



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“EFICIENCIA DE LA TEMPERATURA EN
LA OBTENCIÓN DE GASPARITO DESHIDRATADO
APLICANDO SECADO EN LECHO FLUIDIZADO”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

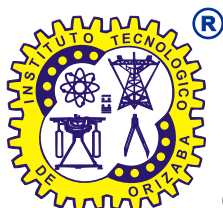
I.Q. Miriam Guadalupe González Serrano

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Guadalupe Luna Solano

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alfredo Domínguez Niño



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

NOVIEMBRE 2024



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, 22/noviembre/2024

Dependencia: División de Estudios de
Posgrado e Investigación
Asunto: Autorización de Impresión
Opción: I

C. MIRIAM GUADALUPE GONZÁLEZ SERRANO
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

**"EFICIENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA OBTENCIÓN DE GASPARITO
DESHIDRATADO APLICANDO SECADO EN LECHO FLUIDIZADO"**

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica-
CIENCIA – TÉCNICA – CULTURA ®



OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



ccp. Archivo





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **20/agosto/2024**

Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

MIRIAM GUADALUPE GONZÁLEZ SERRANO

La cual lleva el título de:

**EFICIENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA OBTENCIÓN DE GASPARITO
DESHIDRATADO APLICANDO SECADO EN LECHO FLUIDIZADO**

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

SECRETARIO: DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA

VOCAL: DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA

VOCAL SUP.: DR. ALFREDO DOMÍNGUEZ NIÑO


FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

TA-09-18



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 02 del mes de Diciembre del año 2024.

El(la) que suscribe

C. Miriam Guadalupe Gonzalez Serrano

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 108 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada

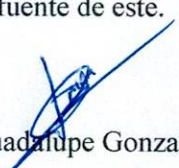
“Eficiencia de la temperatura en la obtención de Gasparito deshidratado aplicando secado en lecho fluidizado”

del programa: Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, bajo la asesoría y dirección de la Dra. Guadalupe Luna Solano y el Dr. Alfredo Domínguez Niño y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México/Instituto tecnológico de Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.



Miriam Guadalupe Gonzalez Serrano

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su infinito amor y misericordia que me muestra cada día, por ayudarme a cumplir este anhelo que sin él no lo hubiera podido lograr, por darme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante.

A mi hermana Arely, por estar siempre conmigo y ayudarme en esta travesía, por su apoyo incondicional, por ser mi soporte en cada momento y no dejarme caer, eres mi motor para seguir adelante.

Quiero agradecer a cada uno de quienes conforman mi comité, porque son un ejemplo a seguir, pues me motivan a ser alguien mejor y a seguir adelante por lo que quiero agradecer a mi directora de tesis Dra. Guadalupe Luna Solano, por brindarme de sus conocimientos durante la maestría, su paciencia, apoyo, orientación y dedicación para la realización de este trabajo, por creer en mí y motivarme a seguir adelante.

Al Dr. Alfredo Domínguez Niño, por estar al pendiente del avance de este proyecto y su disponibilidad de tiempo para atenderme siempre de una forma amable.

Al Dr. Galo Rafel Urrea García por sus conocimientos compartidos durante la maestría, por su disponibilidad de tiempo y apoyo para la realización de esta tesis al ayudarme con su visión crítica y así mejorar.

A la Dra. Ofelia Landeta Escamilla, por su apoyo durante la maestría como coordinadora y como profesora compartirme de sus conocimientos, por siempre estar al pendiente y motivarme, así como por brindarme su tiempo para este proyecto.

A mis amigas Arely, Yoali, Kari, Gaby, Ismari y Celeste, no tengo palabras para agradecer que la vida me haya permitido conocerlas, son mi lugar seguro, mis confidentes, gracias por siempre escucharme y estar para mí en cada momento, por hacer que esta etapa de mi vida fuera más agradable, por acompañarme en mis locuras y ser mi soporte emocional, gracias por su amistad sincera y saber que siempre puedo contar con ustedes.

RECONOCIMIENTOS

Esta tesis se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Orizaba durante el periodo de Enero 2021 – junio 2024. Las presentaciones en congresos y publicaciones se obtuvieron de esta tesis se enlistan a continuación:

2023	Ponencia	Efecto del secado por lecho fluidizado sobre la humedad y parámetros de color de flor de Gasparito. Ponencia en el Coloquio de Investigación Multidisciplinaria (CIM 2024), Orizaba Veracruz, México.
2023	Ponencia	Efecto del secado por lecho fluidizado sobre la humedad y parámetros de color de flor de Gasparito. Ponencia en el Thirteenth International Conference on Food Studies, University of Guadalajara 2023, Guadalajara, México

PUBLICACIONES

- M.G. González Serrano, G. Luna Solano, A. Domínguez Niño, G.R. Urrea García, P. Guillén Velázquez. Efecto del secado por lecho fluidizado. Ponencia en el Coloquio de investigación Multidisciplinaria, 2023 Orizaba, Veracruz México.
- M.G. González Serrano, G. Luna Solano, A. Domínguez Niño, G.R. Urrea García, P. Guillén Velázquez. Efecto del secado por lecho fluidizado. Ponencia Thirteenth International Conference on Food Studies, University of Guadalajara 2023, Guadalajara, México.

RESUMEN

Eficiencia de la temperatura en la obtención de Gasparito deshidratado aplicando secado en lecho fluidizado.

Elaborador por: I.Q Miriam Guadalupe González Serrano

Dirigido por: Dra. Guadalupe Luna Solano

Dr. Alfredo Domínguez Niño

La flor de Gasparito al ser parte de la gastronomía mexicana y aportar nutrientes importantes al cuerpo humano como fibra, minerales, antioxidantes y vitamina C, por ello es importante buscar alternativas de conservación que permitan prolongar su vida de anaquel debido a que su periodo de floración es muy corto, impidiendo que pueda ser consumido durante el resto del año. Al llevar a cabo el procesamiento de alimentos como el secado es importante la evaluación de parámetros fisicoquímicos, ya que estos permiten encontrar las condiciones óptimas del proceso y con ello buscar que sus propiedades nutricionales sean similares a las de un alimento fresco, así como con la finalidad de prolongar su tiempo de vida de anaquel. En este proyecto de investigación se llevó a cabo la evaluación de las propiedades fisicoquímicas como el contenido de humedad, actividad de agua y parámetros de color de la flor de Gasparito mediante el secado por lecho fluidizado a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C con un tiempo de secado de 60, 90 y 120 minutos y empleando dos tipos de corte: pétalo entero y en mitad. Para comprobar la calidad del alimento al final del proceso de secado se realizaron pruebas de rehidratación evaluando la ganancia de peso usando como medio rehidratante agua destilada a 20 y 30 °C y el color mediante su diferencial ΔE . Además, para conocer si la temperatura de secado causó un efecto significativo en las propiedades de la flor, se evaluó la actividad antioxidante mediante el método DPPH. También se realizaron isotermas de sorción a 35 y 45 °C utilizando como medio rehidratante agua destilada, esto con la finalidad de conocer si se trata de un alimento higroscópico.

ABSTRACT

Temperature efficiency in obtaining dehydrated Gasparito by fluidized bed drying.

By: I.Q Miriam Guadalupe González Serrano

Advisors: Dra. Guadalupe Luna Solano

Dr. Alfredo Domínguez Niño

The Gasparito flower is part of Mexican gastronomy and provides important nutrients to the human body such as fiber, minerals, antioxidants and vitamin C. Therefore, it is important to look for conservation alternatives to prolong its shelf life because its flowering period is very short, preventing it from being consumed during the rest of the year. When carrying out food processing such as drying, it is important to evaluate physicochemical parameters, since these allow finding the optimum conditions for the process and thus seek that its nutritional properties are similar to those of a fresh food, as well as with the purpose of prolonging its shelf life. In this research project, the evaluation of physicochemical properties such as moisture content, water activity and color parameters of Gasparito flower was carried out by fluidized bed drying at temperatures of 50, 60 and 70 °C with a drying time of 60, 90 and 120 minutes and using two types of cuts: whole petal and half petal. To check the quality of the feed at the end of the drying process, rehydration tests were carried out by evaluating the weight gain using distilled water at 20 and 30 °C as rehydrating medium and the color by means of its differential ΔE . In addition, to know if the drying temperature caused a significant effect on the properties of the flower, antioxidant activity was evaluated using the DPPH method. Sorption isotherms were also performed at 35 and 45 °C using distilled water as rehydrating medium, in order to determine if it is a hygroscopic food.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xii
NOMENCLATURA.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS	15
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
1.1 Generalidades	17
1.1.1 Morfología de la flor de Gasparito.....	19
1.1.2 Senescencia.....	19
1.1.3 Composición y valor nutricional.....	20
1.3.4.1 Antioxidantes.....	21
1.3.4.2 Cenizas	22
1.1.4 Usos y aplicaciones.....	23
1.2 Secado.....	23
1.2.1 Curva de secado.....	25
1.2.2 Secado por lecho fluidizado	26
1.3 Características fisicoquímicas	28
1.3.1 Contenido de humedad (X).....	29
1.3.2 Actividad de agua	30
1.3.3 Color	33
1.3.4 Rehidratación	35
1.4 Isotermas de sorción	36
1.4.1 Modelo de BET (Brunauer-Emmett-Teller).....	37
1.4.2 Modelo de GAB (Guggenheim- Anderson – de Boer)	38
1.5 Estudios previos.....	38
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	41
2.1 Metodología general.....	41
2.2 Selección y acondicionamiento de la materia prima	42
2.3 Secado.....	42
2.3.1 Secado por lecho fluidizado	42
2.4 Diseño de experimentos	43

2.5 Propiedades fisicoquímicas.....	45
2.5.1 Contenido de humedad	45
2.5.2 Actividad de agua.....	45
2.5.3 Color	46
2.5.4 Grado de rehidratación (CR)	47
2.5.5 Actividad antioxidante	48
2.5.6 Antocianinas	49
2.5.7 Vitamina C	49
2.5.8 Cenizas	50
2.6 Isotermas de sorción	51
CAPITULO 3. RESULTADOS	53
3.1 Secado.....	53
3.1.1. Contenido de humedad	55
3.1.3 Color	60
3.1.3.1 Luminosidad (L).....	61
3.1.3.3 Parámetro b.....	66
3.1.3.4 Diferencia de color (ΔE)	69
3.1.3.5 Rendimiento (Kg de flor fresca / Kg de flor deshidratada).....	73
3.1.4 Contenido de minerales.....	74
3.2 Grado de rehidratación	75
3.2.1 Curvas de rehidratación (medio rehidratante: agua destilada)	77
3.2.2 Curvas de rehidratación (medio rehidratante: solución salina al 5%)	85
3.3 Capacidad antioxidante	91
3.3.1 Determinación de Vitamina C	92
3.5 Isotermas de sorción	92
CONCLUSIONES	94
ANEXO A.....	96
ANEXO B.....	97
ANEXO C	98
ANEXO D	99
ANEXO E.....	100
ANEXO F.....	101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
---------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1.1	Componentes de la especie <i>Erythrina americana</i> Miller: a) Árbol b) Hoja c) Fruto y d) Semilla	18
1.2	Flor de Gasparito: a) Flor de Gasparito entera y b) Pétalo de la flor de Gasparito y sus partes	19
1.3	Curva de velocidad de secado (Buendía- González, 2016)	25
1.4	Fundamento del secado por lecho fluidizado (Calis-Pérez, 2018).	26
1.5	Etapas del proceso de secado por lecho fluidizado (Buendía- González, 2016)	27
1.6	Tipos de agua contenida en un alimento (Calis-Pérez, 2018)	30
1.7	Influencia de la a_w y pH en la estabilidad de los alimentos (Calis-Pérez, 2018)	32
1.8	Espacio de color Hunter Lab	34
1.9	Isoterma de sorción (Hernández-Luna, 2022)	37
2.1	Metodología general para el proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito	41
2.2	Acondicionamiento de la flor de Gasparito a) entera b) mitad	42
2.3	Secador de lecho fluidizado marca Retsch modelo TG 200.	43
2.4	Termobalanza Santorius modelo MA35M-000115V1	45
2.5	Medidor de actividad de agua marca VTSYIQI modelo VTS- 160 ^a	46
2.6	Colorímetro HunterLab modeloMiniScan XE plus	47
2.7	Espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Genesys 150	48
2.8	Mufla Thermolyne modelo FB1315M	50
2.9	Generador de isotermas	51
3.1	Cámara de secador de lecho fluidizado	53
3.2	Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado de flor de Gasparito pétalo entero: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	55

3.3	Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	57
3.4	Evolución del contenido de la actividad de agua durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	58
3.5	Evolución del contenido de la actividad de agua durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	59
3.6	Evolución del parámetro L durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	62
3.7	Evolución del parámetro L durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	63
3.8	Evolución del parámetro a durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	65
3.9	Evolución del parámetro a durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	66
3.10	Evolución del parámetro b durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	67
3.11	Evolución del parámetro b durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	68
3.12	Evolución del contenido de la diferencia de color (ΔE) durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	70
3.13	Figura 3.13 Evolución del contenido de la diferencia de color (ΔE) durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.	71
3.14	Muestras finales de flor de Gasparito deshidratada mediante secado por lecho fluidizado.	72
3.15	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 20 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.	78

3.16	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 20 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.	79
3.17	Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en agua destilada a 20 °C.	80
3.18	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 30 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.	82
3.19	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 30 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.	83
3.20	Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en agua destilada a 30 °C.	84
3.21	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 20 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.	85
3.22	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 20 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.	86
3.23	Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en solución salina (5%) a 20 °C.	87
3.24	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 30 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.	88
3.25	Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 30 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.	89
3.26	Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en solución salina (5%) a 20 °C.	90
3.27	Isotermas de sorción para la flor de Gasparito deshidratada a) 35 °C y b) 45 °C.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1.1	Componentes principales de la flor de Gasparito (López-Hermida et al., 2021)	21
2.1	Variables consideradas para el proceso de secado de la flor de Gasparito	43
2.2	Diseño de experimentos para el proceso de secado de la flor de Gasparito.	44
3.1	Resultados experimentales del contenido de humedad y actividad de agua de la flor de Gasparito deshidratada por lecho fluidizado.	54
3.2	Resultados experimentales de color de la flor de Gasparito obtenidos al final del proceso de secado por lecho fluidizado.	60
3.3	Rendimiento de la flor de Gasparito deshidratada mediante secado por lecho fluidizado.	73
3.4	Resultados experimentales del contenido de minerales de la flor de Gasparito.	74
3.5	Resultados experimentales de la rehidratación de la flor de Gasparito deshidratada.	76
3.6	Resultados experimentales del diferencial de color en la rehidratación de la flor de Gasparito deshidratada.	77
3.7	Actividad antioxidante y contenido de antocianinas en los experimentos con mejores resultados del proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito.	91
3.8	Resultados experimentales del contenido de ácido ascórbico de la flor de Gasparito	92

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado	Unidades
X	Contenido de humedad	--
a_w	Actividad de agua	--
L	Luminosidad	--
A	Parámetro de color donde valores positivo son tonalidades rojas y valores negativos tonalidades verdes	--
B	Parámetro de color donde valores positivos son tonalidades	--
P	presión parcial de vapor de agua del alimento	(Pa, KPa o mm Hg)
p^0	presión parcial de vapor del agua pura	(Pa, KPa o mm Hg)
HR	Humedad relativa	--
X_m	contenido de humedad de la monocapa	--
C	Calor neto de sorción	--
C_G	Constante 1 para el modelo de GAB	--
K	Constante 2 para el modelo de GAB	--
CR	Capacidad de rehidratación	--
W_d	Peso de la muestra seca	G
W_r	Peso de la muestra deshidratada	G
W_f	Peso de la muestra fresca	G
V	volumen del titulante gastado	ml
PM	Peso molecular de la sustancia analizada	--
H+	Número de hidrógenos intercambiados en la reacción	--
m_{ceniza}	Cantidad de muestra final calcinada	G
$m_{inicial}$	cantidad de muestra inicial	G

INTRODUCCIÓN

Nuestro país cuenta con una amplia variedad de especies de plantas, dependiendo de sus propiedades, sus flores son consumidas en diferentes platillos típicos o son utilizadas por sus propiedades medicinales. Muchas de estas flores tienen cierto tiempo de floración durante el año, por lo que solo son consumidas durante esa temporada, un ejemplo es la flor de Gasparito la cual es ampliamente conocida y consumida en la región, pero cuenta con un corto periodo de vida de anaquel.

Los métodos de conservación de alimentos se crearon con la finalidad de prolongar la vida de los alimentos, así como protegerlo de agentes como los microorganismos que pueden afectar su estabilidad y a las características propias del alimento que permiten determinar su calidad como el color, sabor, olor, textura, forma y propiedades nutrimentales.

El secado es un método ampliamente utilizado y eficiente para la conservación de alimentos, siendo su objetivo la eliminación del exceso de agua en forma de vapor. Se deshidratará flor de Gasparito mediante el secado por lecho fluidizado, que consta de hacer pasar aire caliente a través de la cámara en donde se encuentra el alimento de una forma homogénea.

Con el secado de la flor de Gasparito se podrá evaluar el comportamiento de sus propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, color, capacidad de rehidratación, determinación de vitamina C y minerales así como sus características antioxidantes (mediante el método DPPH) así como isothermas de sorción.

Debido a la coloración de la flor de Gasparito, su tonalidad roja indica que cuenta con gran cantidad de antioxidantes, los cuales son compuestos encargados de inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas evitando reacciones en cadena de radicales libres. Debido a esto, son de gran importancia ya que, al consumirlos, se pueden evitar enfermedades y mejorar la calidad de vida debido a las ventajas que proporciona a la salud.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura durante el proceso de secado por lecho fluidizado sobre flor de Gasparito con características fisicoquímicas y antioxidantes similares a la flor fresca.

Objetivos específicos

1. Obtener la flor de Gasparito deshidratada a diferentes condiciones de proceso.
2. Representar gráficamente la evolución de la pérdida de humedad de la flor durante su secado.
3. Evaluar estadísticamente el efecto del proceso de secado sobre las características fisicoquímicas de la flor de Gasparito (contenido de humedad, actividad de agua y color).
4. Evaluar la eficiencia de la temperatura sobre el rendimiento de kg de flor seca por kg de flor fresca.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Generalidades

El árbol de Colorín es comúnmente conocido como Equimite, Zompantli, Patol o Gasparito, su nombre varía de acuerdo a la región que se encuentre, se cree que es proveniente de las regiones tropicales y subtropicales de América del Norte, aunque también se estima que es nativo de la zona sureste del país, esto es debido a que no se tiene un registro exacto de su origen (Niembro *et al.*, 2010).

Existen alrededor de 115 especies de las cuales aproximadamente 25 especies se pueden encontrar a lo largo del país, llegando a ser comercializadas en Sudamérica, Centroamérica, las Antillas y África occidental (López- Hermida *et al.*, 2021).

En el territorio mexicano, se puede encontrar en los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Distrito Federal, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. (Niembro *et al.*, 2010).

Mientras que, dentro del estado se puede encontrar en las localidades de Cordoba, Huatusco y Orizaba por mencionar algunas. Su nombre científico es *Erythrina americana* Miller y es perteneciente a la familia de las leguminosas. Crece en zonas con climas cálidos templados siendo su época de siembra entre los meses de junio y septiembre, mientras que su temporada de floración ocurre entre los meses de marzo y mayo.

Los árboles de Colorín pueden alcanzar hasta los 12 m de altura y un diámetro de 25 cm, estos son hermafroditas de tronco recto, su copa puede ser de forma redonda o piramidal y son característicos por su denso follaje, además de que su corteza es áspera y espinosa la cual tiene un color amarillo-verdoso y en algunas ocasiones presenta tonos grisáceos- rojizos cuando ha alcanzado su etapa adulta.

Sus hojas están conformadas por tres folíolos y están alineadas en forma de espiral, estas pueden llegar a medir hasta 33 cm de largo si se incluye el tallo, presentan un

color verde oscuro en la parte frontal y un verde amarillento en el reverso con bordes sobresalientes.

Sus frutos constan de vainas alargadas que van de color café oscuro a negro de acuerdo al nivel de madurez, alcanzan de 10 a 20 cm de largo y cada una de estas vainas contiene de 4 a 10 semillas, siendo una especie de habichuela de color rojo escarlata, de cubierta lisa con una pequeña hendidura en el centro, dicha semilla tiene una forma elíptica y mide aproximadamente unos 11 mm de largo por 5 mm de ancho (Niembro *et al.*, 2010).



a)



b)



c)



d)

Figura 1.1 Componentes de la especie *Erythrina americana* Miller: a) Árbol b) Hoja c) Fruto y d) Semilla.

1.1.1 Morfología de la flor de Gasparito

Las flores de Gasparito nacen agrupadas en inflorescencias terminales cónicas, su corola está conformada por pétalos de color rojo escarlata de aproximadamente 6 cm de largo, dichos pétalos contienen alrededor de 10 estambres blanquecinos y un cáliz de color café rojizo (Niembro *et al.*, 2010). En la Figura 1.2 se muestra la flor de Gasparito entera así como las partes que la conforman.

