ABTS, para lo cual se mezcló en una proporción 1:1 una solución de AZBTS (10 mg en 2,8 mL de agua destilada) y una solución de persulfato de potasio (6,62 mg en 10 mL de agua destilada), luego se dejó reaccionar la solución por 16 horas en la oscuridad. Posteriormente se preparó una solución diluida ABTS, para lo cual se diluyó 3,9 mL de la solución madre ABTS en 110 mL de etanol al 96%.

Para la elaboración de la curva estándar se transfirieron 150 μL de cada solución estándar (200, 300, 400, 500, 600 y 700 μM de trolox $\cdot\text{L}^{-1}$) y 2850 μL de la solución diluida ABTS a tubos de ensayo. De manera similar, se preparó un blanco de muestra diluyendo 150 μL de metanol al 80% en 2850 μL de la solución diluida ABTS. Se agitaron los tubos de ensayo en un vortex, se esperó 10 minutos, se volvieron a agitar y se esperó 10 minutos. Finalmente se leyó por

duplicado las absorbancias de cada tubo a 734 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible marca Evolution modelo 201. A continuación se muestra la curva estándar utilizada para la determinación de la capacidad antioxidante:

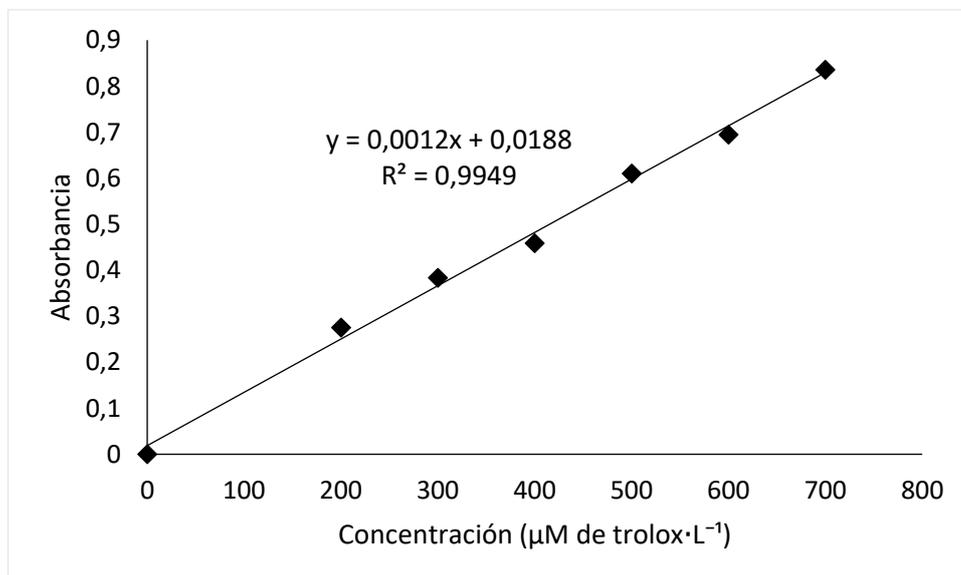


Figura 1. Curva estándar de Trolox usada en la determinación de la actividad antioxidante. Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Para la extracción de los antioxidantes, se diluyó 1 g de microencapsulado en 5 mL de metanol al 25% en un tubo plástico, se agitó en un vortex y se mezcló con un agitador magnético durante 30 minutos, luego se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos, se separó el sobrenadante y se lo dejó reposar en refrigeración durante 24 horas (primera extracción). Al pellet se le adicionó 5 mL de metanol al 25%, se agitó en un vortex y se mezcló con un agitador magnético por 30 minutos, luego se dejó reposar en refrigeración durante 24 horas y transcurrido el tiempo se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos (segunda extracción). Finalmente se agregó el sobrenadante al tubo de plástico de la primera extracción. La determinación de las absorbancias en el espectrofotómetro UV-visible marca Evolution modelo 201 se realizaron siguiendo el mismo procedimiento que para la determinación de la curva estándar de Trolox. El cálculo de la actividad antioxidante ($\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) se expresó en base seca y se utilizó la ecuación obtenida de la curva estándar (figura 1).

3.5.3.7. Contenido de vitamina C

El contenido de vitamina C se midió de acuerdo a la metodología descrita por Burgos *et al.* (2009, p. 534). Se elaboró una curva estándar de ácido ascórbico a partir de una solución stock diluyendo 100 mg de ácido ascórbico en 100 mL de solución extractante (4 g de ácido oxálico y 200 mL de acetona en 800 mL de agua destilada a pH 1,1) en una fiola protegida de la luz. A partir de la solución stock se prepararon soluciones estándares con concentraciones de 0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Adicionalmente se preparó una solución stock de 2,6 dicloroindofenol (DCIP) diluyendo 100 mg de 2,6 DCIP en 100 mL de agua a 40 °C con un agitador magnético, se agregó 84 mg de bicarbonato de sodio y se siguió agitando. Posteriormente se transfirió la solución a una fiola protegida de la luz y se enrasó con 500 mL de agua destilada. Finalmente se preparó una solución diluyendo 1 mL de la solución stock de 2,6 DCIP en 13 mL de agua destilada.

Para la determinación de la curva estándar se transfirió 1 mL de cada solución (0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) y 9 mL de la solución diluida 2,6 DCIP en un tubo de ensayo, se esperó 1 minuto, se agitó en un vortex y se leyó la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro UV-visible marca Evolution modelo 201. Adicionalmente se preparó un blanco de reactivo colocando 1 mL de solución extractante y 9 mL de la solución diluida 2,6 DCIP en un tubo de ensayo, se esperó un minuto y se leyó la absorbancia a 520 nm en el espectrofotómetro, además se preparó un blanco estándar colocando 1 mL de cada solución estándar y 9 mL de agua destilada en un tubo de ensayo y se leyó la absorbancia a 520 nm en el espectrofotómetro. A continuación se muestra la curva estándar utilizada para la determinación de la concentración de vitamina C:

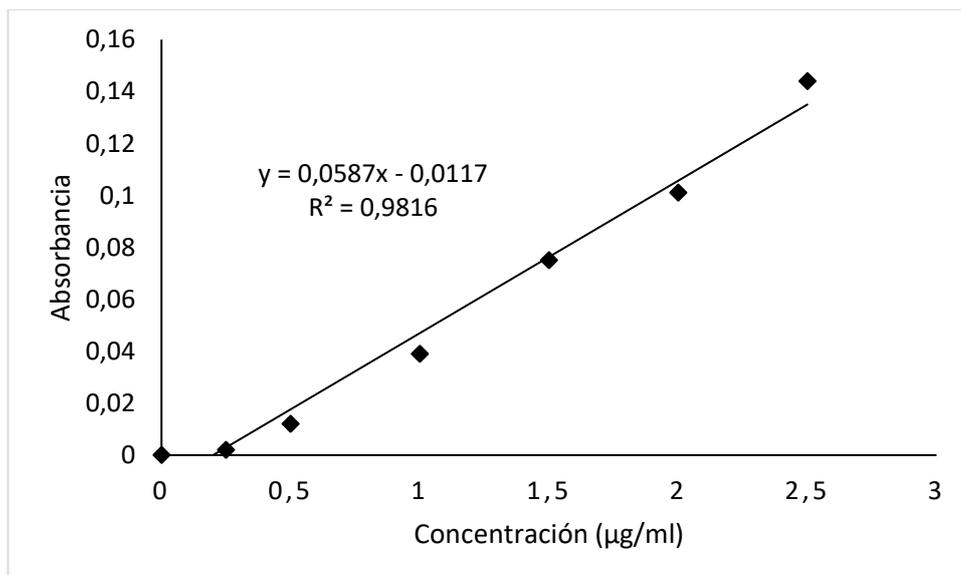


Figura 2. Curva estándar de ácido ascórbico utilizada para la determinación de vitamina C. Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Para la determinación de la vitamina C se mezcló 1 g de microencapsulado con 38 mL de solución extractante utilizando agitación magnética, luego se filtró el extracto en una fiola protegida de la luz y se enrasó a 50 mL con solución extractante. La determinación de las absorbancias en el espectrofotómetro UV-visible marca Evolution modelo 201 se realizaron siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la determinación de la curva estándar de ácido ascórbico. El cálculo de la concentración de vitamina C ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) se expresó en base seca y se utilizó la fórmula obtenida de la curva estándar (figura 2).

3.5.3.8. pH, sólidos solubles y acidez titulable

Para cada combinación se pesó 1 g de microencapsulado y se lo diluyó en 10 mL de agua destilada utilizando un agitador magnético y se realizaron mediciones por triplicado. El pH se evaluó de acuerdo con la metodología AOAC 981.12 (AOAC, 2019), para lo cual se tomaron lecturas en un medidor de pH marca inoLab modelo WTW. El contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) se evaluó siguiendo la metodología AOAC 932.12 (AOAC, 2019), a través de mediciones de la solución en un refractómetro marca Atago. La acidez titulable se midió de acuerdo a lo descrito por la metodología AOAC 942.15 (AOAC, 2019), para lo cual se añadieron dos gotas de fenolftaleína a las soluciones, posteriormente se tituló con una solución de NaOH 0,1 N, el punto final de la titulación se tomó a partir del

cambio de color de rojo a violeta. Los resultados se obtuvieron aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{V \times N \times K}{P} \times 100$$

Dónde: V= Volumen de NaOH consumido; P= Peso de la muestra; K= Peso equivalente del ácido cítrico (0,06404 g·meq⁻¹) y N= Normalidad del NaOH.