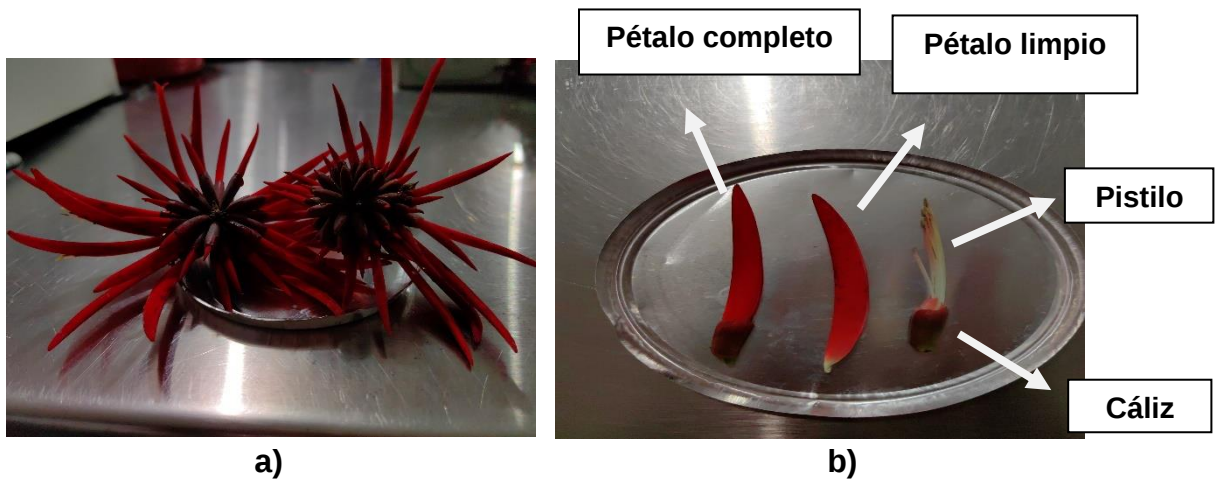


Figura 1.2. Flor de Gasparito: a) Flor de Gasparito entera y b) Pétalo de la flor de Gasparito y sus partes.

1.1.2 Senescencia

De acuerdo a Perea-López (2020), se define como senescencia al proceso de deterioro celular que provoca la muerte de la célula madura, tejido u órgano y se puede clasificar de acuerdo a la parte donde se lleve a cabo este proceso en:

- Foliar: esta ocurre cuando en la hoja deja de llevarse a cabo de forma correcta la fotosíntesis.
- Frutal: se lleva a cabo cuando el fruto ha alcanzado su nivel de maduración y se comienzan a percibir cambios físicos.

- Floral: se percibe en forma de marchitamiento y ocurre una vez que se ha llevado a cabo la polinización.

Debido a que la flor de Gasparito cuenta con un periodo de cosecha muy corto y a diversos factores como los fuertes vientos de febrero y marzo suelen hacer que la flor se desprenda del árbol, por lo que es probable que exista daño mecánico y marchitamiento en la flor, haciendo que sea más rápida su descomposición por lo que es recomendable consumirla hasta 24 horas después de su cosecha debido a la senescencia moderada que presenta.

Con todo esto, conforme avanza el proceso de senescencia existe una pérdida considerable de nutrientes se debe recurrir a métodos de conservación como lo es el uso de atmosferas controladas que puedan provocar un descenso en la velocidad de respiración del alimento y la velocidad con la que la senescencia se lleva a cabo para extender su vida de anaquel (Luna- Guandulay, 2021).

1.1.3 Composición y valor nutricional

Al igual que otras flores comestibles, la flor de Gasparito se caracteriza por aportar importantes cantidades de fibra, hidratos de carbono y minerales como Ca, P, Fe y K entre otros que son de gran valor nutricional para el ser humano.

Además, aporta vitaminas importantes como la vitamina A y C, haciendo que debido a todos estos nutrientes esta sea utilizada para evitar enfermedades, así como una alternativa para combatir a la desnutrición, pues al consumir esta flor, se pueden sustituir varios de los componentes nutritivos requeridos en la dieta del ser humano que tal vez no se encuentren a su alcance debido a recursos económicos (López-Hermida *et al.*, 2021).

Otra propiedad interesante que presenta la flor de Gasparito es su tono rojizo, lo cual indica la presencia de antioxidantes como las antocianinas, carotenoides entre otros que la hacen ampliamente valorada tanto en el área nutrimental como en la medicinal, y que ha provocado que sean estudiadas dichas propiedades.

En la Tabla 1.1 se muestra el valor nutricional y su composición aproximada en porcentaje que fue obtenido en la elaboración de un panque a base de gasparitos para fines nutrimentales.

Tabla 1.1 Componentes principales de la flor de Gasparito (López-Hermida *et al.*, 2021).

Información nutrimental	Por pieza (50g)
Contenido energético	815.62 KJ (194.94 Kcal)
Proteínas	7.47 g
Grasas (lípidos)	2.94 g
Grasa saturada	0.37 g
Grasa monoinsaturada	0.14 g
Grasa poliinsaturada	0.01 g
Carbohidratos	
Hidratos de carbono	35.59 g
Azúcares	15.51 g
Fibra dietética	4.21 g
Sodio	57.20 mg
Potasio	58.13 mg

1.3.4.1 Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que tienen la capacidad de inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas que puedan generar reacciones en cadena de radicales libres y estos se dividen en dos tipos: sintéticos y naturales.

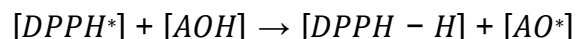
En el caso de los antioxidantes sintéticos, estos son conformados por estructuras fenólicas más complejas al presentar varios grados de sustitución alquílica, mientras que en el caso de los antioxidantes naturales pueden ser compuestos fenólicos como tocoferoles, flavonoides y ácidos fenólicos así como compuestos nitrogenados (alcaloides, aminoácidos y aminos) o carotenoides (Muñoz-Juárez & Gutiérrez-D, 2008).

Debido a que función de los antioxidantes es contrarrestar el daño celular y con ello evitar el desarrollo de enfermedades, es importante consumir alimentos como flores comestibles y frutos que aporten estos tipos de compuestos al cuerpo humano (Mejía-Reyes *et al.*, 2021).

Entre los métodos que se encuentran para medir la actividad antioxidante el más conocido se basa en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) provocando una deslocalización del electrón desapareado que le otorga una coloración violeta representada por una banda de absorción en solución etanólica centrada alrededor de los 520 nm (Muñoz-Juárez & Gutiérrez-D, 2008).

El radical libre (DPPH) suele reaccionar ante compuestos antioxidantes mediante un proceso que lleva a cabo una cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante.

Esta técnica consiste en la medición de la disminución de absorbancia en función al tiempo en una reacción. En esta reacción participa el DPPH y un antioxidante, se representa de la siguiente manera (Luna-Guandulay, 2021):



Si hay contacto entre una solución de DPPH y una sustancia capaz de brindar un átomo de hidrógeno u otro tipo radical (R) se produce la forma reducida DPPH-H DPPH-R y se pierde un poco de coloración y por lo tanto también se pierde una cantidad de absorbancia (Muñoz-Juárez & Gutiérrez-D, 2008).

1.3.4.2 Cenizas

El contenido de cenizas se refiere al residuo inorgánico resultante después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica en un alimento (Flores *et al.*, 2021) e indica las cantidades de minerales como Ca, K, Na, Cl, entre otros. Además,

es importante el análisis de minerales durante el proceso de secado ya que se pueden ver afectadas las propiedades fisicoquímicas del alimento (Luna-Guandulay, 2021). Aunque existen distintos métodos para la cuantificación de cenizas la principal diferencia entre dichas técnicas radica en la temperatura a la cual se realiza la calcinación, el tiempo y tamaño de la muestra (Flores *et al.*, 2021).

1.1.4 Usos y aplicaciones

En México, desde la antigüedad y debido a su gran biodiversidad es que el consumo de flores comestibles se ha convertido en una tradición que ha pasado de generación en generación como parte de la gastronomía en los platillos mexicanos, ya que varios de estos están hechos a base de estas flores dándole a la cocina mexicana un color y sabor especial.

El árbol de Gasparito también suele ser utilizado como soporte para las guías de chayote, para dar sombra a otras especies de plantas como el cacao o café (Niembro *et al.*, 2010), mientras que la flor es cocinada en platillos a base de huevo, en tortitas, capeadas, hervidas o con frijoles dependiendo de la región, también se pueden preparar con ellas infusiones o té debido a sus propiedades sedantes.

Dentro de la medicina se puede emplear como laxante, diurético, expectorante, antiasmático y antimalárico (García-Mateos *et al.*, 2001). En el caso de las semillas, estas son consideradas como tóxicas debido a la presencia de alcaloides entre los que se encuentran la erytroidina y la eritrina.

1.2 Secado

El proceso de secado se puede definir como una operación unitaria que tiene como objetivo principal la eliminación de agua de algunos materiales en forma de vapor mediante aire caliente, aunque este método también se puede aplicar para la eliminación de otras sustancias como por ejemplo solventes orgánicos (Geankoplis, 1998) y el contenido de humedad final que contenga el producto dependerá de sus propiedades fisicoquímicas y de sus características (Buendía-González, 2016).

Este principio se ha utilizado desde la antigüedad con la finalidad de prolongar la vida útil de los alimentos (Mulet, et al., 2003) y actualmente es ampliamente utilizado en la industria alimentaria con el propósito de conservar sus propiedades fisicoquímicas y aumentar el tiempo de vida de anaquel del producto, pues la demanda actual de alimentos de alta calidad en el mercado requiere de productos deshidratados con altas propiedades nutricionales y organolépticas similares a las de un producto fresco (Villegas- Santiago, 2008).

Con el secado, lo que se busca al reducir las cantidades de agua es evitar que los microorganismos que provocan la descomposición en el alimento no se puedan desarrollar, pues a bajos contenidos de humedad el crecimiento microbiano se detiene, también se evita que reacciones químicas que puedan llevarse a cabo por la presencia de enzimas en el alimento puedan afectar a la calidad del alimento.

Para que ocurra lo mencionado anteriormente, es necesario que el contenido de humedad sea reducido a niveles por debajo del 5% (Buendía-González, 2016) con la finalidad de conservar sus propiedades organolépticas las cuales se describirán más adelante.

Para llevar a cabo este proceso es importante tomar en cuenta las propiedades del alimento que se desea deshidratar al momento de elegir el método de secado y el tipo de secador (Calis-Pérez, 2018) así como las condiciones que se requieran después del proceso de secado.

Un factor fundamental es entender lo que ocurre internamente tanto en el proceso como en el alimento y es por ello que la transferencia de masa juega un papel muy importante y para que esta ocurra se debe considerar (Villegas- Santiago, 2008):

- El área expuesta: entre mayor sea la superficie de contacto, el secado se realizará de una manera uniforme y eficiente.
- La temperatura de secado: entre mayor sea la diferencia de temperatura entre el medio de transmisión de calor y la del alimento, mayor será la velocidad de secado.

- La velocidad y humedad del aire.

1.2.1 Curva de secado

Durante el proceso de secado se generan datos que relacionan el contenido de humedad conforme transcurre el tiempo en el proceso. La curva de secado se obtiene de estos datos experimentales que relacionan el contenido de humedad del alimento en función del tiempo (Lozano-Acevedo, 2007).

Esta curva muestra el comportamiento del sólido en las diferentes etapas del proceso de secado a medida que la humedad en este disminuye hasta alcanzar un valor pequeño que puede indicar que el proceso ha alcanzado su etapa de estabilidad o equilibrio como se muestra en la Figura 1.3 (Buendía- Gonzalez, 2016).

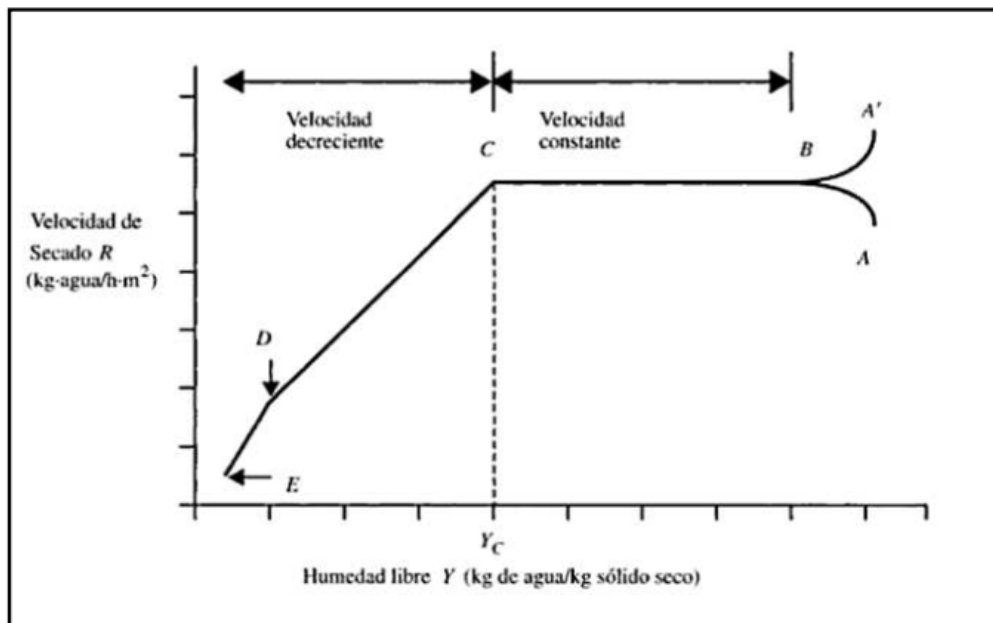


Figura 1.3 Curva de velocidad de secado (Buendía- Gonzalez, 2016).

En el punto E-D ocurre la primera etapa que es un periodo de calentamiento del sólido, el punto D-C es la etapa cuando la velocidad de secado aumenta de manera significativa y es el periodo en donde se lleva a cabo la mayor parte de eliminación de agua, mientras que el punto C-B muestra que el proceso de secado se ha vuelto

estable y el punto B-A indica el periodo de velocidad decreciente (Lozano- Acevedo, 2007).

En el punto E-D ocurre la primera etapa que es un periodo de calentamiento del sólido, el punto D-C es la etapa cuando la velocidad de secado aumenta de manera significativa y es el periodo en donde se lleva a cabo la mayor parte de eliminación de agua, mientras que el punto C-B muestra que el proceso de secado se ha vuelto estable y el punto B-A indica el periodo de velocidad decreciente (Lozano- Acevedo, 2007).

1.2.2 Secado por lecho fluidizado

Este método de secado es ampliamente utilizado en la industria alimenticia para el secado de materiales en partículas pequeñas, sólidos granulares húmedos pastas y suspensiones (Calis-Pérez, 2018). El principio de su funcionamiento yace en introducir aire caliente provocando que las partículas del producto se mantengan en suspensión al entrar en contacto con aire caliente como se muestra en la Figura 1.4 (Singh & Heldman, 2009).

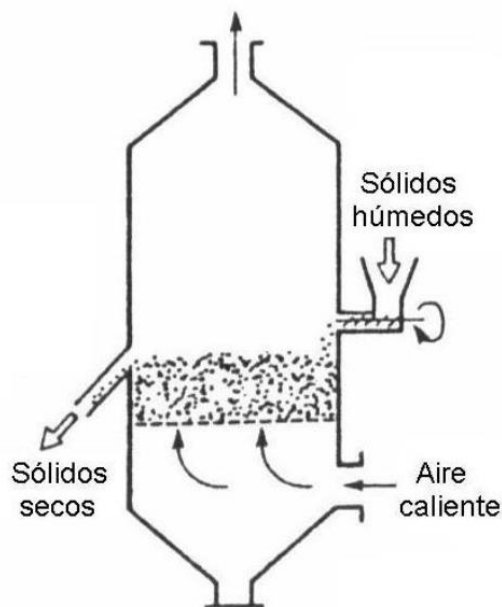


Figura 1.4 Fundamento del secado por lecho fluidizado (Calis-Pérez, 2018).

A cierta velocidad del gas, el lecho es fluidizado cuando la corriente de aire soporta totalmente el peso del lecho de partículas. Las partículas con un alto contenido de humedad inicial requieren una mayor velocidad de fluidización en comparación a un lecho similar de partículas secas.

Este mecanismo, en el proceso de secado hace que tenga ventajas en comparación a otros tipos de secado ya que debido a esto se tiene una mayor tasa más alta de remoción de humedad, una alta eficiencia térmica (Domínguez-Niño *et al.*, 2016) y una uniforme distribución de la temperatura dando todo esto como resultado una reducción en el tiempo de secado (Hincapié & Zapata, 2019).

Para ello, de acuerdo a (Buendía-González, 2016) el secado por lecho fluidizado consta de cuatro etapas y la distribución del proceso de secado se muestra en la Figura 1.5, en donde se muestra el comportamiento del alimento ante el aumento de la presión y velocidad de flujo del fluido.

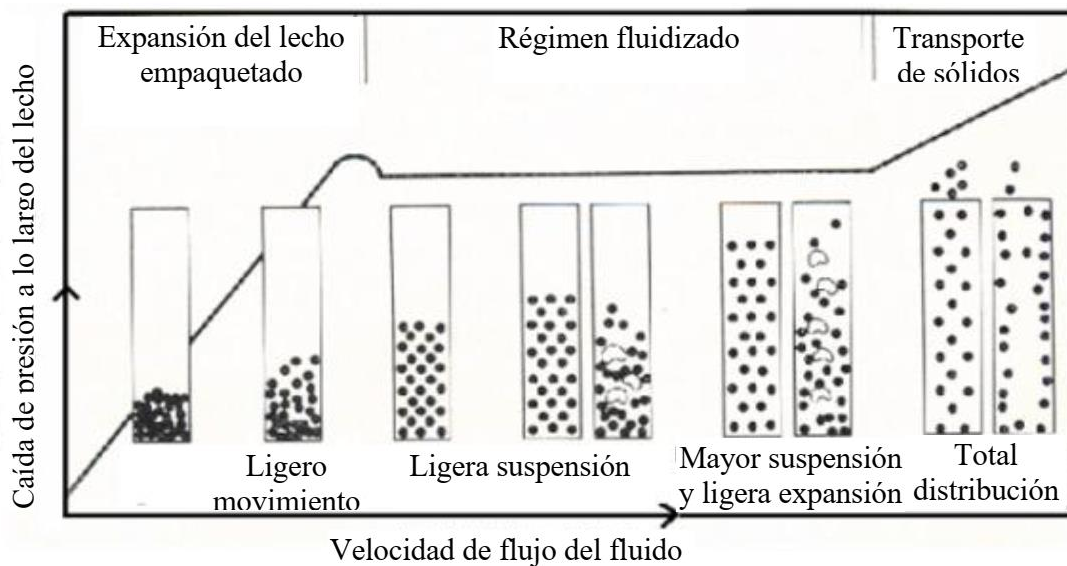


Figura 1.5 Etapas del proceso de secado por lecho fluidizado (Buendía-González, 2016)

- Durante la primera etapa, con un tiempo inicial (t_0) y una humedad (X_0) existe un ligero movimiento del alimento.

- En la segunda etapa, al haber una reducción de la cantidad de agua en el alimento con respecto al tiempo se presenta una ligera suspensión de las partículas.
- Para este paso, ya se puede percibir una mayor suspensión de la muestra y una ligera expansión.
- En este paso ya existe una completa distribución del producto en la cámara de secado.

Las etapas mencionadas anteriormente se deben a las fuerzas dominantes de cohesión ejercidas por las partículas húmedas, en donde solo la capa superior del lecho de sólidos es lecho fluidizado. Las capas inferiores permanecen estacionarias durante las etapas iniciales de secado cuando los sólidos están bastantes húmedos.

1.3 Características fisicoquímicas

La medición de las características fisicoquímicas es de los análisis más importantes que se realizan en la industria alimenticia, ya que estos parámetros nos indican si el alimento cuenta con la calidad para ser consumido, además de indicarnos si existe un cambio en sus propiedades nutricionales y físicas.

Estos análisis involucran la determinación de parámetros como el contenido de humedad (X), actividad de agua (a_w), diferencia de color, entre otros. El control de estos parámetros nos permite asegurar la calidad del alimento y conservación de sus propiedades físicas y químicas durante y después de su procesamiento térmico.

Otro factor importante que también se debe considerar es la etapa de almacenamiento del producto ya que durante este lapso sus propiedades se pueden ver modificadas provocando que se encuentre en riesgo su estabilidad, por ello es vital de igual manera buscar la preservación de sus propiedades mediante la evaluación de sus características fisicoquímicas, así como buscar cual es la mejor condición de almacenado y empaque para un determinado producto para alargar su vida de anaquel y calidad.

1.3.1 Contenido de humedad (X)

El contenido de humedad se puede definir como la cantidad de agua evaporable y se encuentra en relación a su masa total o seca. Este parámetro es de vital importancia para la preservación de las propiedades del alimento (por ejemplo, textura, sabor, color y tiempo de vida de anaquel) y es por ello que se recurre a los diferentes métodos de secado.