3.5.3.9. Solubilidad

La solubilidad se determinó de acuerdo a lo descrito por Arrazola *et al.* (2014, p. 33), mediante la determinación del contenido de sólidos totales y sólidos solubles, para lo cual se mezcló 1 g de microencapsulado con 25 mL de agua destilada. Para la determinación de los sólidos totales se tomaron 10 mL, que se vertieron en una caja petri, se registró el peso en una balanza analítica, luego se colocó la caja petri en una estufa a 105 °C por 24 horas para obtener el peso seco. Para la determinación de los sólidos solubles se tomaron los 15 mL restantes y se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 min, luego se filtró el sobrenadante con papel filtro y el filtrado se pesó y colocó en una caja petri, la cual se colocó en una estufa a 105 °C durante 24 horas para obtener el peso seco. Finalmente la solubilidad se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$S (\%) = \frac{m_{1s}/m_{1r}}{m_{2s}/m_{2r}} \times 100$$

Siendo:

S (%): solubilidad del jugo microencapsulado; m_{1s} : masa de la solución de sólidos totales luego de la estufa; m_{1r} : masa de la solución de sólidos totales antes de la estufa; m_{2s} : masa de la solución de sólidos solubles luego de la estufa; m_{2r} : masa de la solución de sólidos solubles antes de la estufa

3.5.3.10. Test de disolución

Para la medición de esta variable se mezcló 1 g de microencapsulado con 25 mL de agua destilada utilizando un agitador magnético y con un cronómetro se midió el tiempo que tardó en disolverse el polvo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización fisicoquímica del jugo de mandarina

Se realizó la caracterización de las mandarinas y del jugo extraído. En la Tabla 4, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de la fruta y jugo de mandarina

Parámetro	Promedio ± D.E.
pH del jugo	2,83 ± 0,017
Sólidos solubles (°Brix)	11,33 ± 0,289
Acidez titulable (% Ácido cítrico)	0,646 ± 0,002
Actividad antioxidante ($\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$)	6290,411 ± 148,779
Vitamina C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	20,284 ± 0,891
Densidad relativa ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,05 ± 0
Sólidos totales (%)	11,114 ± 0,084
Humedad (%)	88,886 ± 0,084
Peso mandarina (g)	121,861 ± 13,018
Peso cáscara (g)	25,884 ± 2,207
Diámetro mayor fruto (mm)	71,158 ± 2,133
Diámetro menor fruto (mm)	57,094 ± 2,526
Diámetro mayor hesperidios (mm)	46,914 ± 2,430
Diámetro menor hesperidios (mm)	24,197 ± 1,265

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Tabla 5. Color de los hesperidios, cáscara y jugo de mandarina

Parámetro	Color jugo Promedio ± D.E.	Color cáscara Promedio ± D.E.	Color hesperidios Promedio ± D.E.
L	36,305 ± 1,501	97,943 ± 3,080	59,749 ± 2,405
C	8,67 ± 0,851	66,941 ± 1,633	17,882 ± 1,668
H	82,746 ± 1,250	66,926 ± 1,551	90,827 ± 1,526

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

4.2. Caracterización fisicoquímica del jugo microencapsulado

4.2.1. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el color

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. No se observó un efecto significativo de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre los componentes de color (L, C, H) ($p_{LA}=0,0809$; $p_{LB}=0,4675$; $p_{LC}=0,0775$), ($p_{CA}=0,1992$; $p_{CB}=0,4338$; $p_{CC}=0,2291$), ($p_{HA}=0,4201$; $p_{HB}=0,8615$; $p_{HC}=0,4237$). Además, el efecto de las variables independientes sobre el color (L, C, H) no se ajustó a un modelo lineal ($p_L=0,1019$, $p_C=0,1992$, $p_H=0,3297$). Con lo antes mencionado, se concluye que la temperatura de secado, concentración de maltodextrina y flujo de alimentación no influyen en el cambio de los componentes del color (L, C, H).

4.2.2. Efecto de la concentración de maltodextrina (A), temperatura de secado (B) y flujo de alimentación (C) sobre el contenido de humedad y actividad de agua

Para el contenido de humedad, los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de las variables lineales (A, B) sobre el contenido de humedad ($p_A=0,0165$; $p_B<0,0001$). El efecto de las variables independientes sobre el contenido de humedad se ajustó a un modelo lineal ($p<0,0001$). La ecuación obtenida para el contenido de humedad, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_1=5,69-0,68A-1,67B$$

Dónde: Y_1 : Contenido de humedad, A: Temperatura de secado, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de las variables independientes sobre el contenido de humedad se muestran en las figuras 3 y 4. La figura 3 muestra que el contenido de humedad disminuyó (3,134%) con el incremento de la temperatura de secado (155 °C) y de la concentración de maltodextrina (8,28%). Por otro lado, como se muestra en la figura 4, se observó que el contenido de humedad aumentó (8,669%) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C) y la concentración de maltodextrina (3%).

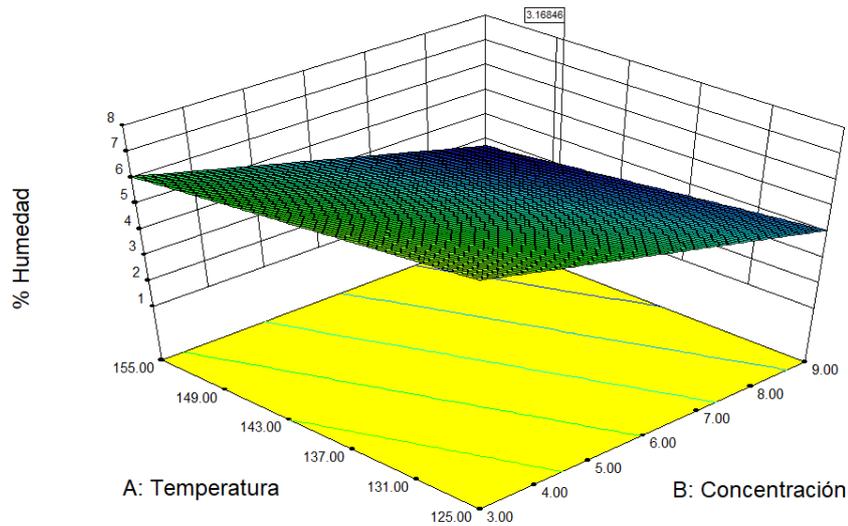


Figura 3. Superficie de respuesta del menor contenido de humedad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

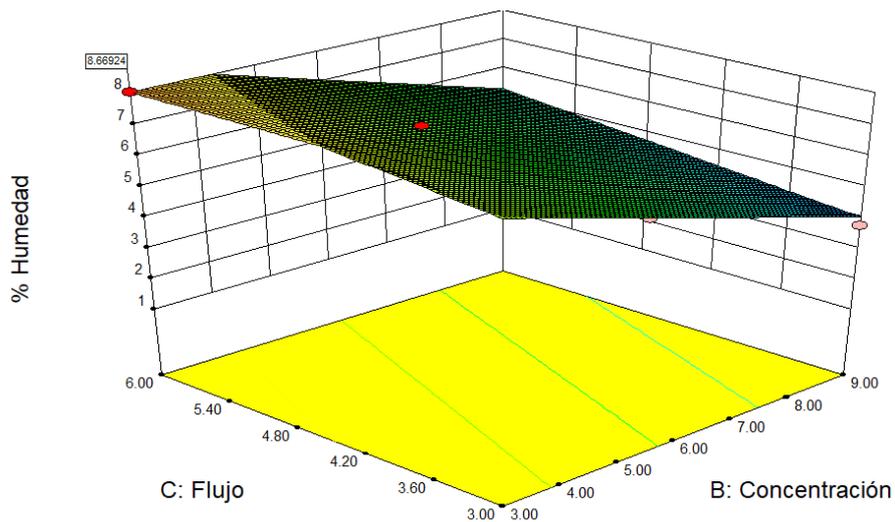


Figura 4. Superficie de respuesta del mayor contenido de humedad en función del flujo de alimentación y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Para la actividad de agua, los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de las variables lineales, temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la actividad de agua ($p_A=0,0008$; $p_B=0,0074$; $p_C < 0,0001$). Además, se observó un efecto significativo de la interacción de dos variables (AC) y de una variable cuadrática (C^2) sobre la actividad de agua ($p_{AC}=0,0073$; $p_{C^2}=0,0185$). El efecto de las variables independientes sobre la actividad de agua se ajustó a un modelo cuadrático ($p=0,0001$). La ecuación obtenida para la actividad de agua, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_2=0,20-0,018A-0,013B+0,029C-0,017AC+0,018C^2$$

Dónde: Y_2 : Actividad de agua, A: Temperatura de secado, B: Concentración de maltodextrina, C: Flujo de alimentación.

Los efectos de las variables independientes sobre la actividad de agua se muestran en las figuras 5 y 6. La figura 5 muestra que la actividad de agua disminuyó (0,177) con la reducción de la temperatura de secado (125 °C), el flujo de alimentación (3 mL·min⁻¹) y el aumento de la concentración de maltodextrina (9%). Por otro lado, como se muestra en la figura 6, se observó que la actividad de agua se incrementó (0,290) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C), la concentración de maltodextrina (3%)—y con el aumento del flujo de alimentación (6 mL·min⁻¹).

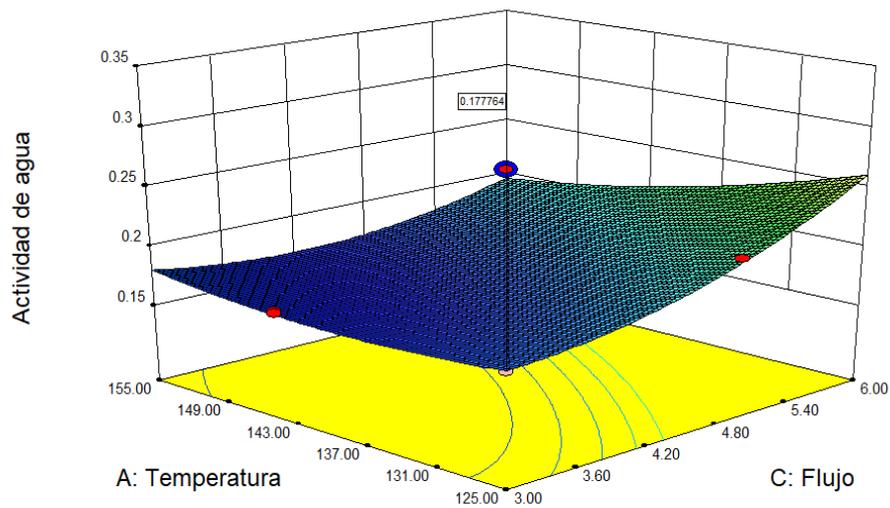


Figura 5. Superficie de respuesta de la menor actividad de agua en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y flujo de alimentación ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