Dependiendo de las propiedades del alimento y de las condiciones en que se encuentre el alimento, el agua presente en el producto se puede definir como:

Agua libre: Se denomina como agua libre a aquella que se encuentra contenida en un producto en exceso y es la única que se puede evaporar de los tres tipos, además esta depende de la concentración del vapor en el gas.

Agua ligada. Es aquella que se encuentra fuertemente unida a los solutos del alimento, como por ejemplo los hidratos de carbono y proteínas por lo que es más difícil de eliminar, también se le denomina agua de monocapa.

Agua débilmente ligada. Para la mayoría de los alimentos el agua es el principal componente ya que su contenido puede ir del 60 al 95% de acuerdo a sus propiedades.

De acuerdo a la clasificación del agua contenida en un alimento, se muestra la Figura 1.6 (Calis-Pérez,2018) la cual muestra a través de una curva de secado la región en la que se pueden encontrar los tipos de agua contenida en un alimento. encontrar los tipos de agua contenida en un alimento.

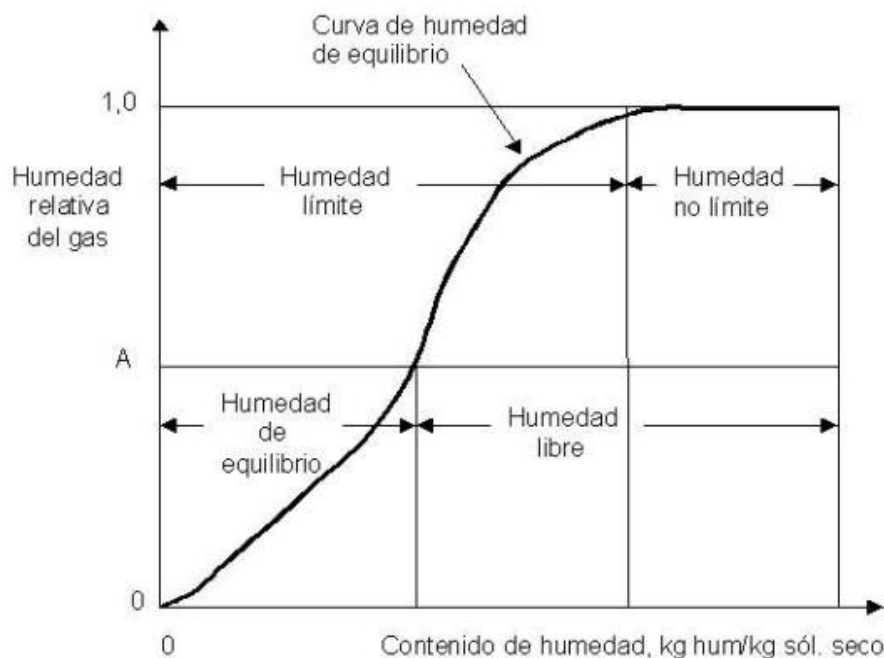


Figura 1.6 Tipos de agua contenida en un alimento (Calis-Pérez, 2018)

El contenido de humedad en base húmeda se suele expresar en función del porcentaje en peso de humedad como se describe en la ecuación 1.1 (Treybal,1998).

$$\frac{\text{kg humedad}}{\text{kg sólido húmedo}} * 100 = \frac{\text{kg humedad}}{\text{kg sólido seco} + \text{kg humedad}} * 100 = \frac{100X}{1 + X} \quad (1.1)$$

Debido a esto, el agua juega un papel muy importante en la conservación de los alimentos al ser un medio en el cual pueden llevarse a cabo reacciones químicas como el pardeamiento enzimático además de que se crea un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos. De acuerdo a las propiedades del alimento y su porcentaje de agua es como podemos elegir el método de secado más conveniente.

1.3.2 Actividad de agua

Esta se puede definir como la cantidad de agua que se encuentra disponible en el alimento y que debido a esta puede haber crecimiento de microorganismos o llevarse

a cabo reacciones químicas. Sus valores van de 0 a 1, siendo este último el valor máximo; en donde entre menor sea esta, se puede prolongar la vida de anaquel de producto (alimento).

En términos termodinámicos, la actividad de agua (a_w) se puede definir como la presión de vapor de agua de un producto y la presión de vapor del agua pura, ya que se asume que el agua se comporta como gas ideal (Badui-Dergal, 2006). Al emplear la presión de vapor, la ecuación para el cálculo de la actividad de agua resulta la ecuación 1.2 (Heldman *et al.*, 2019).

$$a_w = \frac{p}{p^0} = \frac{HR}{100} \quad (1.2)$$

En donde:

a_w = actividad de agua (0 a 1)

p = presión parcial de vapor de agua del alimento (Pa, KPa o mm Hg)

p^0 = presión de vapor de agua pura (Pa, KPa, mm Hg)

HR= es la humedad relativa de equilibrio (%)

La mayoría de los microorganismos requieren valores de a_w mayores a 0.96 para poder desarrollarse, aunque existen algunos hongos que son capaces de crecer con valores de a_w de 0.6. Por ello es de suma importancia asegurar que el producto deshidratado tenga valores menores a 0.6 para poder asegurar la estabilidad del producto.

Además, el efecto de la temperatura se debe de tomar en cuenta debido a que los alimentos no están conformados por mezclas ideales y la actividad de agua varía con la temperatura (Hernández-Luna, 2022).

En términos generales, entre mayor sea el valor de a_w mayor será la inestabilidad del alimento por lo que es importante controlar aquellos factores (pH, temperatura, contenido de humedad) que puedan crear el ambiente propicio para el desarrollo de

estos microorganismos. En la Figura 1.7 se muestra la influencia de la a_w y pH en la estabilidad en los alimentos.

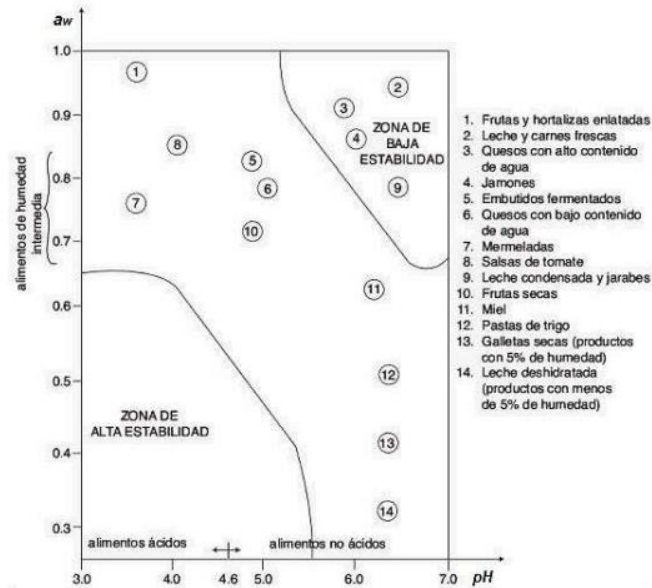


Figura 1.7 Influencia de la a_w y pH en la estabilidad de los alimentos (Calis-Pérez, 2018)

En el rango de 0.98 se pueden desarrollar casi todos los microorganismos patógenos, causando alteraciones y toxiinfecciones alimentarias, siendo los alimentos más susceptibles las carnes y frutas. Para valores de 0.93 a 0.98 de igual manera hay crecimiento de microorganismos, en este caso los embutidos y los quesos son los más afectados.

A partir de 0.85 solo crece como bacteria la *Salmonella aureus* debido a que entre más disminuye la cantidad de agua de igual manera lo hacen los microorganismos. En este rango se ven afectados algunos embutidos como el jamón y productos lácteos.

En valores de 0.60 ya no hay crecimiento de bacterias, si llega a existir alguna contaminación se debe a microorganismos que son resistentes a una baja actividad de agua. En esta categoría se encuentran los frutos secos, cereales y mermeladas.

1.3.3 Color

En los alimentos, el color se define como una cualidad organoléptica; pues sirve como guía para poder evaluar a simple vista su calidad y así se pueda aceptar o rechazar un producto, pues el color y la apariencia son los primeros atributos evaluados en los alimentos, pues estas cualidades nos pueden indicar si el alimento puede ser consumido.

Este parámetro también se asocia con la psicología en base al factor de apreciación para la elección del alimento y también se relaciona con la forma de determinar su maduración, aunque no siempre resulta favorable la elección.

Los colores en los alimentos se deben a la presencia de distintos compuestos existentes que son adquiridos durante su procesamiento y almacenamiento, aunque también pueden ser el resultado de pigmentos naturales como los carotenoides y antocianinas o por la adición de colorantes artificiales.

Debido a que el color está relacionado ampliamente con el espectro de la luz, por lo que se puede medir en los términos de la energía radiante y por su longitud de onda. El espectro visible se define como una radiación electromagnética que va desde los 380 nm hasta los 780 nm, resultando que el color sea una respuesta al estímulo provocado en la retina dentro de este rango de radiación visible, esta percepción va a depender de las condiciones que se presenten.

Para analizar cuanto ha cambiado esta propiedad del alimento después de su procesamiento se puede recurrir al espacio de color CIELAB, el cual es ampliamente utilizado en el área de alimentos ya que correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana, con ello se pueden evaluar los atributos del alimento y establecer tolerancias de color (Talens Oliag).

En la Figura 1.8 se muestra el plano cartesiano de forma tridimensional que indica como están distribuidos los colores de acuerdo a la luminosidad, cromacidad y matiz.

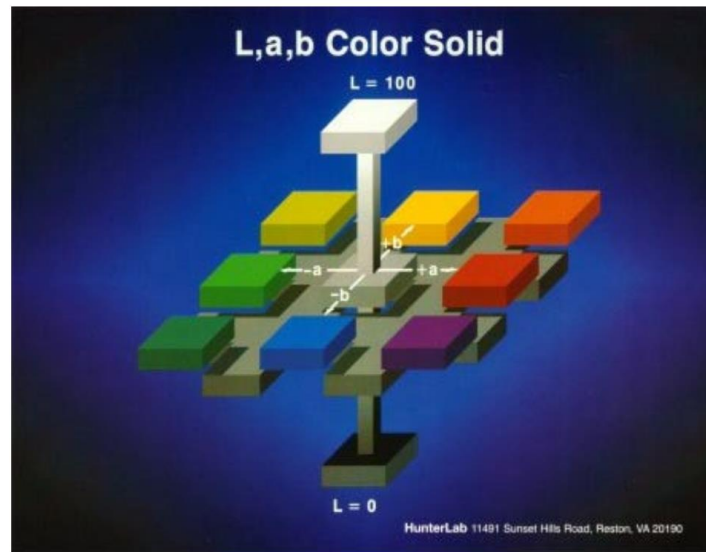


Figura 1.8 Espacio de color Hunter Lab

Al momento de clasificarse los colores se pueden evaluar términos como luminosidad, y saturación dando una forma y medida concisa al color, esto se debe al estímulo cromático que está relacionado con la colorimetría triestímulo.

La tonalidad o matiz está definido por la longitud de onda emitida por la radiación y por medio este atributo es el que hace diferente un color de otro como rojo, amarillo, verde o azul. La cromaticidad va a indicar la intensidad o pureza del color siendo su escala desde un gris pálido hasta un tono brillante y se puede decir que es el grado de color. La luminosidad está dada por el contenido total de energía presente dando lugar a colores claros y oscuros siendo el color blanco la máxima luminosidad y el negro como mínima luminosidad dentro de la escala de grises.

- El parámetro L indica la luminosidad con un valor de 0 a 100 donde 0 pertenece al color negro y el 100 al color blanco.
- El parámetro a indica tonalidades rojizas si muestra valores positivos, mientras que va a mostrar tonalidades verdosas cuando sus valores son negativos.
- El parámetro b indica tonalidades amarillas para valores positivos y tonalidades azules para valores negativos.

Por lo tanto, el color de un alimento puede evaluarse de acuerdo a la luminosidad, tonalidad y pureza de color, que son los 3 atributos del color. La diferencia de color (ΔE) indica la variación entre los parámetros L, a, b al final y al inicio del experimento o del proceso (Buendía-Gonzalez, 2016).

1.3.4 Rehidratación

De acuerdo a diversos autores se ha definido a la rehidratación como una medida del daño ocurrido en el alimento durante el proceso de secado y cuya finalidad es ayudar a restaurar las propiedades del alimento deshidratado a modo que sean similares a las del alimento fresco, además de que en algunas ocasiones este parámetro nos puede dar un indicativo de la calidad del producto pues deben rehidratarse de manera rápida y mostrar las mismas características estructurales, químicas, nutricionales con respecto al alimento fresco .

La rehidratación en los alimentos se pueden encontrar tres pasos que pueden ocurrir de manera simultánea:

- 1) La absorción de agua dentro del material deshidratado
- 2) Lixiviación de productos
- 3) Hinchamiento del material

En donde el cambio en el volumen del producto deshidratado va a ser proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su volumen o tamaño inicial.

Algo muy importante que se debe de tomar en cuenta son las variables de operación en el proceso de secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo), pues estas pueden afectar significativamente la calidad del producto rehidratado.

También existen factores que influyen en la transferencia de materia durante la rehidratación de alimentos, como lo son los factores propios de la deshidratación (pretratamiento, método de secado, temperatura, velocidad de secado y

almacenamiento) así como las condiciones de rehidratación a utilizar (Marín *et al.*, 2006).

1.4 Isotermas de sorción

El término de sorción es empleado para relacionar el comportamiento de un producto dependiendo de su contenido de humedad inicial, ya sea que gane (desorción) o pierda (adsorción) agua. Los isotermas de sorción indican la cantidad de agua retenida por el alimento en función de la a_w a una temperatura constante (Luna-Flores, 2018).

Por lo tanto, la absorción de agua de los alimentos es un proceso donde las moléculas de agua se combinan progresiva y reversiblemente con las partículas del alimento mediante quimisorción, adsorción física y condensación de múltiples placas (Hernández- Luna, 2022). Por lo que las isotermas de sorción nos permiten predecir la cantidad de un agua que un material mantendrá si se expone al aire a una humedad relativa y cierta temperatura (Luna-Flores, 2018).

Las isotermas de sorción pueden ser obtenidas gráficamente en dos sentidos (adsorción y desorción), en el caso de la adsorción esta va a representar la velocidad con la que un alimento absorbe humedad y se hidrata, es decir, su higroscopicidad (Badui-Dergal, 2006).

En la figura 1.9 (Hernandez-Luna,2022) se muestra una isoterma de adsorción la cual se divide en tres regiones: en la región A es cuando el agua fuertemente unida al producto alimenticio ya que la entalpía de vaporización en este punto es más alta que la del agua pura, en la región B el agua se retiene en menor cantidad y la entalpía de vaporización sigue siendo más alta que la del agua pura aunque menor en comparación con la de la región A, en la región C las propiedades ya son casi similares entre las del agua y la del agua pura.

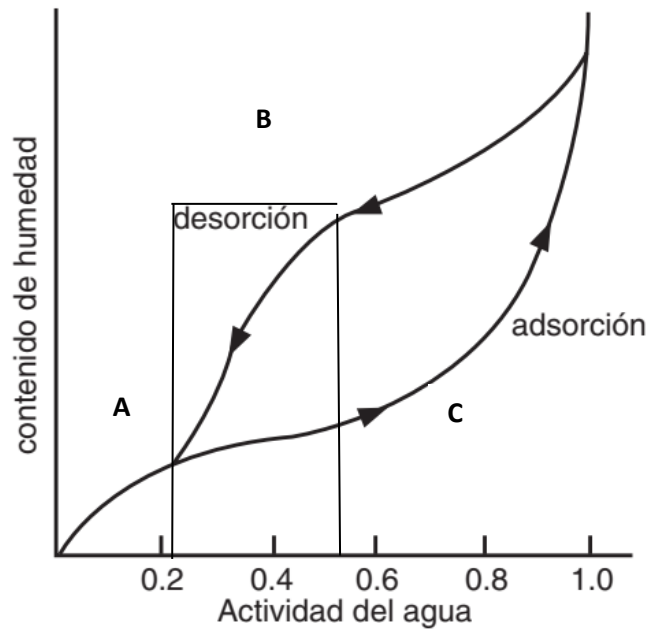


Fig. 1.9 Isoterma de sorción (Hernández-Luna,2022)

1.4.1 Modelo de BET (Brunauer-Emmett-Teller)

La ecuación de BET se utiliza con mayor frecuencia para caracterizar la isoterma y está representada por la ecuación 1.3 en donde la constante C está relacionada con el calor neto de sorción y donde X_m es el contenido de humedad de la monocapa (Hernández-Luna 2022).

$$\frac{a_w}{1 - a_w} = \frac{1}{X_m C} + \frac{a_w (C - 1)}{X_m C} \quad (1.3)$$

Cabe mencionar que esta ecuación se ajusta mejor para datos de a_w de 0.45 a 0.5, pues para valores mayores de 0.5 ya no es válida (Hernández-Luna, 2022) aunque se considera una guía razonable para comprender la estabilidad con respecto al contenido de humedad en equilibrio (Luna-Flores, 2018).

1.4.2 Modelo de GAB (Guggenheim- Anderson – de Boer)

El modelo de GAB es un modelo multicapa y se considera una de las mejores ecuaciones para el ajuste de las isotermas la cual está dada por la ecuación 1.4 reportada por Hernández-Luna (2022); esta tiene dos constantes y se requieren de cinco valores de datos experimentales y se ajusta para valores de a_w de 0.94.

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C_G K a_w}{(C_G - K a_w)[1 + (C_G - 1)K a_w]} \quad (1.4)$$

Donde K varia de 0.7 a 1, el valor de C_G se encuentra entre 1 y 20, X_m es el valor de la monocapa como gramos de agua por gramos de sólidos y a_w es la actividad de agua. Además, esta ecuación ha sido recomendada por el Grupo de Proyectos Europeos COST 90 sobre Propiedades Físicas de los alimentos (Luna-Flores, 2018).

1.5 Estudios previos

Saldanha-Soares *et al.* (2022) monitorearon el comportamiento de la temperatura y la presión en el lecho durante el secado de semillas de trébol persa y trébol de hoja de flecha en donde las temperaturas de la corriente de entrada utilizadas fueron de 40 y 50°C y una velocidad de fluidización de 2.7 veces la mínima.

Galvão-Andressa *et al.* (2020) estudiaron el efecto del pretratamiento ultrasónico en manzana deshidratada mediante secado por lecho fluidizado en donde el diseño experimental evaluó el efecto del tiempo de pretratamiento con ultrasonido sobre la pérdida de sólidos solubles durante el pretratamiento y el tiempo de secado.

Domínguez-Niño *et al.* (2016) evaluaron el efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades fisicoquímicas (contenido de humedad, a_w y diferencia de color) y microbiológicas de queso fresco mexicano con el objetivo de preservar sus propiedades donde los factores de interés a investigar fueron el tiempo de secado, temperatura del aire de secado y el tamaño de partícula.

Aquino-Bolaños *et al.* (2017) evaluaron el efecto de diferentes métodos de cocción (ebullición, vapor y horneado) sobre compuestos fenólicos y actividad antioxidante en flor comestible de Gasparitos (*Erythrina americana*) con la final de conocer cual método permitía conservar sus propiedades antioxidantes.

Hincapié & Zapata (2019) realizaron el estudio de la cinética de deshidratación de Uchuva (*Physalis peruviana L*) en un secador de lecho fluidizado a temperaturas de 60,70 y 80 °C, evaluando el efecto de la temperatura de secado sobre propiedades como pH, acidez, humedad y color.

López-Hermida *et al.* (2021) desarrollaron un producto alimenticio a base de Gasparito con la finalidad de resaltar sus propiedades nutricionales y como alternativa en el consumo de alimentos, proponiendo formulaciones para la elaboración de panque a base de Gasparitos los cuales fueron evaluados mediante pruebas organolépticas y bromatológicas.

Luna-Guandulay (2021) realizó la evaluación del secado de flor de calabaza con la finalidad de preservar sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes además de evaluar el grado de rehidratación del producto, así como la determinación de propiedades como vitamina C.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología general

Para lograr el objetivo de este trabajo, se estudió la deshidratación de la flor de Gasparito mediante el secado por lecho fluidizado evaluando sus propiedades fisicoquímicas. En la Figura 2.1 se muestra un diagrama de flujo en el cual se describen las etapas principales así como las actividades realizadas para cada una de ellas, llevándose a cabo la parte experimental en el laboratorio de plantas piloto del Instituto Tecnológico de Orizaba.



Figura 2.1 Metodología general para el proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito.

2.2 Selección y acondicionamiento de la materia prima

Para la selección y acondicionamiento de la materia prima se seleccionó la flor de Gasparito que no presentara daño mecánico, marchitamiento y pardeamiento. También se retiraron los pistilos y agentes extraños como tierra, una vez que se realizó la selección de la muestra se cortó de acuerdo a los tamaños requeridos para la experimentación (entera y mitad) como se muestra en la Figura 2.2.