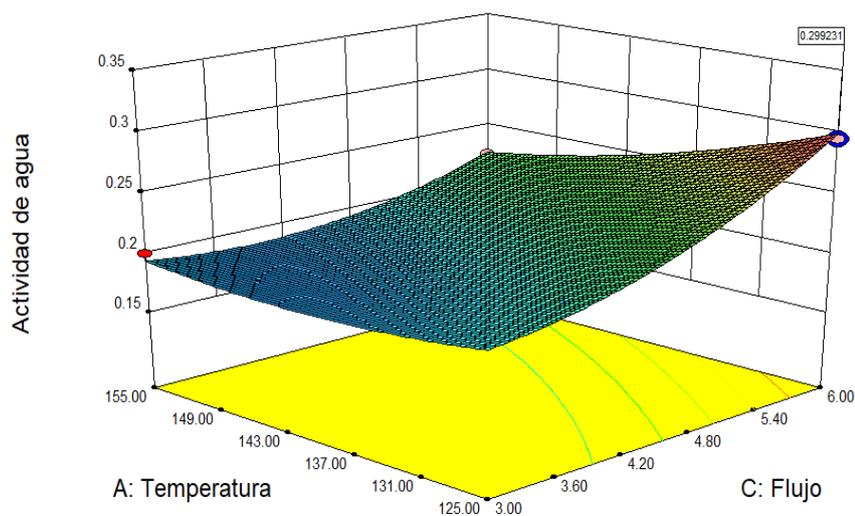


Figura 6. Superficie de respuesta de la mayor actividad de agua en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y flujo de alimentación ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

El contenido de humedad y la actividad de agua son variables relacionadas ya que representan el contenido de agua en un alimento e influyen en su vida útil. La actividad de agua representa el agua disponible para reacciones bioquímicas y crecimiento bacteriano del alimento (da Silva *et al.*, 2016, p. 421). Debido a lo antes mencionado, los polvos secados por aspersión deben presentar una actividad de agua menor a 0,3 para ser considerados microbiológicamente seguros (Favaro

et al., 2010, p. 336). En este estudio todas las combinaciones evaluadas presentaron valores de actividad de agua menores a 0,3 y se mantuvieron en un rango de 0,167 – 0,295. Diversos factores pueden afectar al porcentaje de humedad y actividad de agua de los polvos secados por aspersion, y uno de los más relevantes es la temperatura de secado, debido a que su disminución o incremento influye directamente en el contenido de agua de la solución a encapsular, pues a mayor temperatura existe mayor evaporación de agua (Moura *et al.*, 2022, p. 3). Otro factor importante es la concentración de maltodextrina, ya que es un material que reduce la higroscopicidad de los azúcares de los jugos de frutas en polvo, lo cual reduce la capacidad del polvo de absorber humedad del ambiente y por lo tanto a medida que aumenta la concentración de maltodextrina, el contenido de agua tiende a disminuir (Morais *et al.*, 2020, p. 1832). De manera similar, el flujo de alimentación es otro factor influyente ya que su disminución o incremento influye sobre el agua libre disponible para la evaporación y disminución del contenido de humedad de los polvos (Fazaeli *et al.*, 2012, p. 667).

Lo anterior mencionado se evidenció en este estudio ya que la mínima actividad de agua (0,177) se obtuvo cuando disminuyó la temperatura de secado (125 °C) y flujo de alimentación (3 mL·min⁻¹) y aumentó la concentración de maltodextrina (9%). De manera similar, el mínimo porcentaje de humedad (3,134%) se obtuvo cuando incrementó la temperatura de secado (155 °C) y la concentración de maltodextrina (8,28%). Estos resultados se corroboran con el estudio de Moura *et al.* (2022, p. 3), quienes evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (90 – 190 °C), concentración de maltodextrina (10 – 30%) y flujo de alimentación (3,33 a 16,66 mL·min⁻¹) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de mombín amarillo secado por aspersion y reportaron que los polvos presentaron menor actividad de agua (0,09) y contenido de humedad (2,39%) a medida que incrementó la temperatura de secado (190 °C), la concentración de maltodextrina (20%) y disminuyó el flujo de alimentación (10 mL·min⁻¹). Ghalegi *et al.*, (2021, p. 1945), obtuvieron resultados similares en un estudio en el que evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (124 y 143 °C) y concentración de maltodextrina (25, 35 y 45%) sobre las propiedades fisicoquímicas del jugo de granada secado por aspersion y concluyeron que el incremento de la

concentración de maltodextrina (45%) disminuyó el contenido de humedad del polvo (3%).

4.2.3. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la higroscopicidad

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de las variables lineales (A, B) sobre la higroscopicidad ($p_A=0,0270$; $p_B<0,0001$). El efecto de las variables independientes sobre la higroscopicidad se ajustó a un modelo lineal ($p<0,0001$). La ecuación obtenida para la higroscopicidad, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_3=21,23-2,77A-7,27B$$

Dónde: Y_3 : Higroscopicidad, A: Temperatura de secado, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de las variables independientes sobre la higroscopicidad se muestran en las figuras 7 y 8. La figura 7 muestra que la higroscopicidad disminuyó (16,437%) a medida que se redujo la temperatura de secado (125 °C) e incrementó la concentración de maltodextrina (9%). Por otro lado, como se muestra en la figura 8, se observó que la higroscopicidad aumentó (31,566%) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C) y de la concentración de maltodextrina (3%).

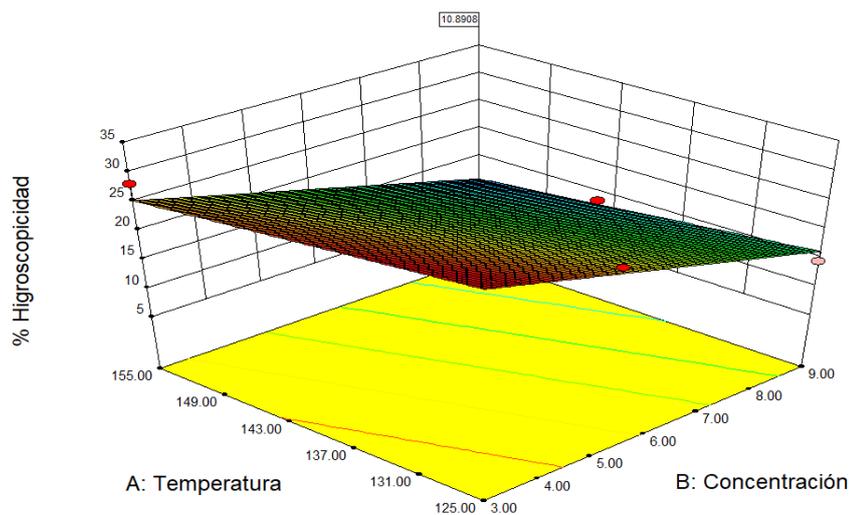


Figura 7. Superficie de respuesta del menor porcentaje de higroscopicidad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%).
Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

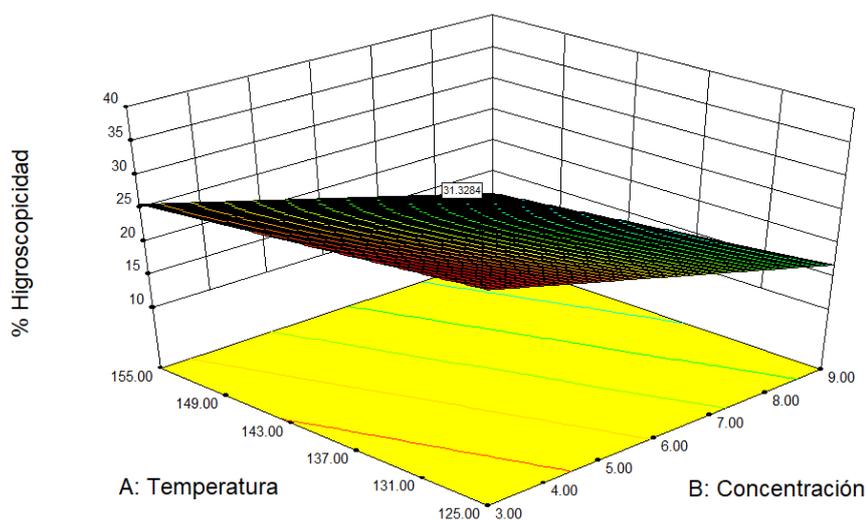


Figura 8. Superficie de respuesta del mayor porcentaje de higroscopicidad en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%).
Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

La higroscopicidad es una propiedad importante que influye sobre la estabilidad de los polvos microencapsulados debido a que representa su capacidad de adsorción de humedad ambiental. Existen diversos factores que influyen sobre la higroscopicidad de los polvos microencapsulados, siendo la temperatura de secado uno relevante, debido a que esta influye sobre el tamaño de las partículas, pues a medida que se incrementa la temperatura, el tamaño de la partícula se reduce, pero incrementa su área expuesta (Daza *et al.*, 2016, p. 24). Otro factor importante es la concentración de maltodextrina, ya que al ser un material de bajo

grado de hidrólisis posee pocos grupos hidrofílicos, lo cual hace que presente menor capacidad de adsorción de la humedad ambiental (Cai y Corke, 2006, p. 1248).

Lo antes mencionado se observó en este estudio, ya que el mínimo valor de higroscopicidad (16,437%) se obtuvo con una temperatura de secado de 125 °C y una concentración de maltodextrina de 9%. Resultados similares fueron obtenidos por da Silva *et al.* (2016, p. 424), quienes evaluaron el efecto del material encapsulante (maltodextrina, goma arábica y una combinación de ambas) sobre las propiedades físicas y morfológicas de antocianinas de palmito secado por aspersion y obtuvieron polvos menos higroscópicos (12,12%) usando maltodextrina. De manera similar, Moura *et al.* (2022, p. 3), evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (90 – 190 °C), concentración de maltodextrina (10 – 30%) y flujo de alimentación (3,33 a 16,66 mL·min⁻¹) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de mombín amarillo secado por aspersion y obtuvieron polvos menos higroscópicos (12,99%) al usar una temperatura de entrada de 110 °C y 26% de maltodextrina. Estos resultados coinciden con el estudio de Souza *et al.* (2020, p. 230), quienes concluyeron que a medida que se incrementa la concentración de maltodextrina se reduce la higroscopicidad del polvo.

4.2.4. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el rendimiento

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de la temperatura de secado (A), y la concentración de maltodextrina (B) sobre el rendimiento ($p_A=0,0087$; $p_B<0,0001$). Además, se observó un efecto significativo de una variable cuadrática (C^2) sobre el rendimiento ($p_{C^2}=0,0372$). El efecto de las variables independientes sobre el rendimiento se ajustó a un modelo cuadrático ($p<0,0001$). La ecuación obtenida para el rendimiento, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_4=63,34-3,56A+10,93B-4,57C^2$$

Dónde: Y₄: Rendimiento, A: Temperatura de secado, B: Concentración de maltodextrina, C: Flujo de alimentación.

Los efectos de las variables independientes sobre el rendimiento se muestran en las figuras 9 y 10. La figura 9 muestra que el rendimiento disminuyó (42,654%) a medida que se incrementó la temperatura de secado (155 °C) y bajó la concentración de maltodextrina (3%). Por otro lado, como se muestra en la figura 10, se observó que el rendimiento aumentó (78,328%) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C) y el incremento de la concentración de maltodextrina (8,92%).

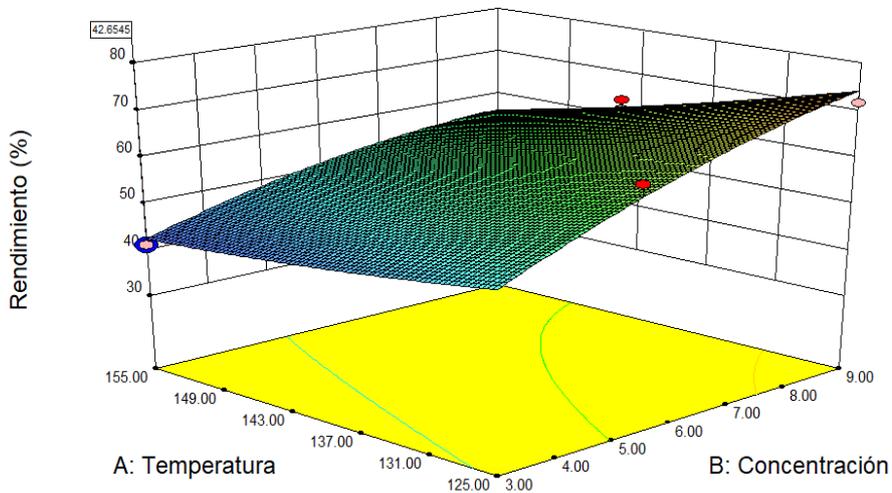


Figura 9. Superficie de respuesta del menor rendimiento en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

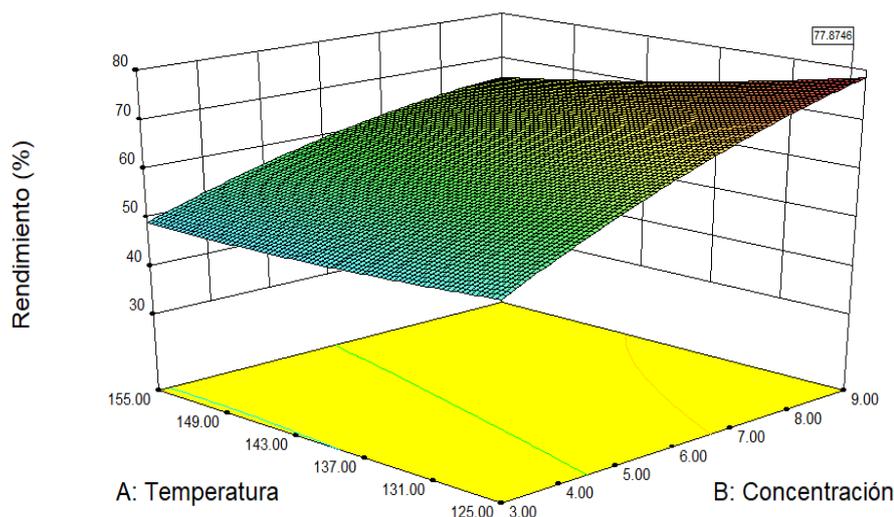


Figura 10. Superficie de respuesta del mayor rendimiento en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Existen diferentes factores que influyen sobre el rendimiento de los polvos microencapsulados, siendo la temperatura de secado uno importante, debido a su efecto sobre el contenido de humedad final del polvo, lo cual se relaciona con el peso del mismo (Ramakrishnan *et al.*, 2018, p. 409). Otro factor relevante es la concentración de maltodextrina, ya que su nivel de incorporación influye en el peso final del polvo y además, por ser un material de baja viscosidad evita que las gotas que se adhieren a la cámara de secado formen un anillo que impida el paso de la solución (Murugesan y Orsat, 2011, p. 1729). En este estudio se obtuvo el mayor rendimiento (78,328%) con una temperatura de secado de 125 $^{\circ}\text{C}$ y 8,92% de maltodextrina. De manera similar, Arrazola *et al.* (2014, p. 39), evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (170 y 180 $^{\circ}\text{C}$) y de la concentración de maltodextrina (15, 20 y 30%) sobre las propiedades fisicoquímicas de microcápsulas de antocianinas de berenjena secadas por aspersion y obtuvieron el mayor rendimiento (90,74%) con una temperatura de secado de 180 $^{\circ}\text{C}$ y 30% de maltodextrina. En otro estudio, Castañón *et al.* (2020, p. 200), obtuvieron resultados similares al evaluar el efecto de la temperatura de entrada (120, 140 y 160 $^{\circ}\text{C}$), concentración de maltodextrina (3, 5 y 7%) y flujo de alimentación (10, 12 y 14 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de naranja secado por aspersion y encontraron el mayor rendimiento (63,68%) con una temperatura de entrada de 160 $^{\circ}\text{C}$ y 7% de maltodextrina.

4.2.5. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la actividad antioxidante

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de la concentración del material encapsulante (B) sobre la actividad antioxidante ($p_B=0,0014$). El efecto de las variables independientes sobre la actividad antioxidante se ajustó a un modelo lineal ($p=0,0053$). La ecuación obtenida para la actividad antioxidante, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_s=5958,12-1088,62B$$

Dónde: Y_s : Actividad antioxidante, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de la concentración del material encapsulante sobre la actividad antioxidante se muestran en las figuras 11 y 12. La figura 11 muestra que la actividad antioxidante disminuyó ($4202,14 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) a medida que incrementó la concentración de maltodextrina (9%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación. Por otro lado, como se muestra en la figura 12, se observó que la actividad antioxidante aumentó ($7754,13 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) con la disminución de la concentración de maltodextrina (3%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación.

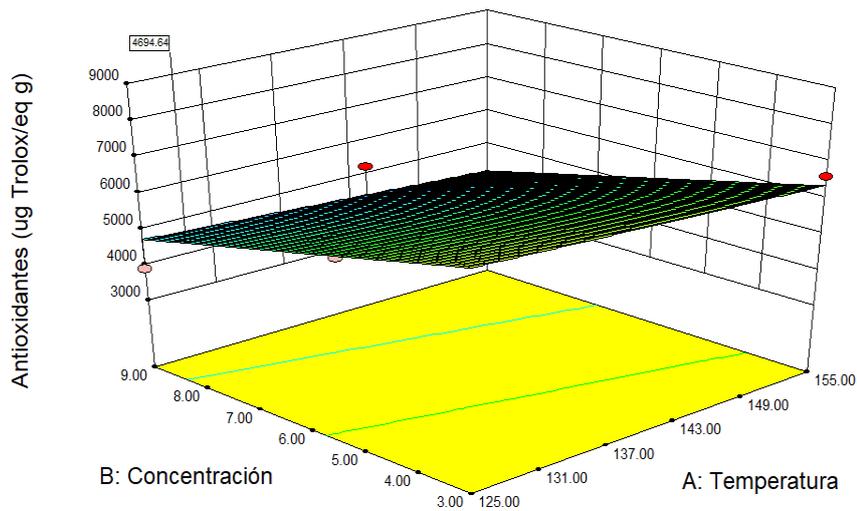


Figura 11. Superficie de respuesta de la menor actividad antioxidante en función de la concentración de maltodextrina (%) y la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

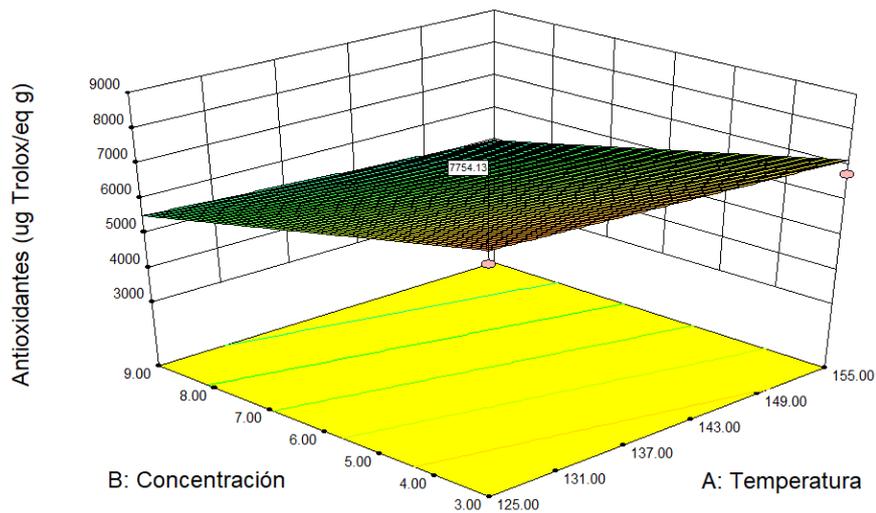


Figura 12. Superficie de respuesta de la mayor actividad antioxidante en función de la concentración de maltodextrina (%) y la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Diversos factores influyen sobre la actividad antioxidante de los polvos microencapsulados, siendo la concentración de maltodextrina un factor importante, debido a que este material contiene una gran proporción de sacáridos de cadena larga, y dependiendo de la dosis, puede influir en el agrietamiento de la superficie de la micropartícula (Nayak y Rastogi, 2010, p. 1396). En este estudio se observó que el mayor valor de actividad antioxidante ($7754,13 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) se obtuvo al usar 3% de maltodextrina. Resultados similares fueron obtenidos por Ferrari *et al.* (2012, p. 158), quienes evaluaron el efecto de la temperatura de

entrada (140-180 °C) y concentración de maltodextrina (5-25%) sobre las propiedades fisicoquímicas de jugo de mora secado por aspersion y encontraron la mayor retención de antioxidantes (80%) al usar 5% de maltodextrina y concluyeron que un incremento en la concentración de maltodextrina puede diluir estos compuestos bioactivos y afectar la calidad del polvo. Arrazola *et al.* (2014, p. 39), obtuvieron resultados similares al evaluar el efecto de la temperatura de entrada (170 y 180 °C) y de la concentración de maltodextrina (15, 20 y 30%) sobre las propiedades fisicoquímicas de microcápsulas de antocianinas de berenjena secadas por aspersion, ya que obtuvieron la mayor actividad antioxidante (252,8 µg Trolox·eq g⁻¹) al usar 15% de maltodextrina. De manera similar, Araujo *et al.* (2020, p. 5), evaluaron el efecto del material de pared (goma arábica, maltodextrina y mezcla de los dos encapsulantes) y una temperatura fija de 140 °C sobre la capacidad antioxidante de jugo de sapote secado por aspersion y encontraron que el mayor valor de actividad antioxidante (834,11 µg Trolox·eq g⁻¹) se obtuvo al usar maltodextrina.