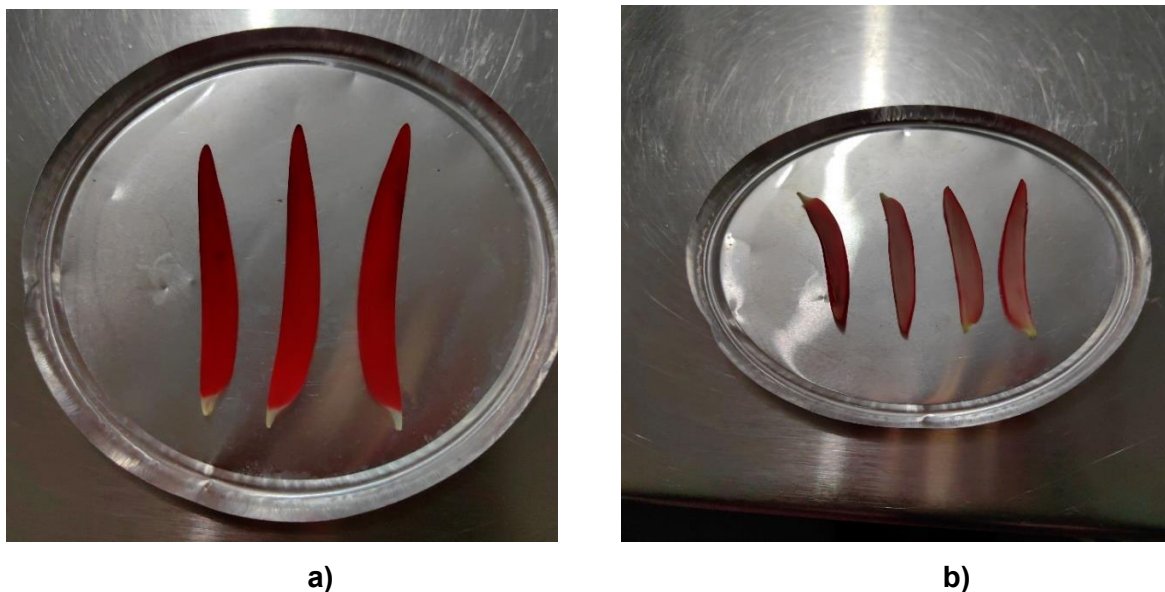


Figura 2.2 Acondicionamiento de la flor de Gasparito: a) entera y b) mitad.

2.3 Secado

Debido a que la flor de Gasparito es muy sensible por la senescencia moderada que presenta y a su corta vida de anaquel así como a su corta temporada de floración, es necesario implementar un proceso de conservación que evite que pierda sus propiedades nutrimentales y así prolongar su estabilidad y vida de anaquel.

2.3.1 Secado por lecho fluidizado

En el proceso de secado por lecho fluidizado se hace pasar aire caliente provocando una eficiente transferencia de masa. Para la deshidratación de la flor de Gasparito se

utilizó un secador de lecho fluidizado como se muestra en la Figura 2.3 de la marca Retsch, modelo TG 200, tipo batch con una carga de 1000 mL y con una potencia del ventilador aproximada de 185 m³/h (ajustable).



Figura 2.3 Secador de lecho fluidizado marca Retsch modelo TG 200.

2.4 Diseño de experimentos

Se aplicó un diseño de experimentos mixto 3x3x2 completamente al azar, con dos variables cuantitativas: temperatura (50, 60 y 70 °C) y tiempo de secado (60, 90 y 120 min) y una cualitativa (flor Gasparito entera y en mitad) como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Variables consideradas para el proceso de secado de la flor de Gasparito.

Variable	Nivel	Nivel	Nivel
	Alto	Medio	Bajo
Temperatura del aire de entrada (°C)	70	60	50
Tiempo de secado (min)	120	90	60
Tamaño de la muestra		Entera	Mitad

El diseño propuesto dio un total de 18 experimentos los cuales se realizaron por duplicado como se muestra en la Tabla 2.2 y cada factor se definió a través de pruebas preliminares realizadas en el laboratorio.

Tabla 2.2 Diseño de experimentos para el proceso de secado de la flor de Gasparito

Experimento	Tamaño	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	1	50	60
2	1	60	60
3	1	70	60
4	1	50	90
5	1	60	90
6	1	70	90
7	1	50	120
8	1	60	120
9	1	70	120
10	2	50	60
11	2	60	60
12	2	70	60
13	2	50	90
14	2	60	90
15	2	70	90
16	2	50	120
17	2	60	120
18	2	70	120

2.5 Propiedades fisicoquímicas

Como parte de la medición de las propiedades fisicoquímicas se determinaron parámetros como lo son contenido de humedad (X), actividad de agua (a_w) y color. Para ello, se tomarán muestras a los 5, 10, 15, 30, 40, 50, 60, 90, 120 min, Se realizó un muestreo de cada una de las propiedades antes, durante y después del proceso de secado.

2.5.1 Contenido de humedad

Para conocer el contenido de humedad se utilizó una termobalanza de la marca Santorius y modelo MA35M-000115V1 como se muestra en la Figura 2.4. Se colocó aproximadamente 1 g de muestra de flor de Gasparito distribuida uniformemente en una charola pequeña de aluminio a una temperatura de 60°C.

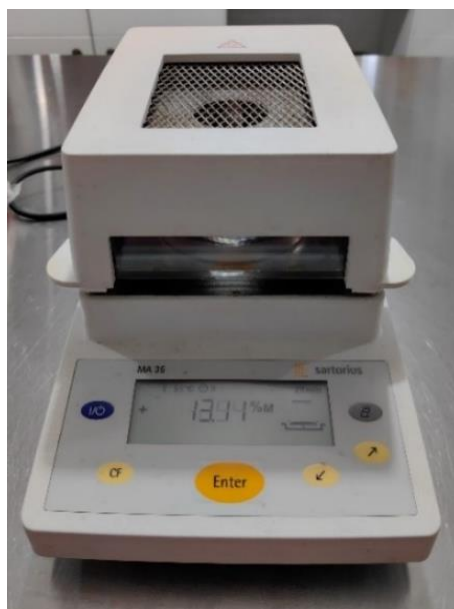


Figura 2.4 Termobalanza Santorius modelo MA35M-000115V1

2.5.2 Actividad de agua

La medición de actividad de agua se realizó antes, durante y después del proceso de secado a temperatura ambiente colocando la muestra al centro de una bandeja de

plástico en la parte inferior y cerrándolo para realizar la lectura. Para la medición de actividad de agua se realizó mediante un medidor de actividad de agua marca VTSYIQI modelo VTS- 160A, el cual se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.5 Medidor de actividad de agua marca VTSYIQI modelo VTS- 160A

2.5.3 Color

Para el caso del parámetro de color, se tomaron como color estándar un pétalo de flor de Gasparito fresca y se midieron los parámetros L, a, b y ΔE mediante un colorímetro HunterLab modelo MiniScan XE plus como se muestra en la Figura 2.6.

Para la prueba de rehidratación el color del alimento rehidratado debe tener un color similar al del alimento fresco para que se pueda considerar como un producto de alta calidad, aunque dicho cambio de color puede deberse a cambios en la temperatura y en el pH (Luna- Guandulay, 2021).

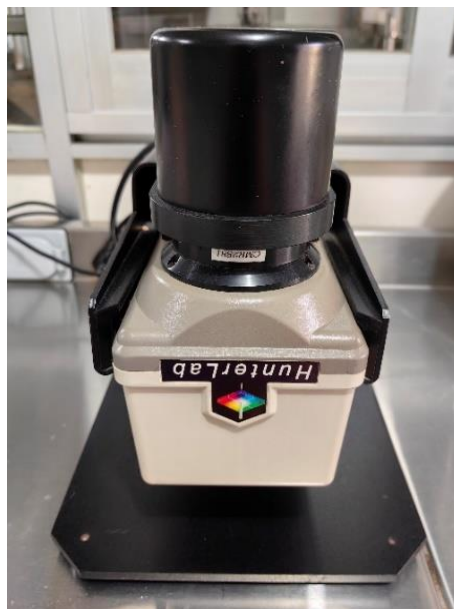


Figura 2.6 Colorímetro HunterLab modelo MiniScan XE plus

2.5.4 Grado de rehidratación (CR)

Para realizar la evaluación de la calidad de un alimento después del proceso de secado y conocer si presenta propiedades similares a las de un producto fresco. Uno de estos parámetros es la capacidad de retención de agua (CRA). Para dicha determinación se utilizó el método propuesto por Reyes, *et al.*, 2018. Cada una de las muestras fueron sumergidas en agua destilada y en solución de NaOH al 5 % como medios rehidratantes a 20 y 30 °C.

Posteriormente se determinaron su peso y color tomando muestras los primeros 20 minutos cada 5 minutos y posteriormente cada 10 minutos hasta llegar a los 60 minutos y se calculó el grado de rehidratación mediante la siguiente ecuación:

$$CR = \frac{\text{contenido de agua absorbida}}{\text{masa de la muestra deshidratada}} = \frac{W_r - W_d}{W_f - W_d} \quad 1.5$$

Donde:

W_r : Peso de la muestra rehidratada

W_d : Peso de la muestra deshidratada

W_f : Peso de la muestra fresca

2.5.5 Actividad antioxidante

Para evaluar el contenido de antioxidantes en la flor de Gasparito, como primer paso se realizó un extracto de la flor deshidratada en donde se pesaron aproximadamente 0.5 g de muestra para posteriormente molerla y se vertió en 3 ml de metanol. Posteriormente se agitó en un vortex durante 3 minutos y después a una centrifuga durante 10 minutos a 4000 rpm.

La realización de la solución DPPH se llevó a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por Brand- Williams *et al.*, 1995 en donde para ello se pesaron 1.8 mg de DPPH y se agregó a un matraz aforado de 50 ml con metanol.

Para la medición de la absorbancia se preparó la solución problema con 2.9 ml de solución DPPH y 0.1 ml del extracto, mientras que para la solución patrón se tomaron 2.9 ml de solución 2.9 ml de solución DPPH y 0.1 ml de metanol dejándose reposar durante 30 minutos y posteriormente fueron llevadas a un espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Genesys 150, siendo leídas estas muestras a 517 nm y dichas mediciones se llevaron a cabo por duplicado.



Figura 2.7 Espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Genesys 150

2.5.6 Antocianinas

La cuantificación de antocianinas presentes en la flor de Gasparito de llevo a cabo mediante la metodología propuesta por Dimas- López *et al.*, 2022 en donde para llevar cabo la cuantificación se preparó una solución buffer de pH 1 (para ello, se pesaron 1.864 g de KCl y se mezclaron en 980 ml de agua destilada, después se ajustó a un pH de 1 con HCl concentrado aforando la solución a 1 L con agua destilada) y una solución buffer de pH 4.5 (en donde se pesaron 32.812 g de acetato de sodio, después se mezclaron en 980 mL de agua destilada y se ajustó a un pH de 4.5 con HCl concentrado y se aforó la solución a 1 L con agua destilada). Posteriormente, para la cuantificación se tomaron 0.5 ml del extracto de la muestra y se agregaron 2 ml de cada solución buffer en diferentes tubos de ensaye, se dejaron reposar por 15 minutos y se leyeron a una longitud de onda de 520 y 720 nm en un espectrofotómetro.

2.5.7 Vitamina C

Para cuantificar el contenido de vitamina C se hizo un extracto de la flor de Gasparito y una titulación yodométrica. Para realizar la determinación se empleó la metodología de acuerdo a Hernández-Vásquez y Pineda-Cornejo, 2013 en donde el extracto obtenido se aforó a 100 mL con agua destilada. En la parte de la titulación se empleó yodo a 0.01 N y almidón al 1% como indicador, en donde de la solución de extracto se tomó una alícuota de 10 mL y se agregaron 10 gotas de almidón y esta se valoró hasta que se tornara un color azul.

La cantidad de vitamina C se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Gramos de ácido ascórbico: } \frac{\text{Vol} * \text{PM} * \text{N}}{\text{H}^+ * 1000} \quad (1.6)$$

Donde:

Vol: es el volumen del titulante gastado

PM: es el peso molecular de la sustancia analizada

H⁺: es el número de hidrógenos intercambiados en la reacción

2.5.8 Cenizas

Para la determinación de cenizas, se colocaron en crisoles (previamente llevados a peso constante) muestras de la flor de Gasparito en una mufla marca Thermolyne modelo FB1315M como se muestra en la Figura 2.7, a una temperatura de 450 °C por 3 horas, se dejaron enfriar para posteriormente pesarlos y por diferencia de pesos poder calcular el contenido de cenizas. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_{\text{ceniza}}}{m_{\text{inicial}}} * 100 \quad (1.7)$$

Donde:

m_{ceniza} = cantidad de muestra final calcinada

m_{inicial} = cantidad de muestra inicial



Figura 2.7 Mufla Thermolyne modelo FB1315M.

2.6 Isotermas de sorción

Para analizar el comportamiento de un alimento después del proceso de secado se realizarán las isotermas de adsorción y desorción de aquellas muestras que presenten las mejores condiciones, para ello se hará uso de un generador de isotermas, marca Aqualab como se muestra en la Figura 2.8



Figura 2.8. Generador de isotermas

CAPITULO 3

RESULTADOS

CAPITULO 3. RESULTADOS

3.1 Secado

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizó flor de Gasparito *Erythrina americana Miller* cultivada en la región de Mariano Escobedo, Veracruz. La flor de Gasparito que presentó el menor daño mecánico, pardeamiento y marchitamiento fue seleccionada para posteriormente ser limpiada y acondicionada para llevarla al proceso de secado.

Para la alimentación a la cámara del secador se utilizaron 80 g de flor de Gasparito en cada uno de los experimentos del proceso de secado (Figura 3.1). Cada uno de los experimentos se realizó por duplicado, evaluándose durante todo el proceso sus propiedades fisicoquímicas (contenido de humedad, actividad de agua y color) que fueron descritas en el capítulo 2.



Figura 3.1. Cámara de secador de lecho fluidizado

La flor de Gasparito fresca presentó valores de contenido de humedad y actividad de agua iniciales del 90 % y 0.90 respectivamente, demostrando que las condiciones para el crecimiento de microorganismos son favorables, por lo que, el alimento es altamente perecedero.

Con respecto a los parámetros de color, se encontró que la flor de Gasparito presenta una baja luminosidad y valores positivos tanto como para *a* y *b* los cuales

indican tonalidades rojas y amarillas dentro del espacio de color HunterLab. En la Tabla 3.1 se muestran los valores de contenido de humedad y actividad de agua al final del proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito.

Se puede observar que, de acuerdo a los valores obtenidos, el producto final deshidratado es apto para su almacenamiento, pues al contar con un contenido de humedad menor al 10 % y una actividad de agua menor al 0.4 se puede asegurar su estabilidad microbiológica, ya que a estas condiciones los microorganismos se inactivan y con ello se puede prolongar su tiempo de vida de anaquel.

Tabla 3.1 Resultados experimentales del contenido de humedad y actividad de agua de la flor de Gasparito deshidratada por secado por lecho fluidizado.

Experimento	Contenido de humedad (% X)	Actividad de agua (a_w)
1	7.215 ^{0.05}	0.575 ^{0.007}
2	5.890 ^{0.02}	0.540 ^{0.002}
3	4.290 ^{0.05}	0.520 ^{0.028}
4	4.690 ^{0.01}	0.490 ^{0.028}
5	2.160 ^{0.01}	0.480 ^{0.028}
6	2.425 ^{0.02}	0.420 ^{0.028}
7	3.320 ^{0.01}	0.385 ^{0.007}
8	2.260 ^{0.01}	0.355 ^{0.007}
9	2.520 ^{0.01}	0.330 ^{0.014}
10	6.240 ^{0.01}	0.530 ^{0.014}
11	4.135 ^{0.01}	0.510 ^{0.028}
12	3.100 ^{0.01}	0.480 ^{0.028}
13	4.750 ^{0.01}	0.360 ^{0.028}
14	4.680 ^{0.01}	0.340 ^{0.028}
15	2.685 ^{0.02}	0.330 ^{0.028}
16	3.250 ^{0.01}	0.360 ^{0.014}
17	2.650 ^{0.01}	0.345 ^{0.007}
18	2.810 ^{0.01}	0.300 ^{0.014}

3.1.1. Contenido de humedad

Las curvas de contenido de humedad indican el comportamiento de la pérdida de humedad de la flor de Gasparito con respecto al tiempo durante el proceso de secado. En la Figura 3.2 se muestra la evolución del contenido de humedad de la flor de Gasparito entera a las diferentes condiciones de secado establecidas.

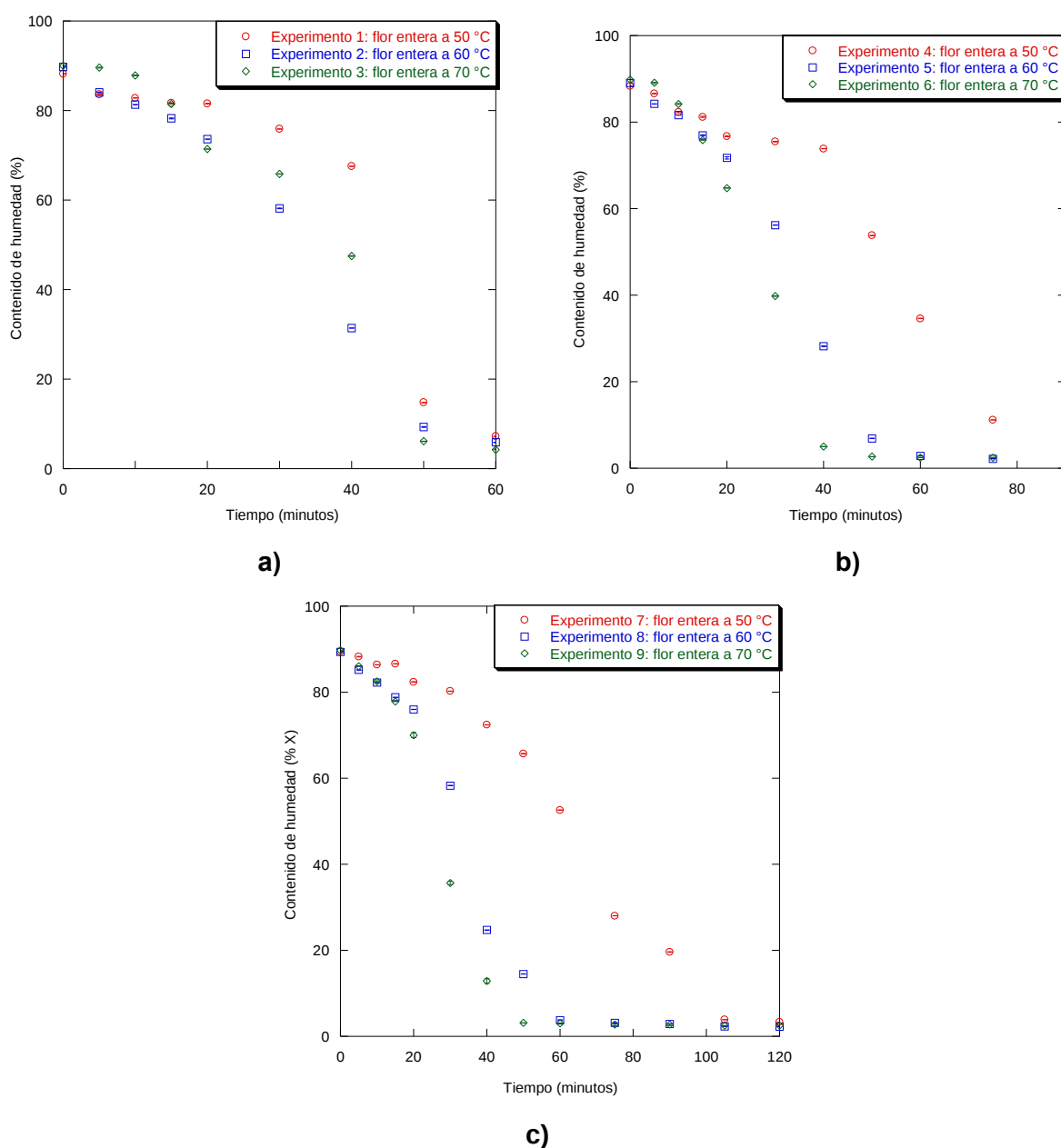
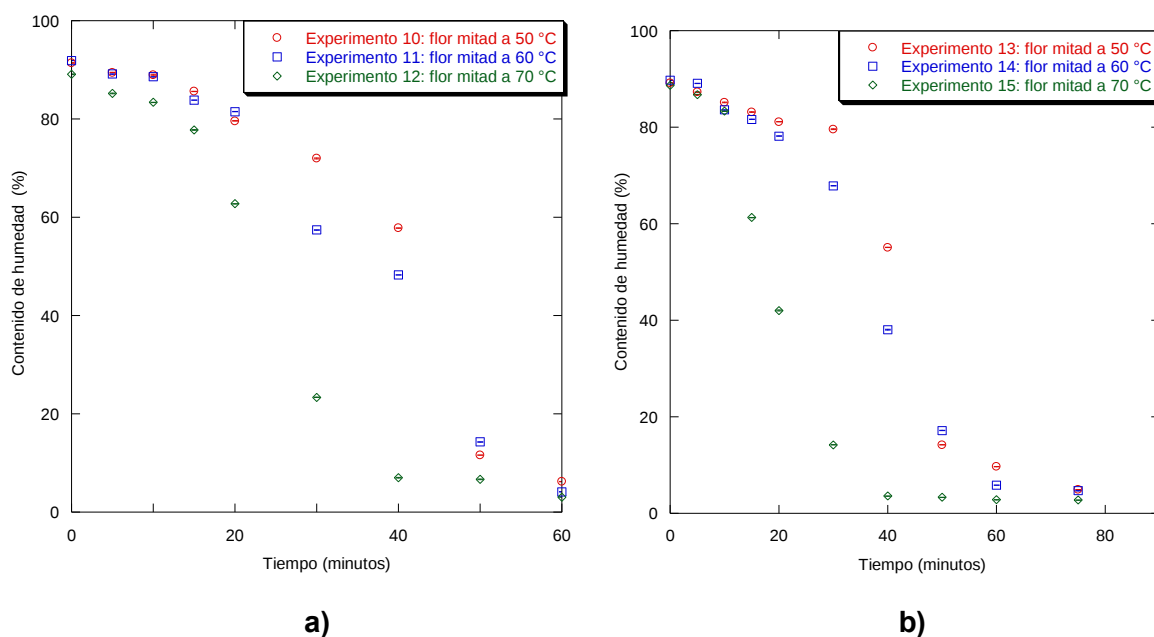


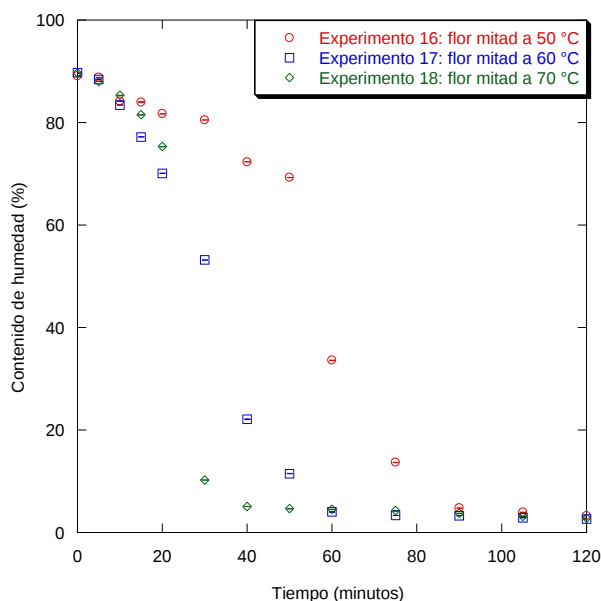
Figura 3.2. Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado de flor de Gasparito pétalo entero: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

Se puede observar que aquellos experimentos que se llevaron a cabo a la temperatura de 50°C fueron los que presentaron un mayor contenido de humedad al final del proceso de secado, en comparación con los experimentos realizados a la temperatura de 70°C, en los cuales se obtuvieron los valores más bajos de contenido de humedad, esto se debe a que a una mayor temperatura el tiempo de secado disminuye y también al incremento de la velocidad de aire, indicando que estos dos factores influye durante el proceso de secado.