4.2.6. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el contenido de vitamina C

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de la concentración de maltodextrina ($p_B=0,0004$) y de una variable cuadrática (B^2) ($p_{B^2}=0,0074$) sobre el contenido de vitamina C. El efecto de las variables independientes sobre el contenido de vitamina C se ajustó a un modelo cuadrático ($p=0,0063$). La ecuación obtenida para el contenido de vitamina C, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_6=18,30-2,61B-2,90B^2$$

Dónde: Y_6 : Contenido de vitamina C, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de las variables independientes sobre el contenido de vitamina C se muestran en las figuras 13 y 14. La figura 13 muestra que el contenido de

vitamina C disminuyó ($9,875 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) con el incremento de la concentración de maltodextrina (9%). Por otro lado, como se muestra en la figura 14, se observó que el contenido de vitamina C aumentó ($21,023 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) con la disminución de la concentración de maltodextrina (4,14%).

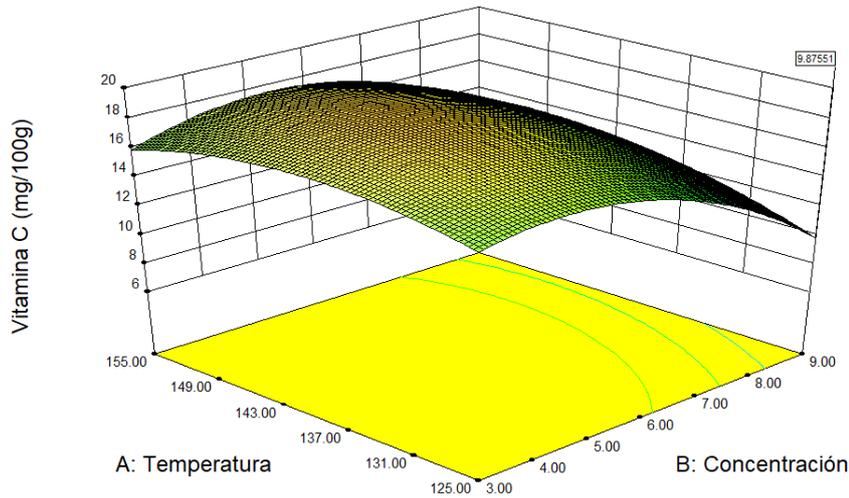


Figura 13. Superficie de respuesta del menor contenido de vitamina C en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

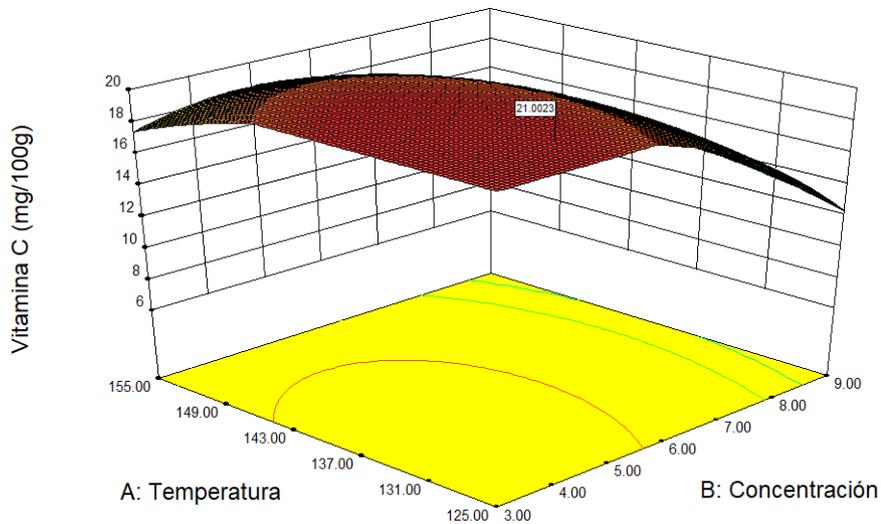


Figura 14. Superficie de respuesta del mayor contenido de vitamina C en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Diversos factores afectan al contenido de vitamina C de los polvos microencapsulados, pero uno de los más importantes es la concentración de maltodextrina, debido a que al ser un material que en su estructura posee sacáridos

de cadena larga, su dosis en la solución a encapsular puede influir en el agrietamiento de las micropartículas y a medida que aumente su concentración tiende a diluir compuestos bioactivos como el ácido ascórbico (Ferrari *et al.*, 2012, p. 158; Nayak y Rastogi, 2010, p. 1396). Lo antes mencionado coincide con los resultados de este estudio, ya que se obtuvo el mayor contenido de vitamina C (21,023 mg·100g⁻¹) al usar 4,14% de maltodextrina. Resultados similares fueron obtenidos por Aragüez *et al.* (2017, p. 29), quienes evaluaron el efecto de la temperatura de entrada (130-170 °C) y la concentración de maltodextrina (60-75%) sobre la optimización de la microencapsulación de jugo concentrado de naranja secado por aspersión y encontraron que con una concentración de 67,5% de maltodextrina, la retención de vitamina C en el polvo fue la mayor (89,6%).

4.2.7. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre los sólidos solubles y la acidez titulable

Para los sólidos solubles, los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de la concentración del material encapsulante (B) sobre los sólidos solubles (pB=0,0013). El efecto de las variables independientes sobre la capacidad antioxidante se ajustó a un modelo lineal (p=0,0066). La ecuación obtenida para los sólidos solubles, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_7=9,39+0,39B$$

Dónde: Y₇: Sólidos solubles, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de la concentración del material encapsulante sobre los sólidos solubles se muestran en las figuras 15 y 16. La figura 15 muestra que los sólidos solubles disminuyeron (8,762 °Brix) a medida que se redujo la concentración de maltodextrina (3%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación. Por otro lado, como se muestra en la figura 16, se observó que los sólidos solubles aumentaron (10,005 °Brix) con el incremento de la concentración

de maltodextrina (9%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación.

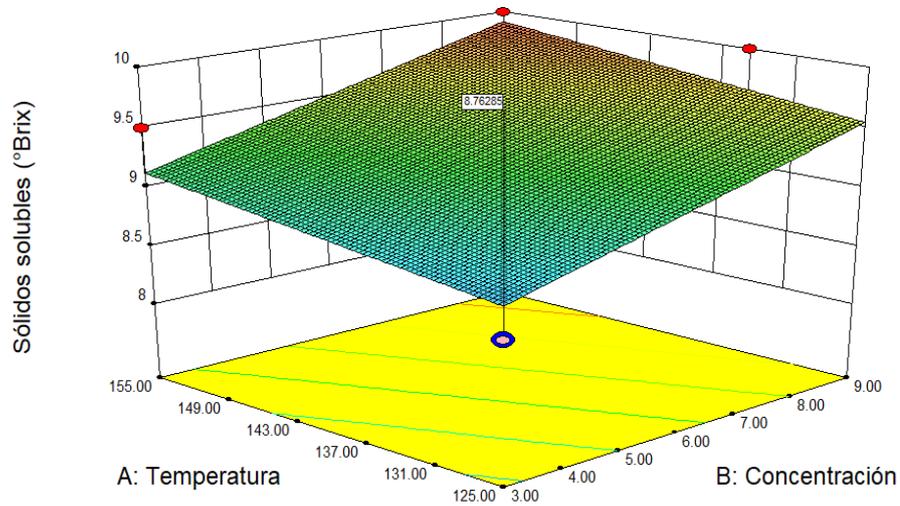


Figura 15. Superficie de respuesta del menor contenido de sólidos solubles en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

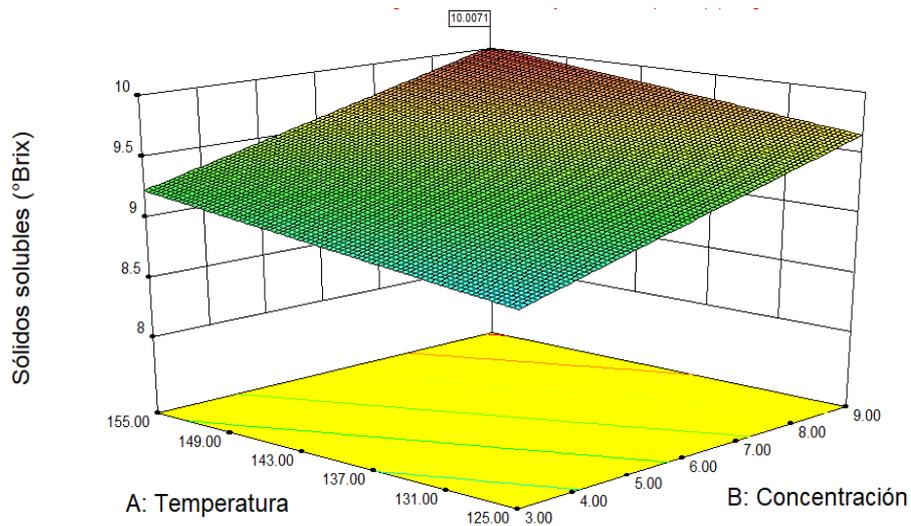


Figura 16. Superficie de respuesta del mayor contenido de sólidos solubles en función de la temperatura de secado (°C) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Para la acidez titulable, los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. Se observó un efecto significativo de la concentración del material encapsulante (B) sobre la acidez titulable

($p < 0,0001$). El efecto de las variables independientes sobre la acidez titulable se ajustó a un modelo lineal ($p = 0,0003$). La ecuación obtenida para la acidez titulable, descartando los términos no significativos se muestra a continuación:

$$Y_8 = 0,33 - 0,053B$$

Dónde: Y_8 : Acidez titulable, B: Concentración de maltodextrina.