Para el caso de la flor con el corte en mitad en comparación a la flor entera, se puede observar que, debido a que se reduce el tamaño de partícula existe una mayor área de contacto entre el alimento y el flujo de aire, provocando que el proceso de secado se lleve a cabo en un menor tiempo y, por consiguiente, alcance una estabilidad en un periodo de tiempo más corto como se muestra en la Figura 3.3.

Además, se puede observar que al final del proceso ambas tuvieron un contenido de humedad similar para un tiempo de secado de 120 minutos a la temperatura de 70 °C y un comportamiento similar en la curva de secado para cada una de las condiciones del proceso.





c)

Figura 3.3. Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

3.1.2 Actividad de agua

En un alimento deshidratado, tanto el contenido de humedad como actividad de agua son parámetros fundamentales para la determinación de la calidad del producto alimenticio ya que durante el proceso de secado se llevan a cabo alteraciones fisicoquímicas que pueden afectar su estabilidad. En la Figura 3.4 se muestra la evolución de actividad de agua durante el proceso de secado de la flor de Gasparito entera.

Se puede observar que, para cada uno de los experimentos, se obtuvieron valores de actividad de agua menores al 0.6 en cada uno de los tiempos de secado propuestos (60, 90 y 120 minutos), demostrando que la flor de Gasparito deshidratada mediante este método de secado por lecho fluidizado es una buena opción para su conservación.

Además, al inicio del proceso de secado los valores de este parámetro disminuyen lentamente hasta que llega un punto en el que se puede observar un decremento notable, esto debido a la remoción del agua de la flor hasta que alcanza una

estabilidad el proceso, como ocurre con el contenido de humedad, por lo que se puede decir que estas dos propiedades fisicoquímicas están intrínsecamente relacionadas entre sí.

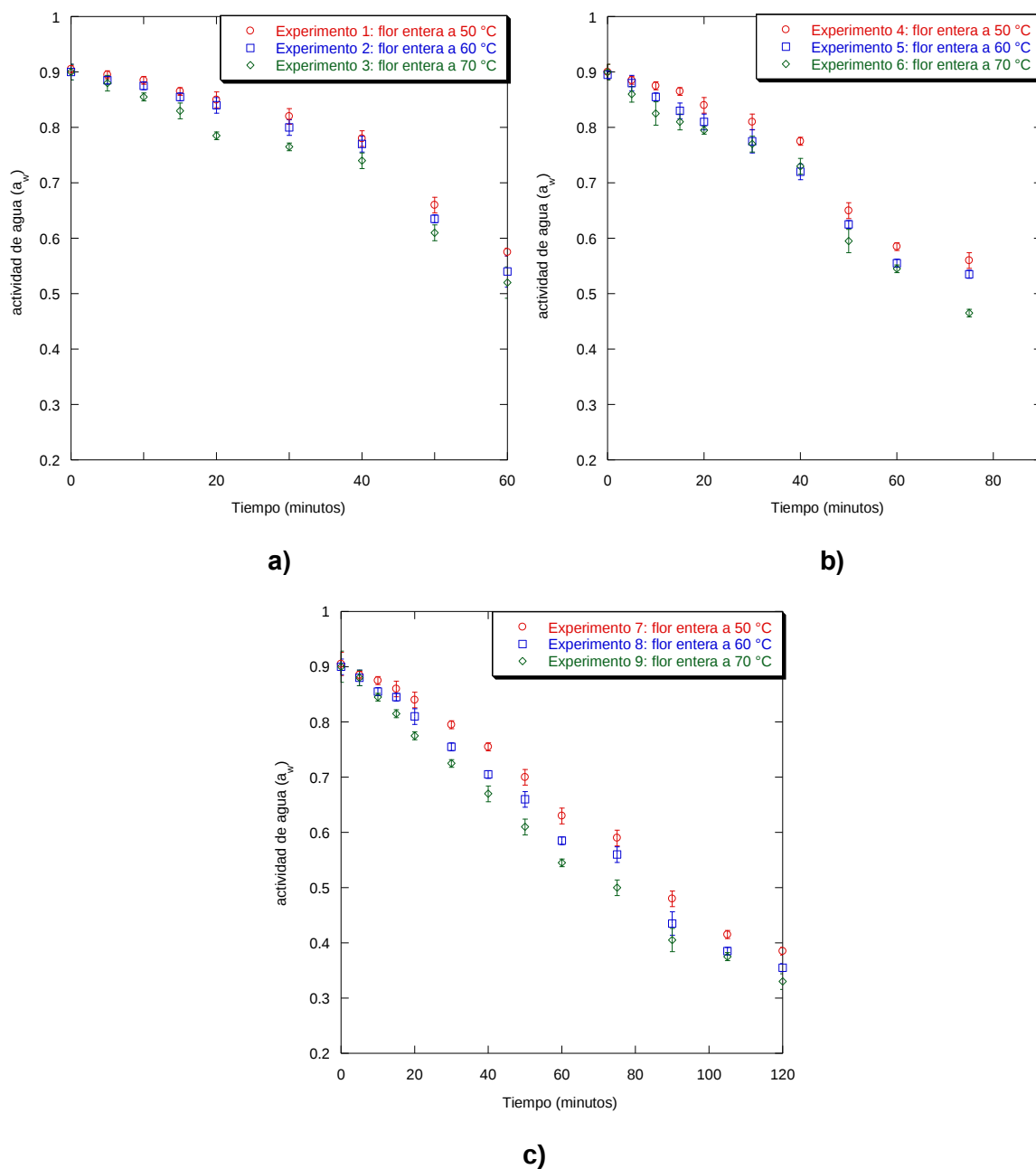


Figura 3.4 Evolución del contenido de la actividad de agua durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

Para el caso del análisis de la evolución de la actividad de agua en la flor de Gasparito en mitad como se muestra en la Figura 3.5, se puede observar que el comportamiento de la curva es similar al de la flor entera, por lo tanto, se puede decir que, la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso de secado tiene una mayor influencia que el tipo de corte en la flor, pues los valores al final del proceso fueron similares en ambos tipos de corte a la temperatura de 70 °C a un tiempo de secado de 120 minutos.

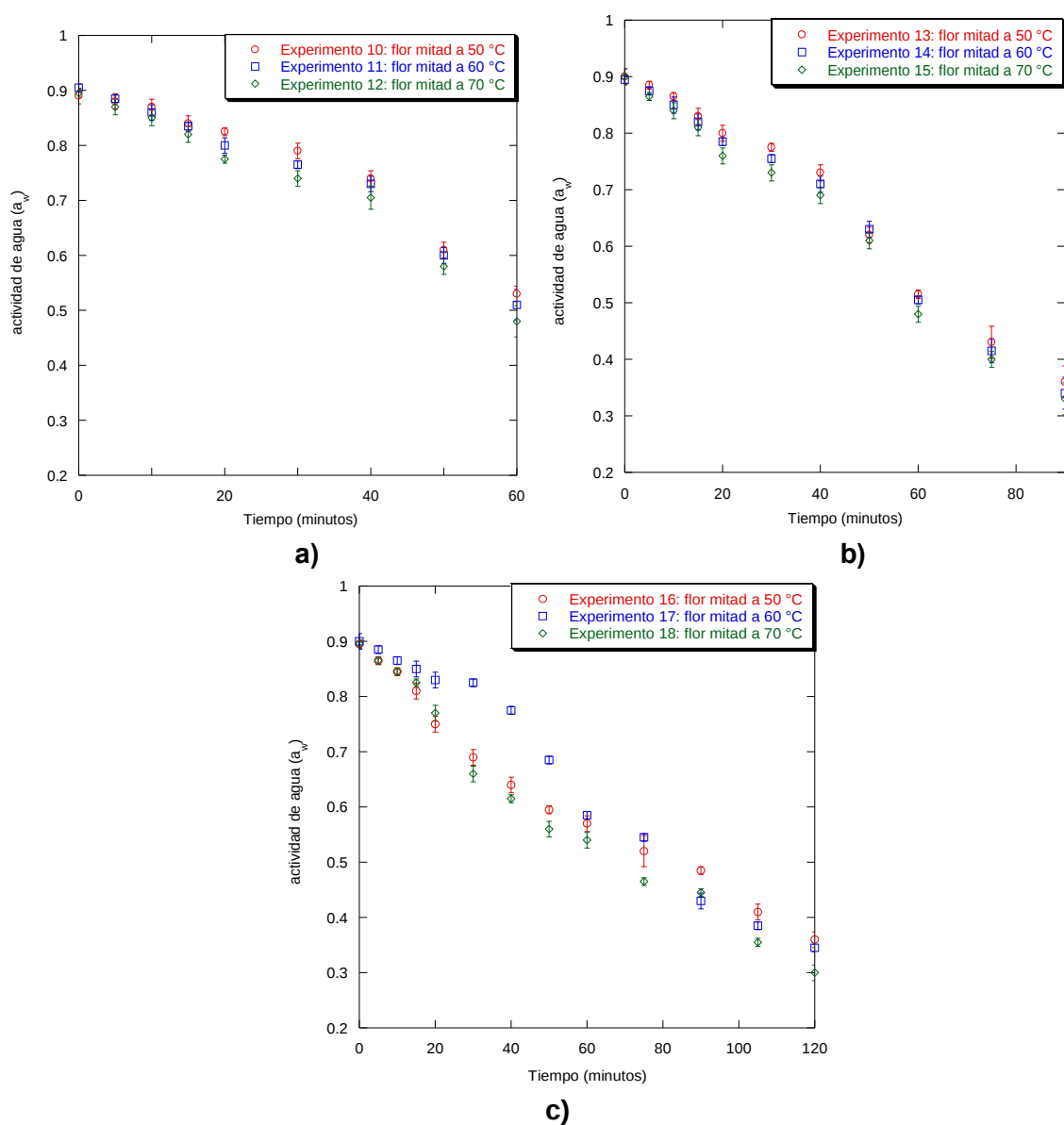


Figura 3.5 Evolución del contenido de la actividad de agua durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

3.1.3 Color

El color en un alimento es un indicativo de calidad, pues mediante este parámetro se puede saber si este es apto para su consumo, si es agradable o no ante la vista del consumidor, además, este parámetro se puede ver afectado por diversos factores como la iluminación a la que es expuesto el alimento, por reacciones químicas que se llevan a cabo en el debido a los compuestos presentes, así como las propias características de dicho alimento. Es por ello, que en la presente investigación mediante el sistema Hunter Lab, se evaluaron los parámetros de color (**L**, **a**, **b**) y posteriormente se calculó la diferencial de color (**ΔE**) para conocer la variabilidad de color entre la flor de Gasparito fresca y la deshidratada durante el proceso de secado por lecho fluidizado. En la Tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de color al final del proceso de secado por lecho fluidizado.

Tabla 3.2 Resultados experimentales de color de la flor de Gasparito obtenidos al final del proceso de secado por lecho fluidizado.

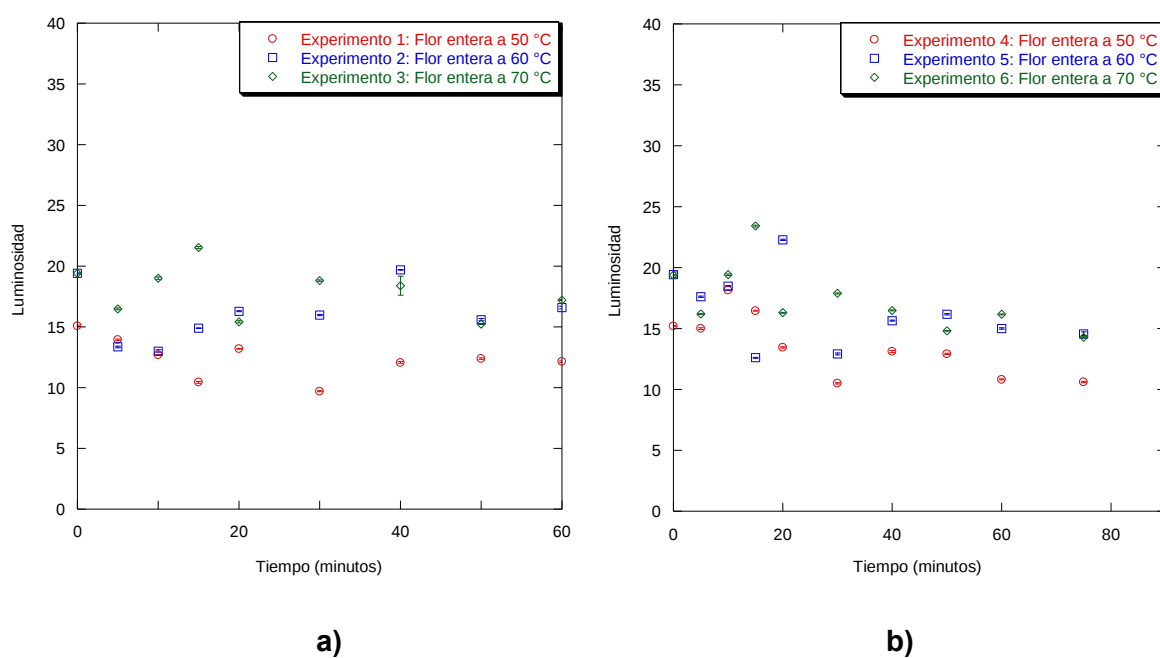
Exp.	Parámetros de color			
	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>ΔE</i>
1	12.15 ^{0.063}	4.42 ^{0.035}	2.91 ^{0.056}	24.65 ^{0.183}
2	16.60 ^{0.106}	5.03 ^{0.063}	3.78 ^{0.035}	33.18 ^{0.084}
3	17.21 ^{0.042}	5.44 ^{0.042}	4.44 ^{0.042}	28.56 ^{0.070}
4	12.82 ^{0.035}	3.14 ^{0.042}	3.92 ^{0.035}	28.67 ^{0.035}
5	13.20 ^{0.084}	3.74 ^{0.049}	3.64 ^{0.035}	30.73 ^{0.212}
6	15.43 ^{0.162}	4.70 ^{0.028}	2.47 ^{0.028}	34.68 ^{0.042}
7	14.73 ^{0.028}	2.02 ^{0.077}	3.64 ^{0.035}	39.47 ^{0.155}
8	9.28 ^{0.028}	3.19 ^{0.049}	2.95 ^{0.042}	43.19 ^{0.106}
9	13.24 ^{0.049}	5.54 ^{0.042}	2.58 ^{0.056}	36.09 ^{0.049}
10	15.72 ^{0.028}	2.30 ^{0.042}	4.17 ^{0.042}	35.20 ^{0.028}
11	17.11 ^{0.049}	2.85 ^{0.049}	4.47 ^{0.028}	34.17 ^{0.070}
12	17.86 ^{0.042}	3.42 ^{0.035}	3.56 ^{0.049}	29.30 ^{0.077}
13	12.13 ^{0.028}	2.85 ^{0.063}	2.35 ^{0.028}	28.61 ^{0.042}
14	15.13 ^{0.063}	3.42 ^{0.042}	3.58 ^{0.042}	25.47 ^{0.035}
15	16.59 ^{0.035}	3.54 ^{0.035}	5.32 ^{0.042}	26.03 ^{0.056}
16	12.60 ^{0.049}	3.20 ^{0.035}	3.12 ^{0.028}	30.51 ^{0.053}
17	13.31 ^{0.028}	4.51 ^{0.042}	3.50 ^{0.035}	26.47 ^{0.077}
18	15.80 ^{0.014}	5.71 ^{0.042}	4.14 ^{0.042}	26.32 ^{0.056}

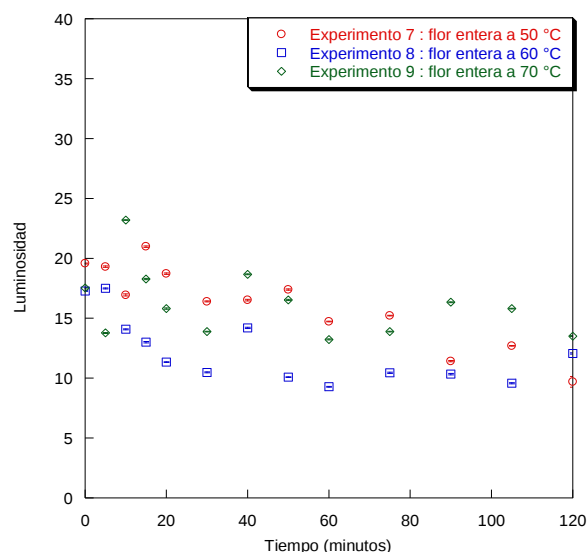
Se puede observar que los valores de ΔE son relativamente más altos en los experimentos realizados a la temperatura de 70 °C indicando que a una mayor temperatura existe un cambio significativo en el cambio de color del alimento al final del proceso de secado.

3.1.3.1 Luminosidad (L)

Para encontrar una comparativa de las propiedades fisicoquímicas entre el alimento fresco y el deshidratado, evaluar el color durante el proceso de secado así como las condiciones adecuadas para su conservación es muy importante, pues, en las flores comestibles el aspecto visual permite conocer el grado de marchitamiento, ya que conforme ocurre este, la luminosidad se va perdiendo en el alimento, por lo que estudiar el comportamiento de este parámetro durante el proceso de secado es de gran interés.

Para obtener dicha comparación de este parámetro entre el alimento fresco y el deshidratado, en la Figura 3.6 se muestra la evolución de la luminosidad durante el proceso de secado de la flor de Gasparito entera a las diferentes temperaturas (50, 60 y 70 °C) a los diferentes tiempos de secado (60, 90 y 120 min).





c)

Figura 3.6 Evolución del parámetro L durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

Se puede observar que para el caso de la flor de Gasparito entera se obtuvieron valores de luminosidad entre los 9 y 25, obteniéndose valores más altos para los tratamientos que se llevaron a 70°C en comparación a los de 50 °C en los cuales se obtuvieron valores menores, esto se debe principalmente al cambio de pigmentación que ocurre durante el proceso de secado debido a la temperatura y a la velocidad del flujo de aire, así como a la cantidad de agua eliminada en el alimento, viéndose modificada su reflectancia, además de que al inicio del proceso existe una variación, pero posteriormente estos valores se mantienen estables conforme ocurre el proceso de secado.

Para el caso de la flor de Gasparito en mitad como se muestra en la Figura 3.7, se puede observar que se obtuvieron valores similares a los de la flor entera, aunque se presenta una menor variabilidad de este parámetro para el caso del corte en mitad con respecto a la flor entera, pues el secado alcanza su estabilidad en un lapso menor de tiempo, así reduciendo el tiempo de secado y haciendo que la variación de luminosidad sea menor.

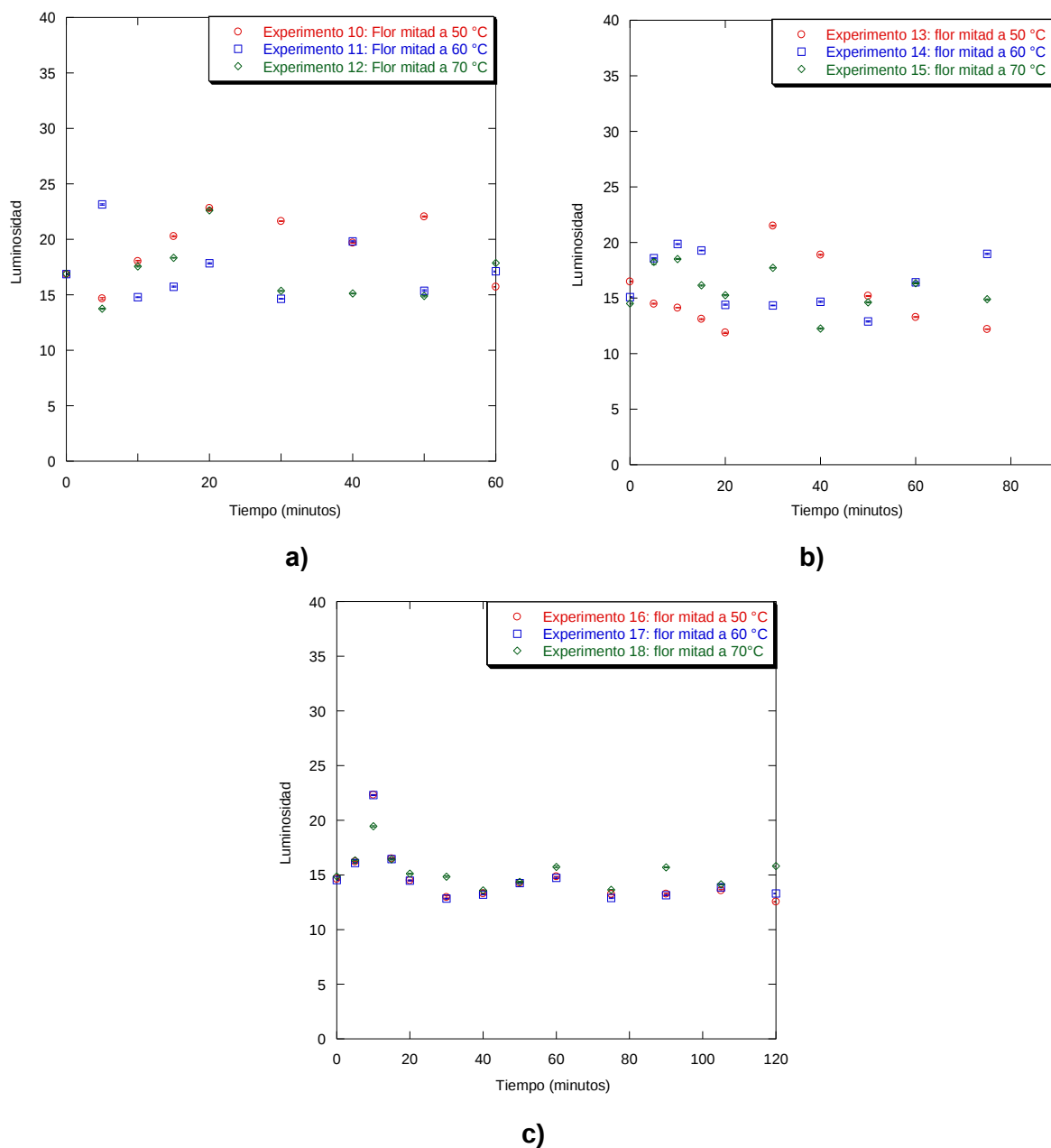


Figura 3.7 Evolución del parámetro L durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

3.1.3.2 Parámetro a

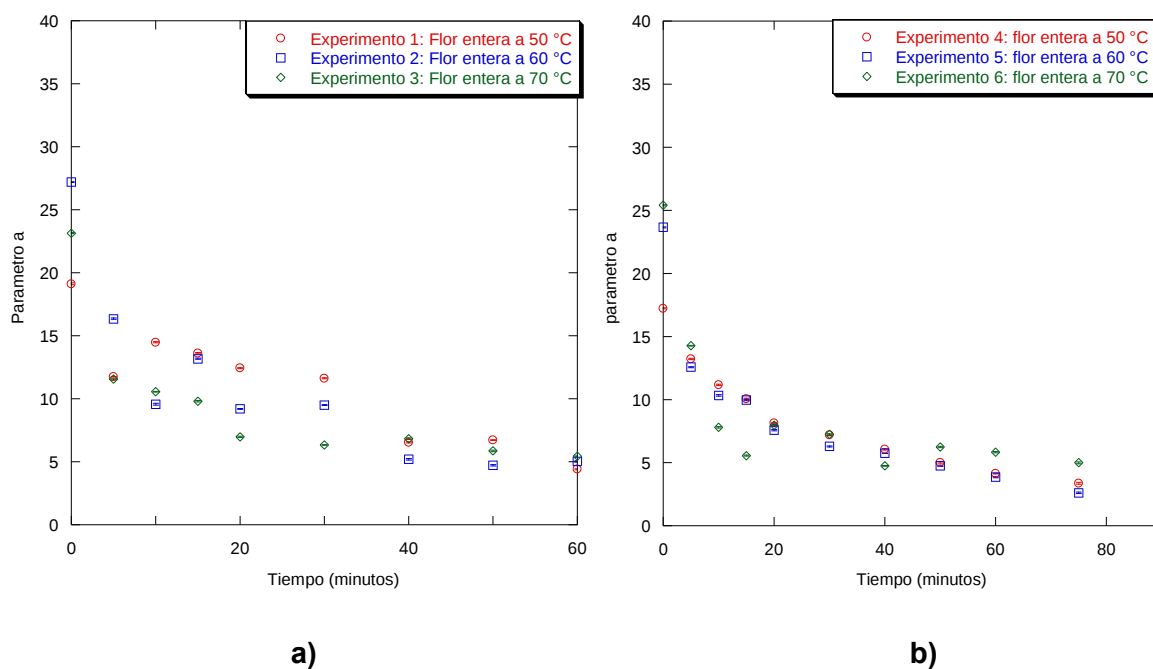
Cada alimento cuenta con características especiales que le brindan su identidad, algunas vienen dadas por las propiedades nutricionales que poseen y otras por la

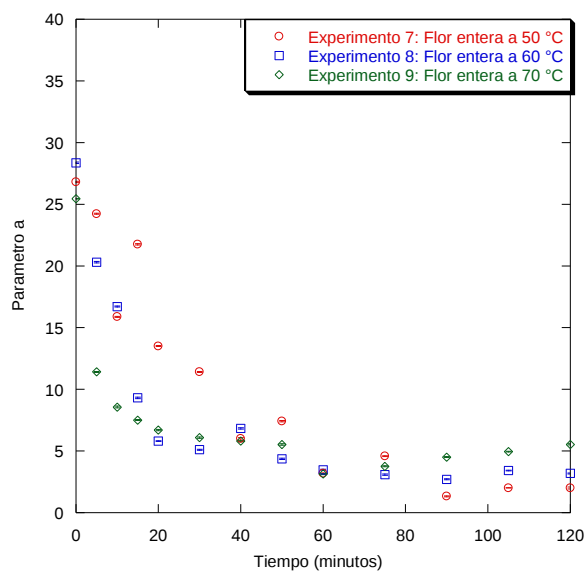
presencia de compuestos que actúan como pigmentos, los cuales son los encargados de proporcionar el color a los alimentos.

Generalmente, estos pigmentos se pueden ver afectados debido al procesamiento térmico al cual es sometido el alimento, provocando que existan cambios en la coloración a causa de algunas reacciones químicas o enzimáticas debidas a los compuestos presentes.

Dentro del sistema Hunter Lab, el parámetro a con valores positivos permite identificar tonalidades rojizas, las cuales son atribuidas a la presencia de algunos antioxidantes así como vitaminas y minerales, mientras que, para los valores negativos, este parámetro indica tonalidades verdes que se deben a la presencia de clorofila.

En la figura 3.8 se muestra la evolución del parámetro a durante el proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito entera.





c)

Figura 3.8 Evolución del parámetro a durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

Se puede observar que para este parámetro se obtuvieron valores positivos no mayores a 30, asegurando tonalidades rojas que van disminuyendo conforme ocurre el proceso de secado debido a las propias condiciones de operación que provocan dicha degradación en la tonalidad del alimento.

Además, los experimentos a 70 °C mostraron los valores más altos, esto es debido en gran parte al flujo de aire en la cámara de secado provocando de igual manera que los valores para la flor de Gasparito fueran mayores en comparación con la flor en mitad debido a un mayor contacto entre la flor y el flujo de aire como se muestra en la Figura 3.9.

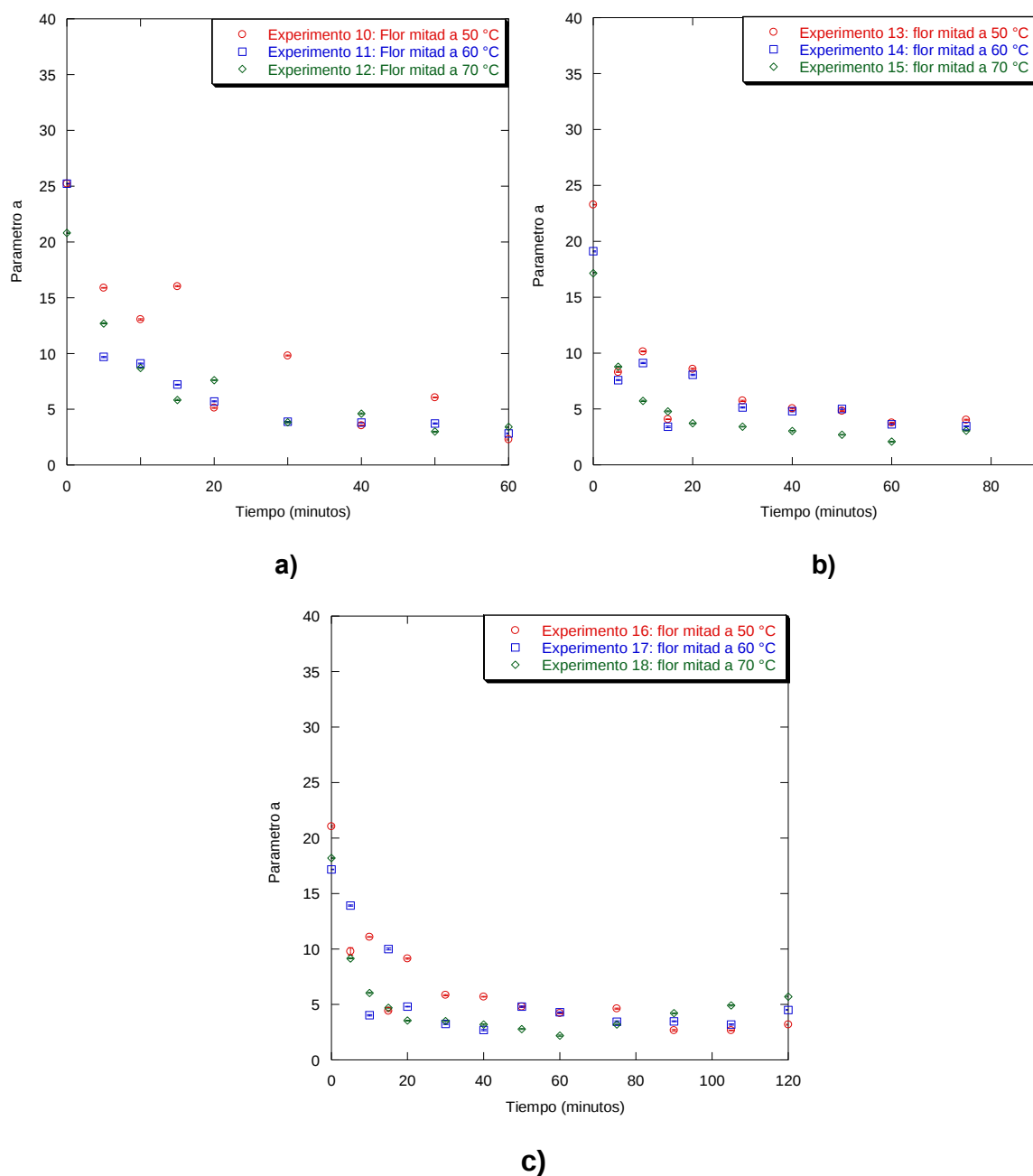


Figura 3.9 Evolución del parámetro a durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

3.1.3.3 Parámetro b

Para la evaluación de este parámetro, de acuerdo al sistema Hunter Lab, los valores positivos indican tonalidades amarillas debido a la presencia de carotenoides y vitamina C, mientras que los valores negativos se refieren a la presencia de

tonalidades azules. En la figura 3.10 se muestra la evolución del parámetro b durante el proceso de secado de la flor de Gasparito entera, en donde se pueden observar valores positivos entre los 2 y 10 indicando la presencia de tonalidades amarillas.

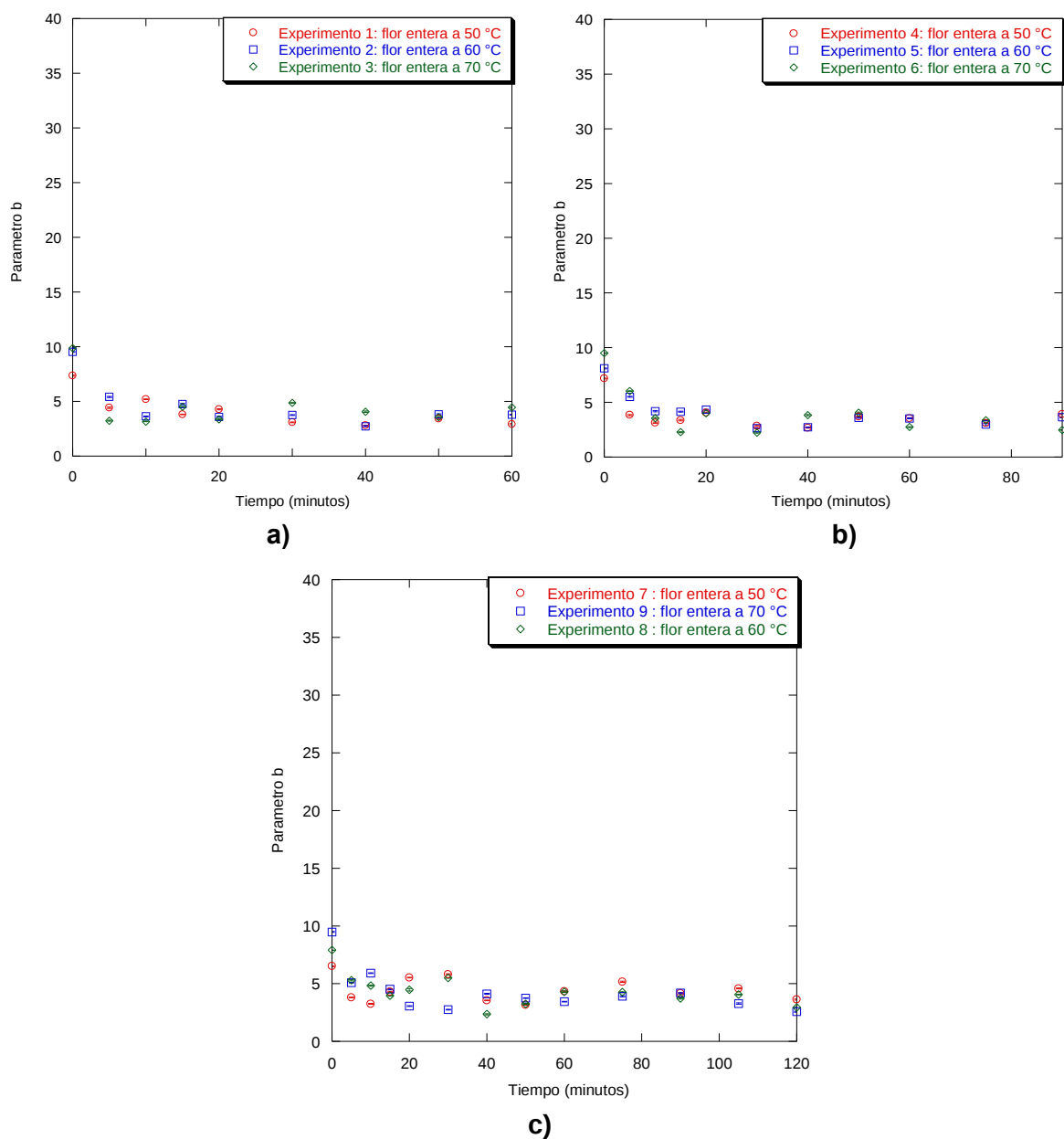


Figura 3.10 Evolución del parámetro b durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

A diferencia de la flor de Gasparito entera, en el corte en mitad como se muestra en la Figura 3.11 se muestran valores más altos para este corte, debido a la tonalidad de la parte inferior del pétalo. En general, la disminución de este parámetro a lo largo del proceso de secado se debe a la degradación de los fitoquímicos como por ejemplo la vitamina C.

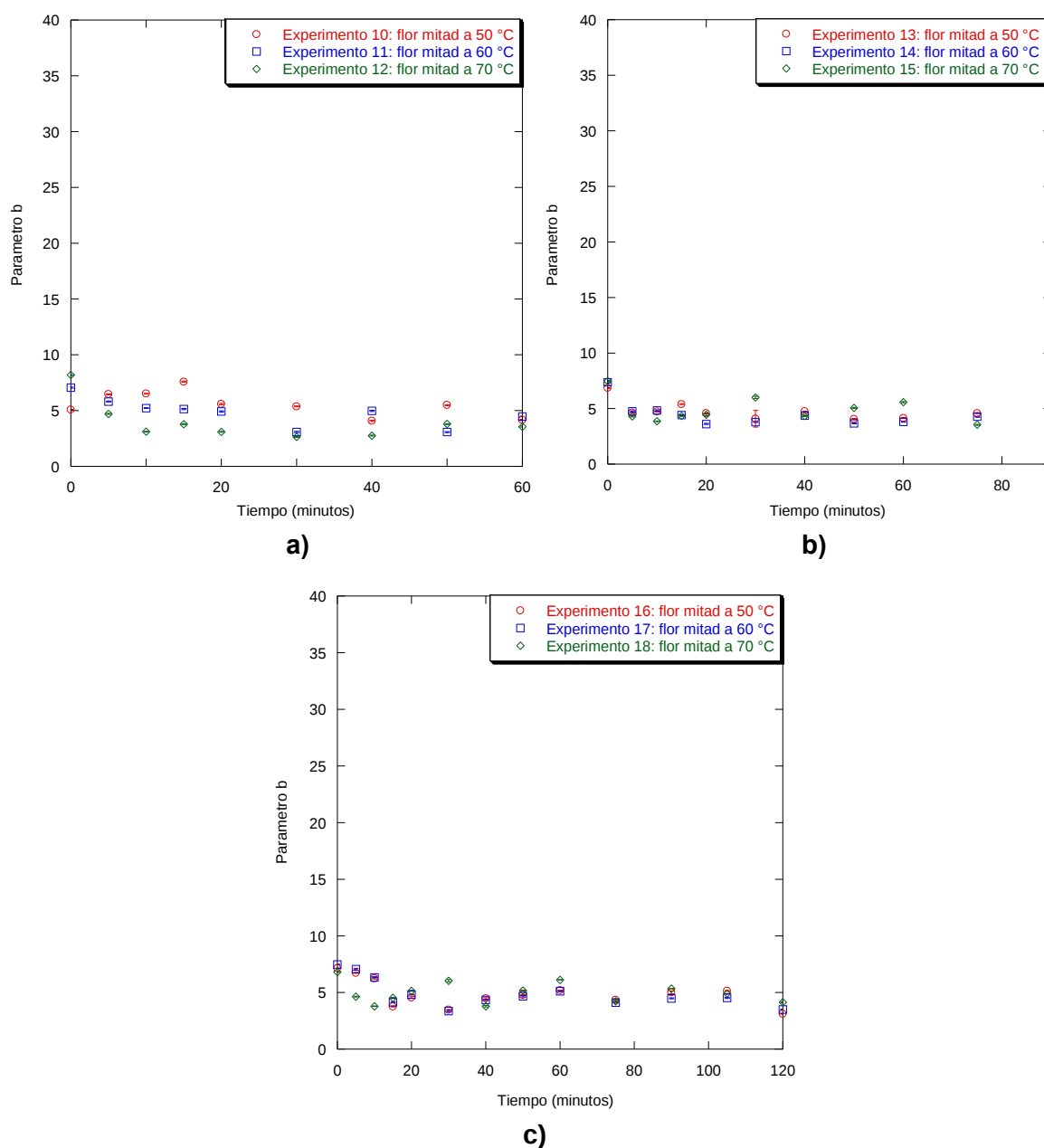
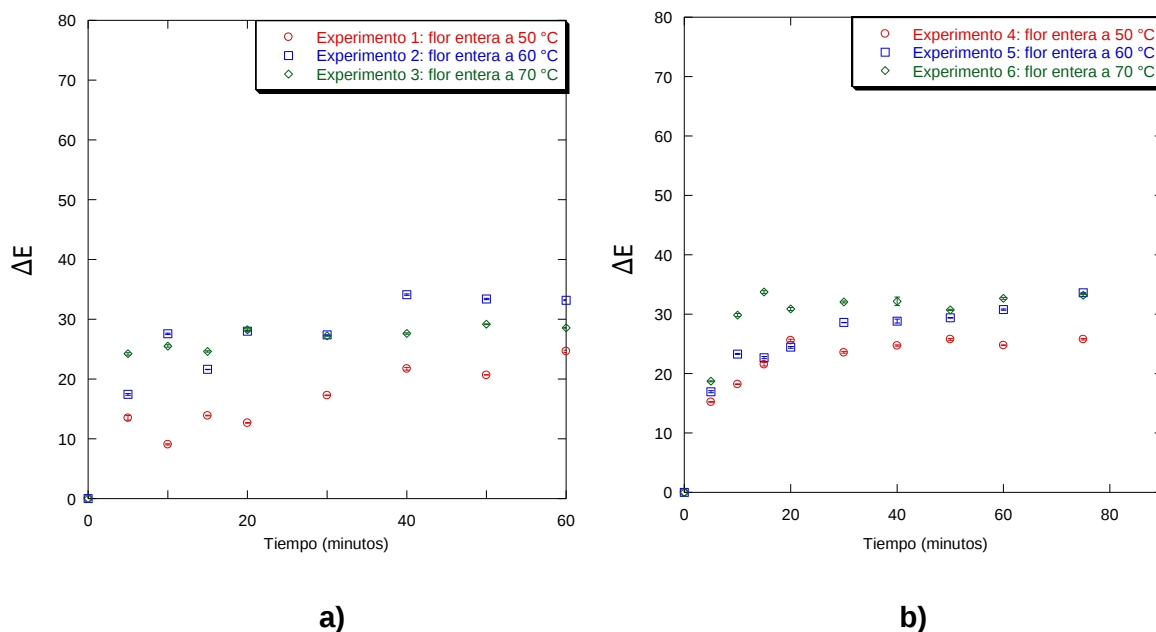