Los efectos de la concentración del material encapsulante sobre la acidez titulable se muestran en las figuras 17 y 18. La figura 17 muestra que la acidez titulable disminuyó (0,271%) con el incremento de la concentración de maltodextrina (9%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación. Por otro lado, como se muestra en la figura 18, se observó que la acidez titulable aumentó (0,391%) con la disminución de la concentración de maltodextrina (3%) y es independiente de la temperatura de secado y flujo de alimentación.

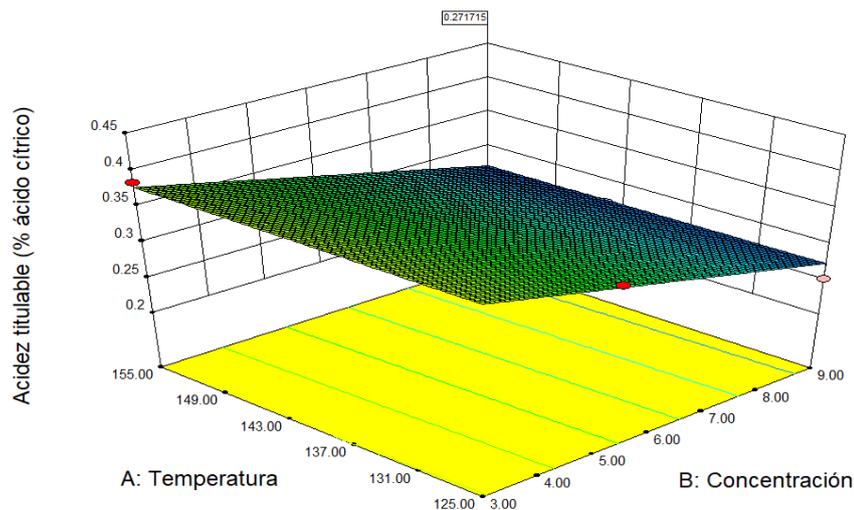


Figura 17. Superficie de respuesta del menor porcentaje de acidez titulable en función de la temperatura de secado ($^{\circ}C$) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

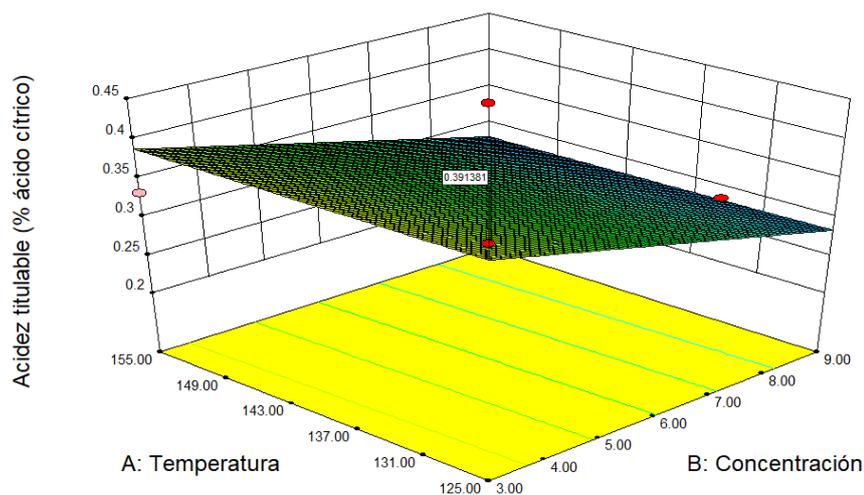


Figura 18. Superficie de respuesta del mayor porcentaje de acidez titulable en función de la temperatura de secado ($^{\circ}\text{C}$) y la concentración de maltodextrina (%). Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

Existen diferentes factores que influyen sobre el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable de los polvos microencapsulados, siendo uno de los más importantes la concentración de maltodextrina, ya que es un polisacárido formado por varios oligómeros de glucosa que presenta 8,8 $^{\circ}\text{Brix}$ de concentración de sólidos solubles (Castro *et al.*, 2016, p. 464). En el presente estudio se observó que el máximo valor de sólidos solubles (10,005 $^{\circ}\text{Brix}$) se obtuvo con una concentración de 9% de maltodextrina, mientras que el mínimo valor de acidez titulable (0,271%) se obtuvo con 9% de maltodextrina. Estos resultados pueden explicarse debido a que al incrementar la concentración de maltodextrina en la solución de jugo a encapsular, su contenido aumenta por efecto de la adición de sólidos solubles, mientras que el porcentaje de acidez titulable disminuye y esto se debe a que existe una relación inversa entre estas variables, es decir, que a medida que se incrementan los sólidos solubles, la acidez tiende a disminuir (Zhang *et al.*, 2020, p. 1).

4.2.8. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre el pH

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. No se observó un efecto significativo de las variables lineales (A,

B, C) ($p_A=0,4046$; $p_B=0,8841$; $p_C=7354$) y de la interacción de dos variables ($p_{AB}=0,4665$, $p_{AC}=0,1240$, $p_{BC}=0,1512$) sobre el pH, pero, se observó un efecto significativo de una variable cuadrática (C^2) ($p_{C^2}=0,0405$) sobre el pH. Sin embargo, el efecto de las variables independientes sobre el pH no se ajustó a un modelo cuadrático ($p=0,3640$). Con lo antes mencionado, se concluye que la temperatura de secado, concentración de maltodextrina y flujo de alimentación no influyen en el aumento o disminución del pH, sin embargo, las diferencias en los valores obtenidos pueden estar relacionados con el incremento o aumento de la acidez titulable (% ácido cítrico).

4.2.9. Efecto de la temperatura de secado (A), concentración de maltodextrina (B) y flujo de alimentación (C) sobre la solubilidad y test de disolución

Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de regresión múltiple y se usaron los coeficientes del modelo para los niveles de significancia. En la tabla 7, se observan los efectos lineales, de interacción y cuadráticos de cada variable independiente. No se observó un efecto significativo de las variables lineales (A, B, C), de la interacción de dos variables (AB, AC, BC) y de las variables cuadráticas (A^2 , B^2 , C^2) sobre la solubilidad y test de disolución. Con lo antes mencionado, se concluye que la temperatura de secado, concentración de maltodextrina y flujo de alimentación no influyen en el aumento o incremento de la solubilidad y test de disolución.

4.2.10. Optimización de la microencapsulación del jugo de mandarina

Como se observa en la tabla 6, las condiciones óptimas para maximizar el rendimiento de microencapsulación (62,173 %), actividad antioxidante ($6252,27 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C ($19,941 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) fueron $125 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de entrada, 5,07% de concentración de maltodextrina y $3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de flujo de alimentación. Aplicando los niveles óptimos de los factores en estudio, se obtuvieron valores similares como sigue: 62,157 % de rendimiento, $6251,572 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ de actividad antioxidante y $19,767 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de contenido de vitamina C. No se observó diferencias significativas entre la actividad antioxidante del jugo de mandarina en estado fresco ($6290,411 \pm 148,779 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y del microencapsulado obtenido aplicando las

condiciones óptimas ($6251,572 \pm 126,167 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) ($t = 0,336$; $p>0,05$). Igual sucedió con el contenido de vitamina C del jugo de mandarina en estado fresco ($20,284 \pm 0,891 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) y del microencapsulado ($19,767 \pm 0,411 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) ($t = 0,911$; $p>0,05$). Con base a los resultados mencionados se concluyó que la microencapsulación no afectó la actividad antioxidante y contenido de vitamina C del jugo de mandarina, lo que significa que es un método apropiado para la conservación de nutrientes y compuestos bioactivos.

Tabla 6. Rendimiento, capacidad antioxidante y contenido de vitamina C del jugo de mandarina, aplicando condiciones óptimas de microencapsulación

Variables de respuesta	Rendimiento (%)	Actividad antioxidante ($\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$)	Contenido de vitamina C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)
Valor predictivo (software)	62,173	6252,270	19,941
Valor real	62,157	6251,572	19,767

Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

A continuación se muestra la gráfica de superficie de respuesta para la optimización de la microencapsulación en función del rendimiento, actividad antioxidante y contenido de vitamina C.

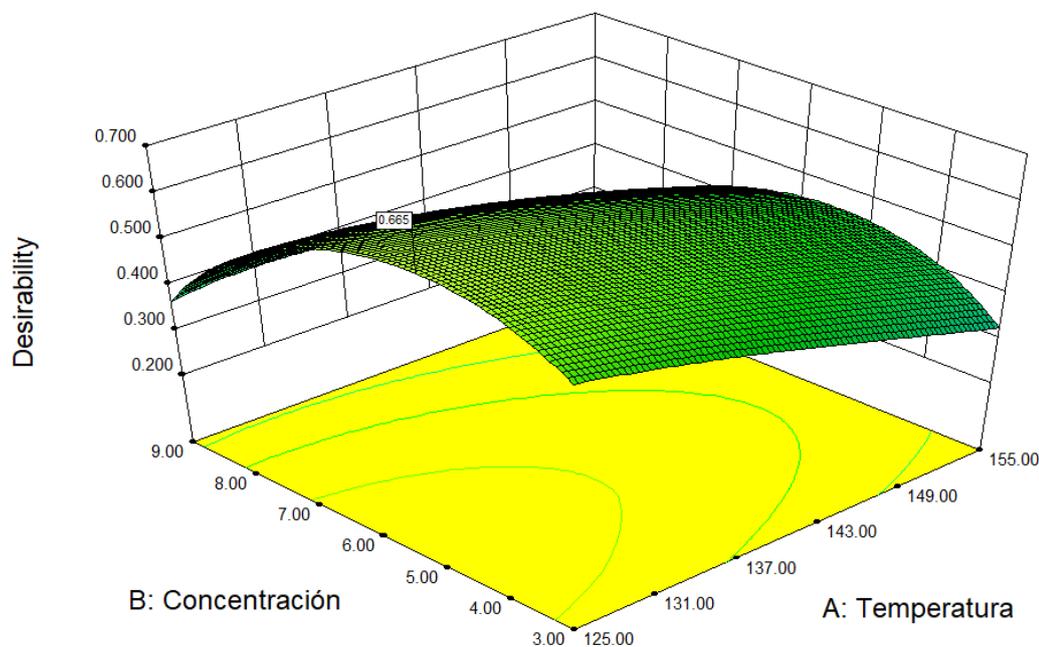


Figura 19. Superficie de respuesta de la optimización de la microencapsulación en función al rendimiento, actividad antioxidante y contenido de vitamina C.
Fuente: Elaborado por Jaime Encalada

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se caracterizó el jugo de mandarina en estado fresco y se obtuvieron valores de 2,830 de pH, 11,330 °Brix, 0,646 % ácido cítrico, 6290,411 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ de actividad antioxidante, 20,284 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de vitamina C, 11,114 % de sólidos totales y 80,886% de humedad.