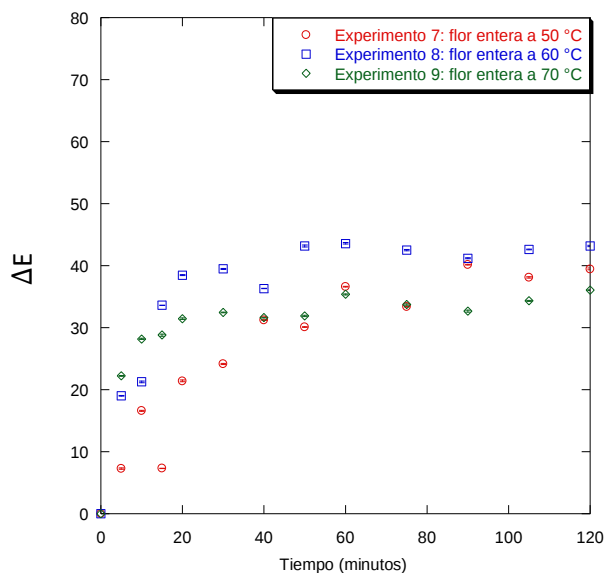
Figura 3.11 Evolución del parámetro b durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

3.1.3.4 Diferencia de color (ΔE)

Debido a que el color es una de las características que permiten evaluar la calidad del alimento y que influye al momento de su aceptación por el consumidor, mediante la evaluación del diferencial de color durante el proceso de secado se pueden comparar los cambios en este parámetro entre la flor de Gasparito fresca y la deshidratada. Por lo que, en la Figura 3.12 se muestra la variación del diferencial de color (ΔE) durante el proceso de secado de la flor de Gasparito entera a las diferentes condiciones del proceso.

Se puede observar que existe una diferencia de color notable entre la flor fresca y la deshidratada, aunque los mejores valores para este parámetro se encontraron a 50°C, visiblemente el color resulta ser más agradable en los tratamientos que se llevaron a 70 °C.

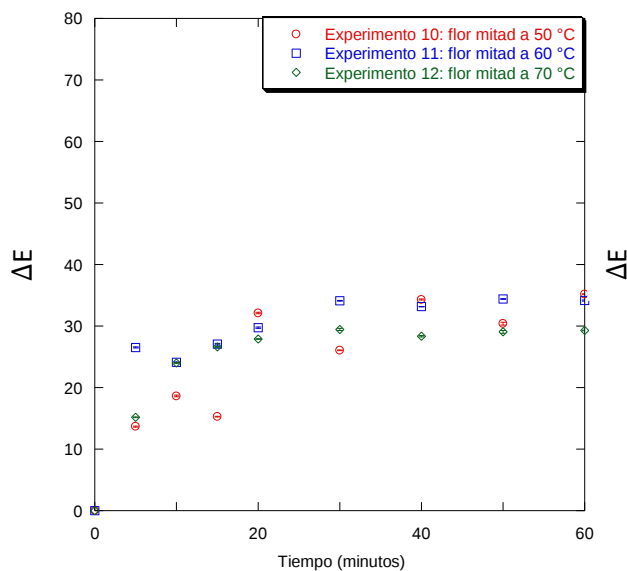




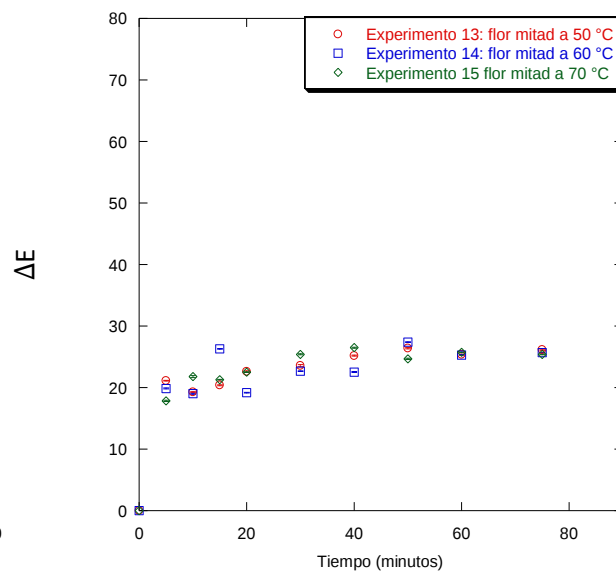
c)

Figura 3.12 Evolución del contenido de la diferencia de color (ΔE) durante el proceso de secado de flor de Gasparito entera: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

Se puede observar que se obtuvieron valores de ΔE menores para la flor de Gasparito en mitad en comparación con la flor entera, además de que el cambio de este parámetro se mantiene más estable para el corte en mitad como se muestra en la Figura 3.13, por lo que se puede decir que existe una mayor variabilidad en el cambio de color para la flor de Gasparito entera.



a)



b)

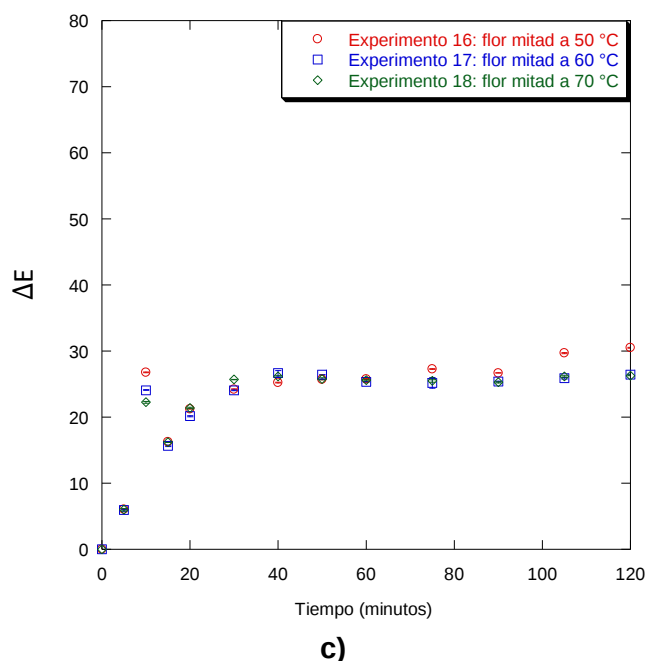


Figura 3.13 Evolución del contenido de la diferencia de color (ΔE) durante el proceso de secado de flor de Gasparito en mitad: a) 60 minutos b) 90 minutos y c) 120 minutos.

De forma general se puede observar que la temperatura en el proceso de secado provoca un efecto significativo en el parámetro de color ya que la variación de color es relativamente alta, mostrándose los valores para los tratamientos que se llevaron a cabo a la temperatura de 70 °C.

Aunque, en la Figura 3.14 se presentan las muestras finales de la flor de Gasparito deshidratada se puede observar que a pesar de que dichos tratamientos presentaron los valores más altos de ΔE , son los que presentan la mejor apariencia al mostrar una mejor tonalidad en comparación a los tratamientos llevados a cabo a la temperatura de 50 y 60 °C para los dos tipos de corte.

Esto puede deberse principalmente a los antioxidantes presentes en el alimento, debido a que tiende a existir una concentración de estos provocando coloraciones más intensas y que provocan un cambio drástico en la coloración del alimento, pero que sigue siendo agradable a la vista.



Exp. 1



Exp. 2



Exp. 3



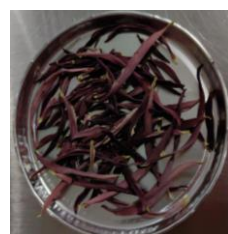
Exp. 4



Exp. 5



Exp. 6



Exp. 7



Exp. 8



Exp. 9



Exp. 10



Exp. 11



Exp. 12



Exp. 13



Exp. 14



Exp. 15



Exp. 16



Exp. 17



Exp. 18

Figura 3.14 Muestras finales de flor de Gasparito deshidratada mediante secado por lecho fluidizado.

3.1.3.5 Rendimiento (Kg de flor fresca / Kg de flor deshidratada)

Conocer la cantidad de producto obtenido al final de un proceso es de suma importancia, pues nos permite calcular tanto el costo como la cantidad de materia prima que se necesita para obtener cierta cantidad de producto. Es por ello que se evaluó el rendimiento en kg de flor de Gasparito/ kg de flor seca en base al contenido de humedad presente al final del proceso de secado. En la Tabla 3.3 se muestra el rendimiento de la flor de Gasparito deshidratada para cada uno de los tratamientos.

Tabla 3.3 Rendimiento de la flor de Gasparito deshidratada mediante secado por lecho fluidizado.

Exp	Temperatura	Tiempo de secado (min)	Corte	% Rendimiento
1	50	60	Entera	10.77
2	60	60	Entera	10.62
3	70	60	Entera	10.44
4	50	90	Entera	10.49
5	60	90	Entera	10.22
6	70	90	Entera	10.24
7	50	120	Entera	10.34
8	60	120	Entera	10.23
9	70	120	Entera	10.25
10	50	60	Mitad	10.66
11	60	60	Mitad	10.43
12	70	60	Mitad	10.31
13	50	90	Mitad	10.50
14	60	90	Mitad	10.49
15	70	90	Mitad	10.27
16	50	120	Mitad	10.33
17	60	120	Mitad	10.27
18	70	120	Mitad	10.28

Se puede observar que el rendimiento de la flor de Gasparito es de aproximadamente el 10 %, por lo que para obtener 1 kg de flor deshidratada se requieren de 9 kg de flor fresca.

3.1.4 Contenido de minerales

El consumo de micronutrientes como los minerales es de suma importancia para el desarrollo y crecimiento del ser humano, estos se calcularon mediante la incineración de la muestra, mostrándose los resultados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resultados experimentales del contenido de minerales de la flor de Gasparito

Exp	Temperatura	Tiempo de secado (min)	Corte	Minerales (%)
1	50	60	Entera	8.6513
2	60	60	Entera	9.3456
3	70	60	Entera	10.1546
4	50	90	Entera	9.1245
5	60	90	Entera	10.3413
6	70	90	Entera	10.5618
7	50	120	Entera	9.3417
8	60	120	Entera	10.3517
9	70	120	Entera	10.5734
10	50	60	Mitad	8.6919
11	60	60	Mitad	9.1623
12	70	60	Mitad	9.2456
13	50	90	Mitad	9.2345
14	60	90	Mitad	10.1745
15	70	90	Mitad	10.3671
16	50	120	Mitad	9.4567
17	60	120	Mitad	10.2135
18	70	120	Mitad	10.4018

Se puede observar que los valores más altos se encontraron en los tratamientos a la temperatura de 70 °C a un tiempo de secado de 120 minutos, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos a 50 °C a un tiempo de secado de 120 minutos, aunque de manera general se obtuvieron cantidades de minerales considerables después del proceso de secado.

3.2 Grado de rehidratación

Otro parámetro que es importante evaluar en la estabilidad y calidad de los alimentos es el grado de rehidratación, ya que muchos de estos son rehidratados antes de ser consumidos. Al llevar a cabo la rehidratación, se espera que los cambios entre el alimento deshidratado y el alimento fresco sea mínimo, pues, se espera que las propiedades del alimento deshidratado sean similares a las del alimento fresco antes de ser sometido al proceso de secado lo cual se logra al elegir el método de secado y las condiciones de proceso adecuadas.

Además, es importante tomar en cuenta que la capacidad de rehidratación depende del medio rehidratante que se utilice, la temperatura y tiempo a la cual se lleva a cabo la rehidratación, además de las características del alimento y las condiciones a las que se llevó a cabo el proceso de secado y esto se debe principalmente a la modificación en su estructura que sufre el alimento durante dicho proceso, pero que puede ser controlado mediante las condiciones a las cuales se lleva a cabo el secado.

En la Tabla 3.5 se muestra la ganancia de peso durante la rehidratación de la flor de Gasparito deshidratada para cada uno de los experimentos, utilizando dos medios rehidratantes (agua destilada y solución salina al 5 %), a una temperatura de 20 y 30 °C durante 60 minutos.

El peso inicial de las muestras fue de 0.2 g, en donde se puede observar que los tratamientos con una mayor capacidad de rehidratación fueron aquellos que se llevaron a cabo a la temperatura de 20 °C.

Tabla 3.5 Resultados experimentales de la rehidratación de la flor de Gasparito deshidratada.

Exp	Rehidratación (gramos)			
	Agua destilada		Solución salina (5 %)	
	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C
1	1.3900	2.2041	1.4423	2.1133
2	1.3976	2.1521	1.4457	2.1209
3	1.4023	2.1024	1.4512	2.1588
4	1.4200	2.2528	1.4467	2.1423
5	1.4232	2.2324	1.4489	2.1677
6	1.4273	2.1597	1.4539	2.1920
7	1.4541	2.2873	1.4441	2.2018
8	1.4549	2.2571	1.4472	2.2444
9	1.4563	2.2255	1.4558	2.2789
10	1.5567	2.0862	1.5023	2.0334
11	1.5729	2.0846	1.5335	2.0524
12	1.6020	2.0804	1.5649	2.0879
13	1.5632	2.2240	1.5145	2.0675
14	1.5858	2.2030	1.5541	2.0928
15	1.6023	2.1318	1.5826	2.1133
16	1.5837	2.2627	1.5272	2.1074
17	1.6043	2.2212	1.5411	2.1322
18	1.6550	2.1932	1.5728	2.1532

La diferencia de color después de llevar a cabo la rehidratación mostró valores relativamente bajos como se muestra en la Tabla 3.6, por lo que se puede decir que el producto deshidratado mantiene su calidad al no presentar algún daño importante en su estructura.

Tabla 3.6 Resultados experimentales del diferencial de color en la rehidratación de la flor de Gasparito deshidratada.

Exp	Diferencial de color (ΔE)			
	Agua destilada		Solución salina (5 %)	
	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C
1	16.33	22.18	18.19	20.87
2	14.46	24.65	20.33	22.11
3	12.77	26.57	23.83	25.33
4	18.53	22.39	20.42	22.18
5	15.35	25.34	22.56	24.19
6	13.29	27.11	25.33	26.32
7	18.48	23.02	22.67	24.87
8	16.25	26.42	24.37	26.56
9	14.86	29.13	26.55	28.19
10	12.28	18.33	14.22	20.54
11	11.33	20.19	16.37	22.34
12	10.41	23.44	18.44	24.86
13	14.16	19.86	16.36	22.81
14	12.37	21.42	18.57	25.19
15	11.29	24.88	20.34	27.33
16	16.44	20.88	18.73	24.65
17	12.73	21.45	20.49	26.76
18	10.34	23.29	22.88	28.42

3.2.1 Curvas de rehidratación (medio rehidratante: agua destilada)

En la Figura 3.15 se puede observar la evolución de la ganancia de peso en donde se utilizó como medio rehidratante agua destilada a una temperatura de 20 °C, se puede observar que para el caso de la flor deshidratada entera se obtuvieron valores ligeramente mayores para los experimentos realizados a 70 °C a un tiempo de secado a 120 minutos. También se puede observar un comportamiento similar para

cada uno de los tratamientos, ya que partir de los 20 minutos se mantiene una estabilidad en la rehidratación en las tres temperaturas (50,60 y 70 °C) y tiempos de secado (60, 90 y 120 minutos).

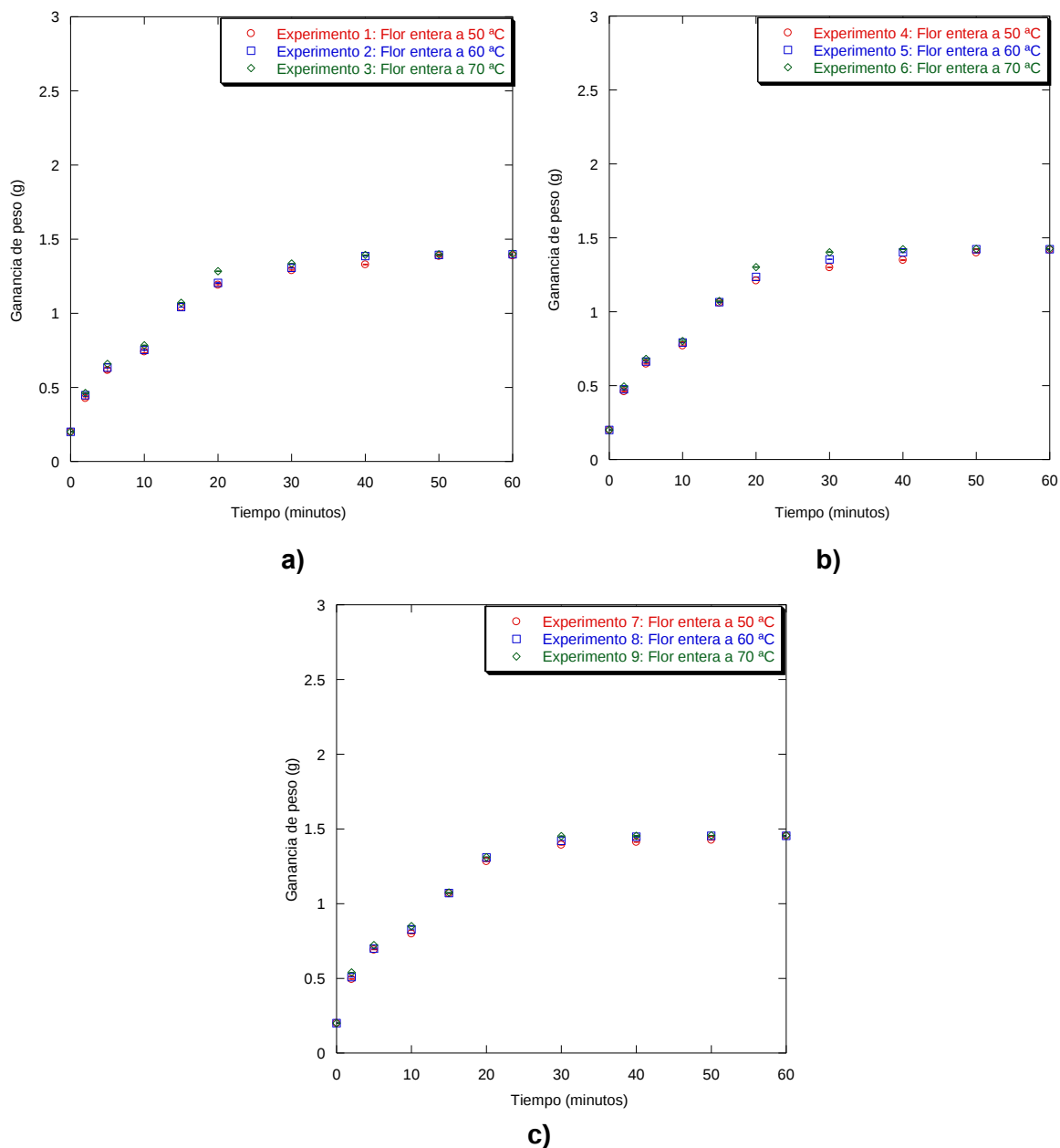


Figura 3.15 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 20 °C de la flor de Gasparito enter a deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.