Se encontró que el contenido de humedad se minimizó (3,134%) con el incremento de la temperatura de secado (155 °C) y la concentración de maltodextrina (8,28%). La actividad de agua se minimizó (0,177) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C) y el flujo de alimentación (3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$) e incremento de la concentración de maltodextrina (9%). La higroscopicidad se minimizó (16,437%) con la disminución de la temperatura de secado (125 °C) y el incremento de la concentración de maltodextrina (9%). La actividad antioxidante (7754,13 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C (21,023 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) se maximizaron con la disminución de la concentración de maltodextrina (3 y 4,14% respectivamente). El contenido de sólidos solubles se maximizó (10,005 °Brix) y la acidez titulable se minimizó (0,271%) con el incremento de la concentración de maltodextrina (9%).

Se optimizó el proceso de microencapsulación del jugo de mandarina con una temperatura de entrada de 125 °C, 5,07% de concentración de maltodextrina y 3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de flujo de alimentación, condiciones bajo las cuales se obtuvieron los máximos valores de rendimiento (62,173 %), actividad antioxidante (6252.27 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C (19,941 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$). Además, Se microencapsuló el jugo de mandarina bajo las condiciones óptimas y se obtuvo valores de rendimiento (62,157%), actividad antioxidante (6251,572 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq}$

g^{-1}) y contenido de vitamina C ($19,767 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) que fueron similares a los generados por el programa Design-Expert

Se obtuvo un rendimiento de 62,157 % aplicando las condiciones óptimas de microencapsulación y además, se concluyó que el secado por aspersión es un método efectivo para microencapsular jugo de mandarina, debido a que no se encontraron diferencias significativas entre la actividad antioxidante ($6251,572 \pm 126,167 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C ($19,767 \pm 0,411 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) obtenidos a partir de la combinación óptima frente a la actividad antioxidante ($6290,411 \pm 148,779 \mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$) y contenido de vitamina C ($20,284 \pm 0,891 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) del jugo de mandarina.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar una temperatura de entrada de $155 \text{ }^\circ\text{C}$ y 8,28% de maltodextrina para reducir el contenido de humedad. Para reducir la actividad de agua se recomienda aplicar una temperatura de entrada de $125 \text{ }^\circ\text{C}$, 9% de maltodextrina y $3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de flujo de alimentación. Se recomienda una temperatura de $125 \text{ }^\circ\text{C}$ y 9% de maltodextrina para reducir la higroscopicidad. Para incrementar la actividad antioxidante y el contenido de vitamina C se recomienda una concentración de 3 y 4,14% de maltodextrina respectivamente. Se recomienda una concentración de 9% de maltodextrina para aumentar el contenido de sólidos solubles y disminuir la acidez titulable.

Para maximizar el rendimiento, actividad antioxidante y contenido de vitamina C, se recomienda microencapsular jugo de mandarina utilizando $125 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de entrada, 5,07% de concentración de maltodextrina y $3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de flujo de alimentación.

Se recomienda realizar estudios sobre eficiencia de microencapsulación, microscopía electrónica de barrido, calorimetría del polvo y espectroscopia infrarroja.

Se recomienda realizar estudios sobre la vida útil del microencapsulado óptimo en función del tiempo y las condiciones de almacenamiento (temperatura, presencia o ausencia de luz).

Se recomienda realizar estudios sobre estabilidad de los polvos con otros materiales encapsulantes como gomas, proteínas o polímeros y combinaciones de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfo, R., y Huertas, P. (2010). Food Microencapsulation: a Review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 63(2), 5669–5684. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>
- Aguiar, G., Fávaro-trindade, C. S., Raimundo, C., y Grosso, F. (2011). Food and Bioproducts Processing Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.001>
- Aldana, A. S., Sandoval, E. R., & Aponte, A. A. (2010). Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos. *Ingeniería y Competitividad*, 5(2), 73–83. <https://n9.cl/s261m>
- AOAC. (2019). *Métodos oficiales de análisis*, 21.^a edición. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- Aragüez, Y., Pino, J. A., Bringas-lantigua, M., & Roncal, E. (2017). Optimización del secado por aspersión de jugo concentrado de naranja. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(1), 29–34. <https://n9.cl/wpnixp>
- Araujo, H. C. S., Jesus, M. S., Leite Neta, M. T. S., Gualberto, N. C., Matos, C. M. S., Rajan, M., Rajkumar, G., Nogueira, J. P., & Narain, N. (2020). Effect of maltodextrin and gum arabic on antioxidant activity and phytochemical profiles of spray-dried powders of sapota (Manilkara zapota) fruit juice. *Drying Technology*, 39(3), 392–404. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1839487>
- Araya L., H., Clavijo R., C., & Herrera, C. (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 56(4), 361–365. <https://n9.cl/lcp55>

- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Bastos, D. D. S., Gonçalves, M. D. P., Andrade, C. T. De, Araújo, K. G. D. L., & Rocha Leão, M. H. M. Da. (2012). Microencapsulation of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) juice using a new chitosan-commercial bovine whey protein isolate system in spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 683–692. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.005>
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>
- Borrmann, D., Pierucci, A. P. T. R., Leite, S. G. F., & Leão, M. H. M. D. R. (2013). Microencapsulation of passion fruit (*Passiflora*) juice with n-octenylsuccinate-derivatised starch using spray-drying. *Food and Bioproducts Processing*, 91(1), 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.08.001>
- Brown, L., & Challem, J. (2007). *Vitaminas y minerales esenciales para la salud : los nutrientes fundamentales para potenciar tu energía y aumentar tu vitalidad*.
- Burgos, G., Auqui, S., Amoros, W., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 533–538. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.05.013>
- Cai, Y. Z., & Corke, H. (2006). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(3600), 1248–1252.
- Cardona, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y

aplicaciones. *Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia*, 7. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121948/Cardona ACTIVIDAD DEL AGUA EN ALIMENTOS: CONCEPTO, MEDIDA Y APLICACIONES.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121948/Cardona_ACTIVIDAD_DEL_AGUA_EN_ALIMENTOS_CONCEPTO_MEDIDA_Y_APLICACIONES.pdf?sequence=1)

Carrasco, R. R. de, & Zelada, C. R. E. (2008). Determinación De La Capacidad Antioxidante Y Compuestos Bioactivos De Frutas Nativas Peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 2, 108–124. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937609004>

Carrillo, M., Zavala, D., & Alvarado, B. (2007). Modelado del Efecto de la Temperatura, Actividad de Agua y pH sobre el Crecimiento de *Rhizopus oryzae*. *Información Tecnológica*, 18(4), 57–62. <https://n9.cl/wfb5g>

Castañón, J. F., Uresti-Marín, R. M., Soto Gómez, M. G., Santiago-Adame, R., & Ortiz-Basurto, R. I. (2020). Evaluation of spray-drying's operable condition for obtaining orange juice powder: effects on physicochemical properties. *CYTA - Journal of Food*, 18(1), 195–202. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1728388>

Castro, N., Durrieu, V., Raynaud, C., & Rouilly, A. (2016). Influence of DE-value on the physicochemical properties of maltodextrin for melt extrusion processes. *Carbohydrate Polymers*, 144, 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.004>

Chen, X., Chhun, S., Xiang, J., Tangjaidee, P., Peng, Y., & Young, S. (2021). Microencapsulation of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja Extracts: A Promising Technique to Protect Phenolic Compounds and Antioxidant Capacities. *Foods*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods10122910>

da Silva, A. G., da Costa Machado, M. T., da Silva, V. M., Sartoratto, A., Rodrigues, R. A. F., & Hubinger, M. D. (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>

- Daza, L. D., Fujita, A., Fávoro-Trindade, C. S., Rodrigues-Ract, J. N., Granato, D., & Genovese, M. I. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, 97, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001>
- Domínguez, E., & Gómez, E. O. (2014). Evaluación de la actividad antioxidante, Vitamina C zumos cítricos de Lima Dulce (*Citrus limetta*), Limón Tahití (*Citrus latifolia*), Limón Rugoso (*Citrus jambhiri* Lush) Y Mandarina Cleopatra (*Citrus reshni*) almacenados en refrigeración. *Revista Investigación y Amazonía*, 3(1), 30–35. <https://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/article/view/34>
- El Barnossi, A., Moussaid, F., & Iraqi Housseini, A. (2021). Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. *Biotechnology Reports*, 29, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00574>
- Favaro, C. S., Santana, A. S., Monterrey-Quintero, E. S., Trindade, M. A., & Netto, F. M. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 336–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.012>
- 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(4), 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>
- Ferrari, C. C., Germer, S. P. M., & de Aguirre, J. M. (2012). Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology*, 30(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628429>
- Flores- Aguilar, E., & Flores-Rivera, E. del P. (2018). Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa* sp). *Información*

Tecnológica, 29(2), 175–184. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000200175>

Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12), 1800–1831. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>

García, E., & Fernández, I. (2010). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. *Departamento de Tecnología de Alimentos*, 1(1), 1–5. <https://n9.cl/yv5k1>

Ghalegi, M., Dehnad, D., & Jafari, S. M. (2021). Physicochemical and nutritional properties of pomegranate juice powder produced by spray drying. *Drying Technology*, 39(12), 1941–1949. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1934691>

Gharsallaoui, A., & Chambin, O. (2007). *Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview*. 40, 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

González, E., & Martínez, O. (2015). *Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos*. 16(2), 12. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176006.pdf>

Hernández, S., & Avila, D. (2020). Data collection techniques and instruments. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 9(17), 51–53. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019/7678%0A%0A>

Hussain, S. Z., Naseer, B., Qadri, T., Fatima, T., & Bhat, T. A. (2021). Citrus Fruits—Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits. *Fruits Grown in Highland Regions of the Himalayas: Nutritional and Health Benefits*, 229–244. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75502-7_18

Ibraheem, N. a, Hasan, M. M., Khan, R. Z., & Mishra, P. K. (2012). Understanding Color Models : A Review. *ARN Journal of Science and*

Technology, 2(3), 265–275.

- INEC. (2014). *Resultados nacionales sobre el III censo nacional agropecuario de la república del Ecuador*. Censo Nacional Agropecuario. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- Jal, M. A., Negre, J. M. S., & Montoya, E. G. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>
- Janiszewska-turak, E., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Romani, S., Dalla, M., & Witrowa-rajchert, D. (2017). The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. *Food Chemistry*, 236, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134>
- Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 264, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.032>
- Karrar, E., Mahdi, A. A., Sheth, S., Mohamed Ahmed, I. A., Manzoor, M. F., Wei, W., & Wang, X. (2021). Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gürum seed oil using a spray-drying method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.045>
- Li, J. L., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2016). Recent Advances in Nondestructive Analytical Techniques for Determining the Total Soluble Solids in Fruits: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 897–911. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12217>
- Li, J., Li, X. D., Zhang, Y., Zheng, Z. D., Qu, Z. Y., Liu, M., Zhu, S. H., Liu, S., Wang, M., & Qu, L. (2013). Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1429–1434.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.054>

- Morais, B. D. M., Silva Júnior, M. E., Andrade, S. A. C., Converti, A., Silva, M. F., & Maciel, M. I. S. (2020). Optimization of Red Mombin Juice Spray Drying: Physicochemical and Sensory Analyses of Powders. *Chemical Engineering and Technology*, 43(9), 1832–1840. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000096>
- Moura, N. P. De, Silva, J. D. A., Maria, M., Souza, B. De, Edson, M., Azoubel, P. M., Converti, A., Inês, M., & Maciel, S. (2022). Optimization of microencapsulation of yellow mombin juice by spray drying using a central composite rotatable design and powder physicochemical properties. *Food Science and Technology*, 2061, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.75621>
- Mousalli, G. (2016). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa* (Issue October 2015). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.9446>
- Mujumdar, A. (2021). Handbook of Industrial Drying. In 2002 (2nd ed., Vol. 1). Taylor & Francis Group. <https://books.google.com/books?hl=fa&lr=&id=gJ7KNvbMtREC&oi=fnd&pg=PP1&dq=crystallization&ots=oSU4SirsBB&sig=Dp9W6hWs46ERMsJ06ZwoHYavdCo>
- Murugesan, R., & Orsat, V. (2011). Spray Drying of Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Juice to Maintain Its Phenolic Content. *Drying Technology*, 29(14), 1729–1740. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.602485>
- Nayak, C. A., & Rastogi, N. K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, 28(12), 1396–1404. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482705>
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>
- Pastor, C., & González, C. (2010). Determinación de los sólidos solubles de un

- alimento con un alto y un bajo contenido en agua. *Tecnología de Alimentos*, 1(1), 5. <https://n9.cl/10k0w>
- Paulo, F., & Santos, L. (2017). Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering C*, 77, 1327–1340. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.219>
- Pinzón-Zárate, L. X., Hleap-Zapata, J. I., & Ordóñez-Santos, L. E. (2015). Análisis de los parámetros de color en salchichas frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris Gasipaes*). *Informacion Tecnologica*, 26(5), 45–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500007>
- Popping, B., & Diaz-Amigo, C. (2014). Analisis 2. In *Agro Food Industry Hi-Tech* (Vol. 25, Issue 1, pp. 29–31). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1>
- Putnik, P., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Gabrić, D., Shpigelman, A., Cravotto, G., & Bursać Kovačević, D. (2017). An Integrated Approach to Mandarin Processing: Food Safety and Nutritional Quality, Consumer Preference, and Nutrient Bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1345–1358. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12310>
- Ramakrishnan, Y., Adzahan, N. M., Yusof, Y. A., & Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. *Powder Technology*, 328, 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.018>
- Ricci, A., Arboleda Mejia, J. A., Versari, A., Chiarello, E., Bordoni, A., & Parpinello, G. P. (2022). Microencapsulation of polyphenolic compounds recovered from red wine lees: Process optimization and nutraceutical study. *Food and Bioproducts Processing*, 132, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2021.12.003>
- Rojas Cairampoma, M. (2015). Tipos de investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación.

Revista Electronica de Veterinaria, 16(1), 21–24. <https://n9.cl/vz2u>

- Rutz, J. K., Zambiasi, R. C., Borges, C. D., Krumreich, F. D., Da Luz, S. R., Hartwig, N., & Da Rosa, C. G. (2013). Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1256–1265. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.058>
- Saarela, M., Alakomi, H. L., Mättö, J., Ahonen, A. M., Puhakka, A., & Tynkkynen, S. (2011). Improving the storage stability of *Bifidobacterium breve* in low pH fruit juice. *International Journal of Food Microbiology*, 149(1), 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.002>
- Selvamuthukumar, M., & Khanum, F. (2014). Optimization of spray drying process for developing seabuckthorn fruit juice powder using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3731–3739. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0901-y>
- Souza, M. M. B., Santos, A. M. P., Converti, A., & Maciel, M. I. S. (2020). Optimisation of umbu juice spray drying, and physicochemical, microbiological and sensory evaluation of atomised powder. *Journal of Microencapsulation*, 37(3), 230–241. <https://doi.org/10.1080/02652048.2020.1720031>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Informacion Tecnologica*, 24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- USDA. (2020). *Citrus: World Markets and Trade*. Citrus: World Markets and Trade. <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/w66343603?locale=en>
- Velasco, R., & Licciardello, C. (2014). A genealogy of the citrus family. *Nature Biotechnology*, 32(7), 640–642. <https://doi.org/10.1038/nbt.2954>
- Villagrán, M., Muñoz, M., Díaz, F., Troncoso, C., Celis-Morales, C., &

Mardones, L. (2019). Vitamin c in health and disease: A current perspective. *Revista Chilena de Nutricion*, 46(6), 800–808. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000600800>

Zhang, H., Zhan, B., Pan, F., & Luo, W. (2020). Determination of soluble solids content in oranges using visible and near infrared full transmittance hyperspectral imaging with comparative analysis of models. *Postharvest Biology and Technology*, 163(February), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111148>

ANEXOS

Tabla 7. Análisis de varianza para 14 variables de respuesta

Fuente	AW	AO	HC	H	BR	AC	pH	RE	SO	TD	VC	CL	Cc	CH
A	0,0008*	0,3562	0,0270*	0,0165*	0,0975	0,8814	0,4046	0,0087*	0,4765	0,229	0,5997	0,0809	0,1992	0,4201
B	0,0074*	0,0014*	< 0,0001*	< 0,0001*	0,0013*	< 0,0001*	0,8841	< 0,0001*	0,5722	0,3932	0,0004*	0,4675	0,4338	0,8615
C	< 0,0001*	0,1664	0,7957	0,0235	0,6119	0,5978	0,7354	0,3503	0,5674	0,1367	0,1629	0,0775	0,2291	0,4237
AB	0,6795	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,4665	0,1253	0,7231	>0,0500	0,2011	>0,0500	0,2313	0,1803
AC	0,0073*	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,124	0,0791	0,9392	>0,0500	0,1685	>0,0500	0,3067	0,3678
BC	0,3978	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,1512	0,2495	0,0987	>0,0500	0,3401	>0,0500	0,427	0,703
A2	0,1586	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,3541	0,6123	0,9852	>0,0500	0,0881	>0,0500	0,0908	0,1365
B2	0,2767	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,1185	0,2039	0,171	>0,0500	0,0074*	>0,0500	>0,0500	0,1171
C2	0,0186*	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	>0,0500	0,0405*	0,0372	0,0179*	>0,0500	0,1203	>0,0500	>0,0500	0,8048
P-modelo	0,0001*	0,0053*	< 0,0001*	< 0,0001*	0,0066*	0,0003*	0,364	< 0,0001*	0,3643	0,1669	0,0063*	0,1019	0,1992	0,3297
F-modelo	14,41	6,22	15,66	19,78	5,89	11,43	1,25	15,78	1,25	1,92	5,6	2,44	1,7	1,33
Falta de ajuste	0,3592	0,9843	0,444	0,4624	0,4533	0,3734	0,8093	0,4962	0,6034	0,7745	0,3116	0,0150	0,5334	0,4241

*: Significante a $p \leq 0,05$, A: Temperatura de secado, B: Concentración de maltodextrina, C: Flujo de alimentación, AW: Actividad de agua, AO: Actividad antioxidante, HC: % Higroscopia, H: % Humedad, BR: °Brix, AC: Acidez titulable, pH: pH, RE: Rendimiento, SO: Solubilidad, TD: Test de disolución, VC: Vitamina C, CL: Color L, Cc: Color c, CH: Color H. Fuente: Elaborado por Jaime Encalada



Document Information

Analyzed document Encalada Jaime Tesis (1).docx (D143226985)

Submitted 8/24/2022 5:14:00 PM

Submitted by

Submitter email clara.villacres4422@utc.edu.ec

Similarity 0%

Analysis address clara.villacres4422.utc@analysis.orkund.com

Sources included in the report

Latacunga, septiembre, 9, 2022

Clara Elena Villacres Poveda, PhD

C.C. 1801504422



Imagen 1: Mandarinas de la variedad Dancy usadas en el estudio.



Imagen 2: Extracción manual del jugo de mandarina.



Imagen 3: Malla de 25 µm usada para filtrado del jugo de mandarina.



Imagen 4: Mini spray dryer marca Buchi usado en el estudio.



Imagen 5: Colorímetro marca DR LANGE usado en el estudio.



Imagen 6: Medición del contenido de humedad de los microencapsulados.



Imagen 7: Medición de la actividad de agua de los microencapsulados.



Imagen 8: Medición de la higroscopicidad.



Imagen 9: Medición del rendimiento.



Imagen 10: Medición del pH.



Imagen 11: Medición de los sólidos solubles.

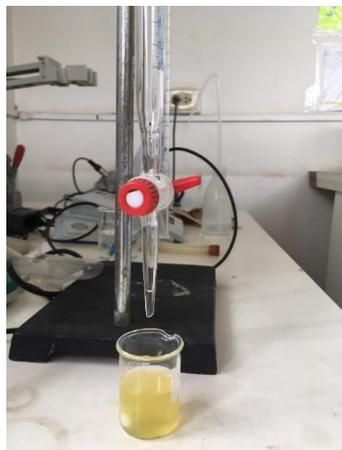


Imagen 12: Medición de la acidez titulable.



Imagen 13: Medición de la solubilidad.



Imagen 14: Espectrofotómetro usado para medición de actividad antioxidante y contenido de vitamina C.