En la Figura 3.16 se muestra la evolución de la ganancia de peso para la flor de Gasparito cortada en mitad, se puede observar una variación ligeramente mayor de la ganancia de peso entre la flor de Gasparito entera y en mitad, así como una mejor apreciación del comportamiento de la ganancia de peso, esto se debe principalmente al tamaño de la muestra que puede influir en la velocidad de reabsorción de agua.

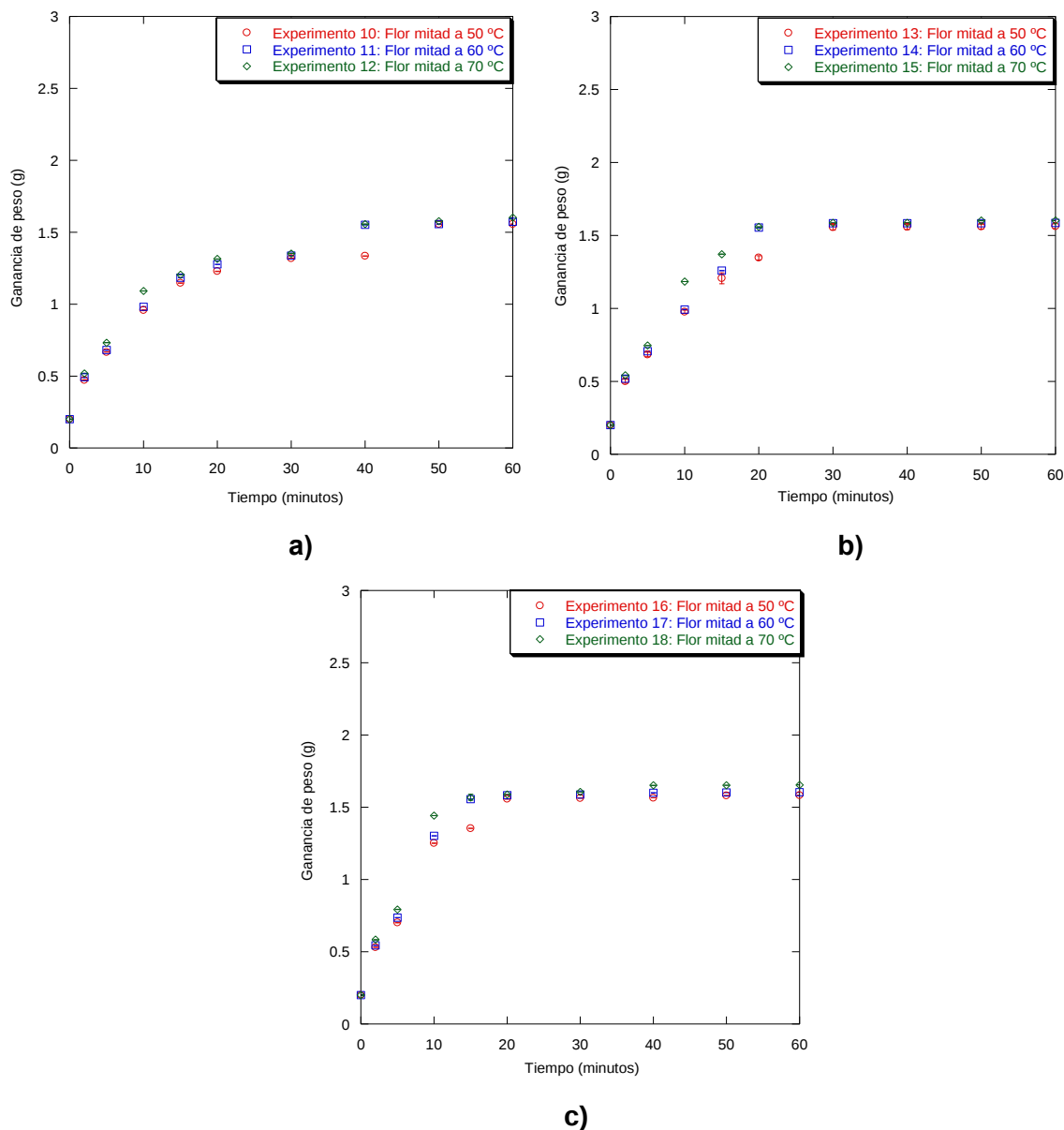


Figura 3.16 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 20 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.

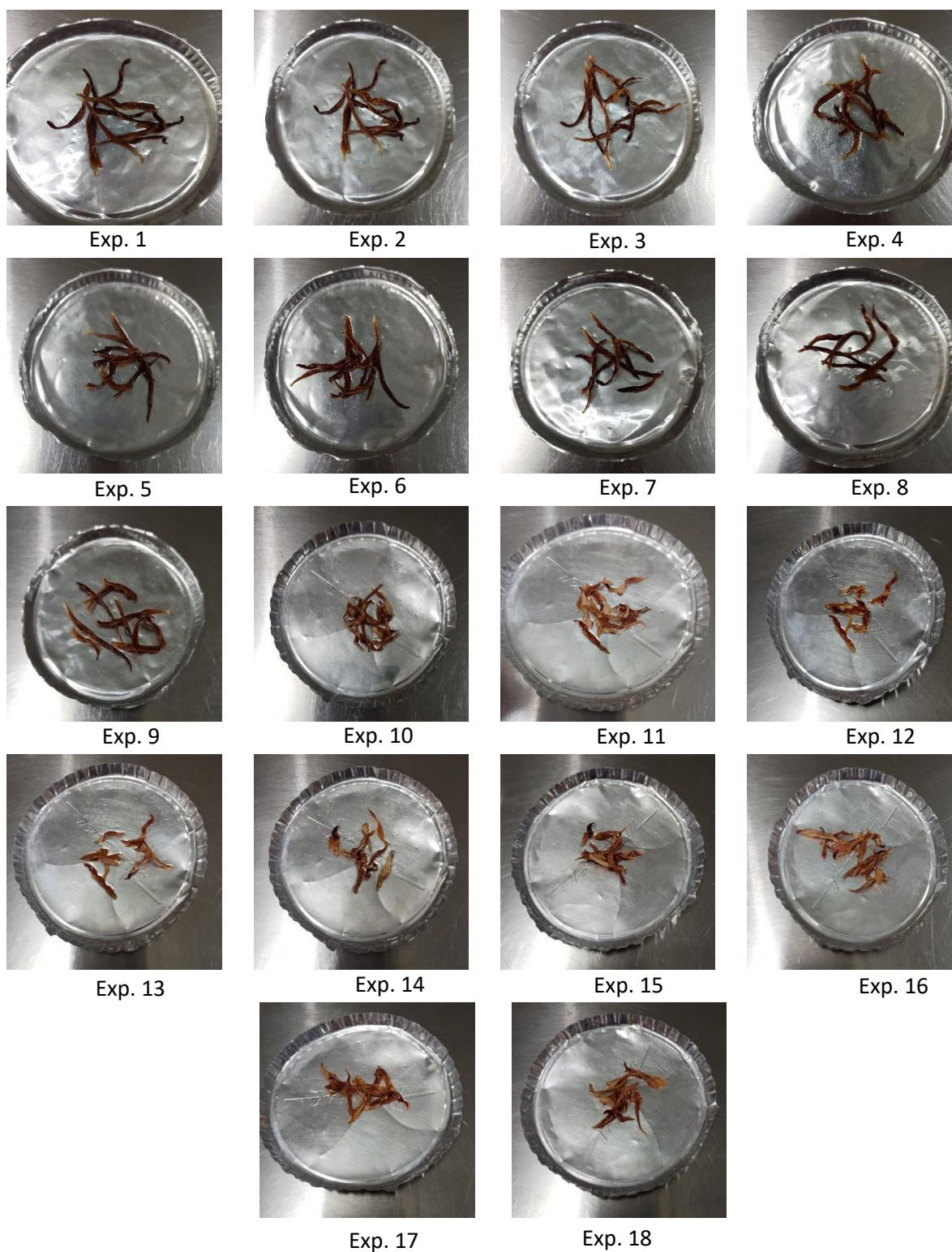
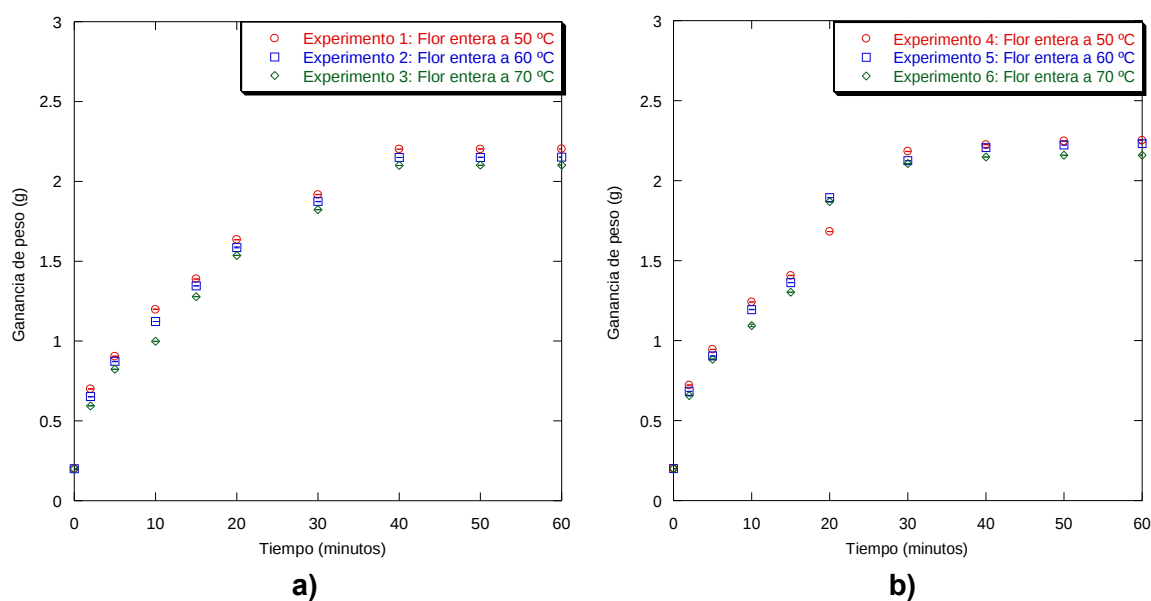
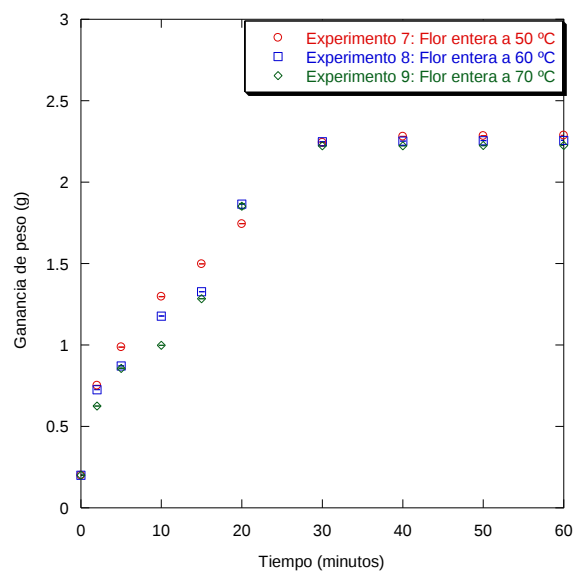


Figura 3.17. Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en agua destilada a 20 °C.

Las muestras de la flor de Gasparito rehidratada se pueden observar en la Figura 3.17 se observa que las muestras se rehidrataron de una manera uniforme mostrando una mayor luminosidad las muestras que fueron cortadas en mitad lo cual se debe a la capacidad de adsorción del agua.

De igual forma se realizaron pruebas de rehidratación utilizando como medio rehidratante agua destilada a 30 °C, mostrándose la evolución de la ganancia de peso para la flor de Gasparito entera en la Figura 3.18 observando que en los experimentos realizados a los tiempos de secado de 60 y 90 minutos obtuvieron un mayor grado de rehidratación, esto se puede deber a la aglomeración del alimento conforme aumenta el tiempo de secado impidiendo una transferencia homogénea de la solución rehidratante en el alimento.

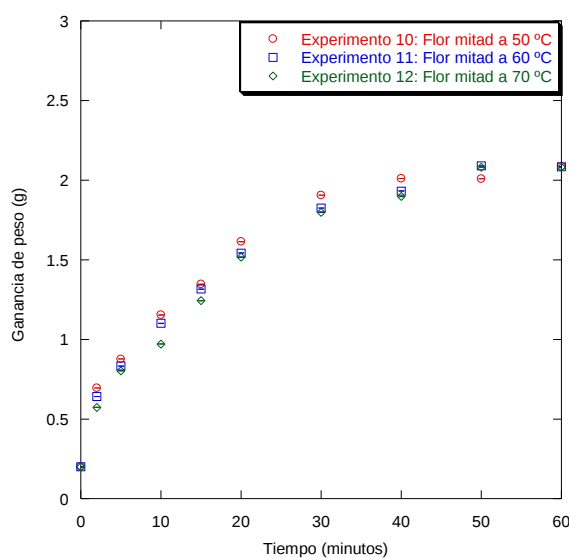




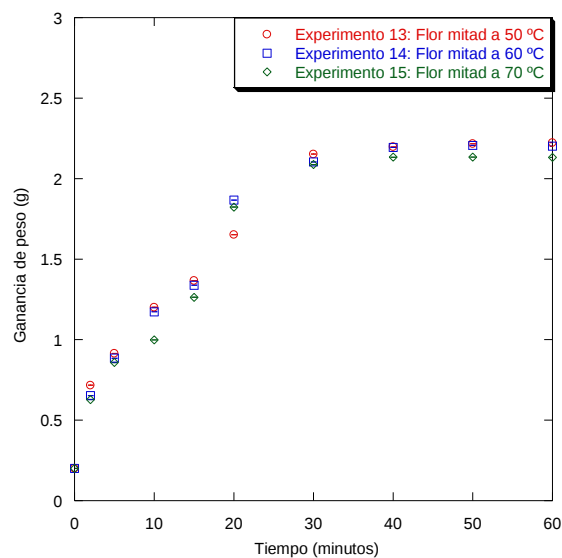
c)

Figura 3.18 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 30 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.

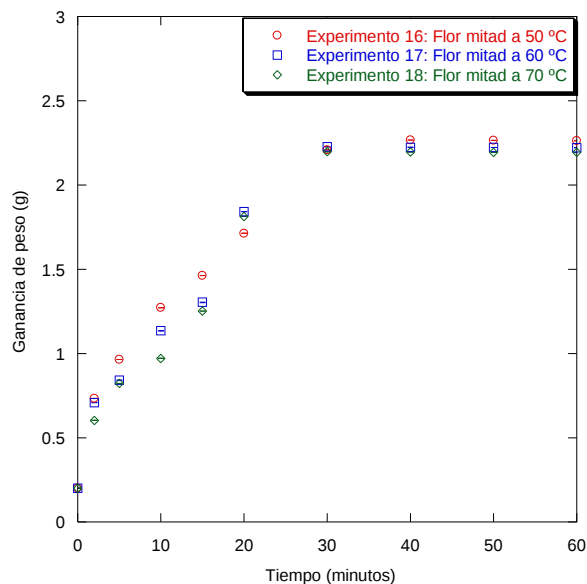
Para el caso de la flor de Gasparito en mitad, la evolución de la ganancia de peso se observa en la Figura 3.19 observándose una mayor estabilidad en las muestras deshidratadas a 60 y 90 °C, la cual ocurre a partir de los 20 minutos en comparación a las muestras deshidratadas a 50 °C que inicia a partir de los 30 minutos.



a)



b)



c)

Figura 3.19 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con agua destilada a 30 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60 b) 90 y c) 120 minutos.

En general, se pudo observar durante el proceso de rehidratación a estas condiciones una ligera pérdida de compuestos solubles tanto en la flor deshidrata entera como en mitad, pero que, de acuerdo a las gráficas, no afectó a la ganancia de peso.

En la Figura 3.20 se observan las muestras finales de la flor rehidratada, en donde se puede observar que existe un cambio en la coloración más notable en comparación a la rehidratación llevada a 20 °C la cual presenta una menor diferencia de color, por lo que a una mayor temperatura en el medio rehidratante puede existir el lixiviado de compuestos solubles de interés y que pueden perjudicar la calidad del alimento.

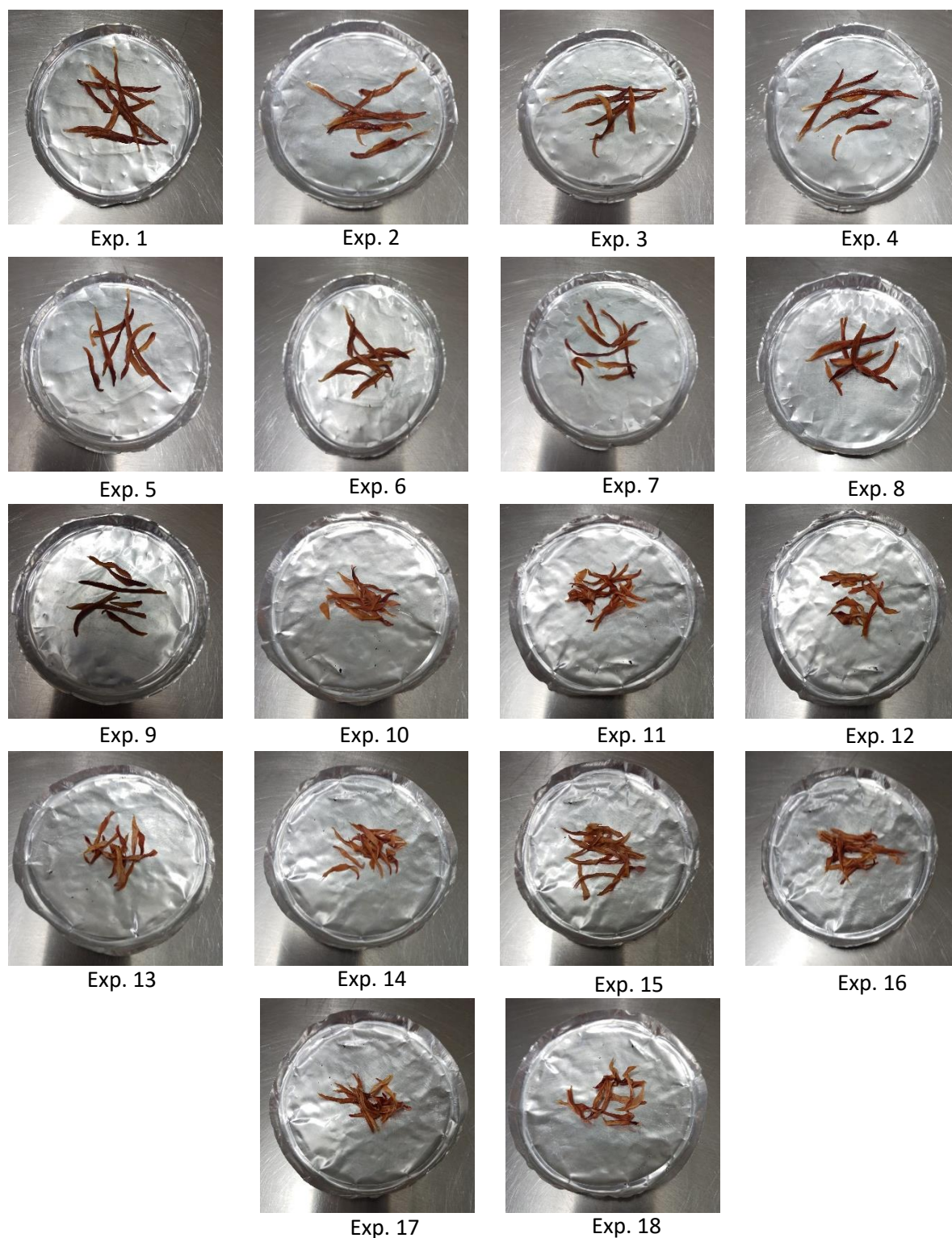


Figura 3.20 Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en agua destilada a 30 °C

3.2.2 Curvas de rehidratación (medio rehidratante: solución salina al 5%)

En la Figura 3.21 se muestra la evolución de la ganancia de peso para la flor de Gasparito utilizando como medio rehidratante una solución salina al 5 % a una temperatura de 20 °C, se puede observar que se alcanza una estabilidad a los 20 minutos, manteniendo un comportamiento similar para cada uno de los tratamientos.

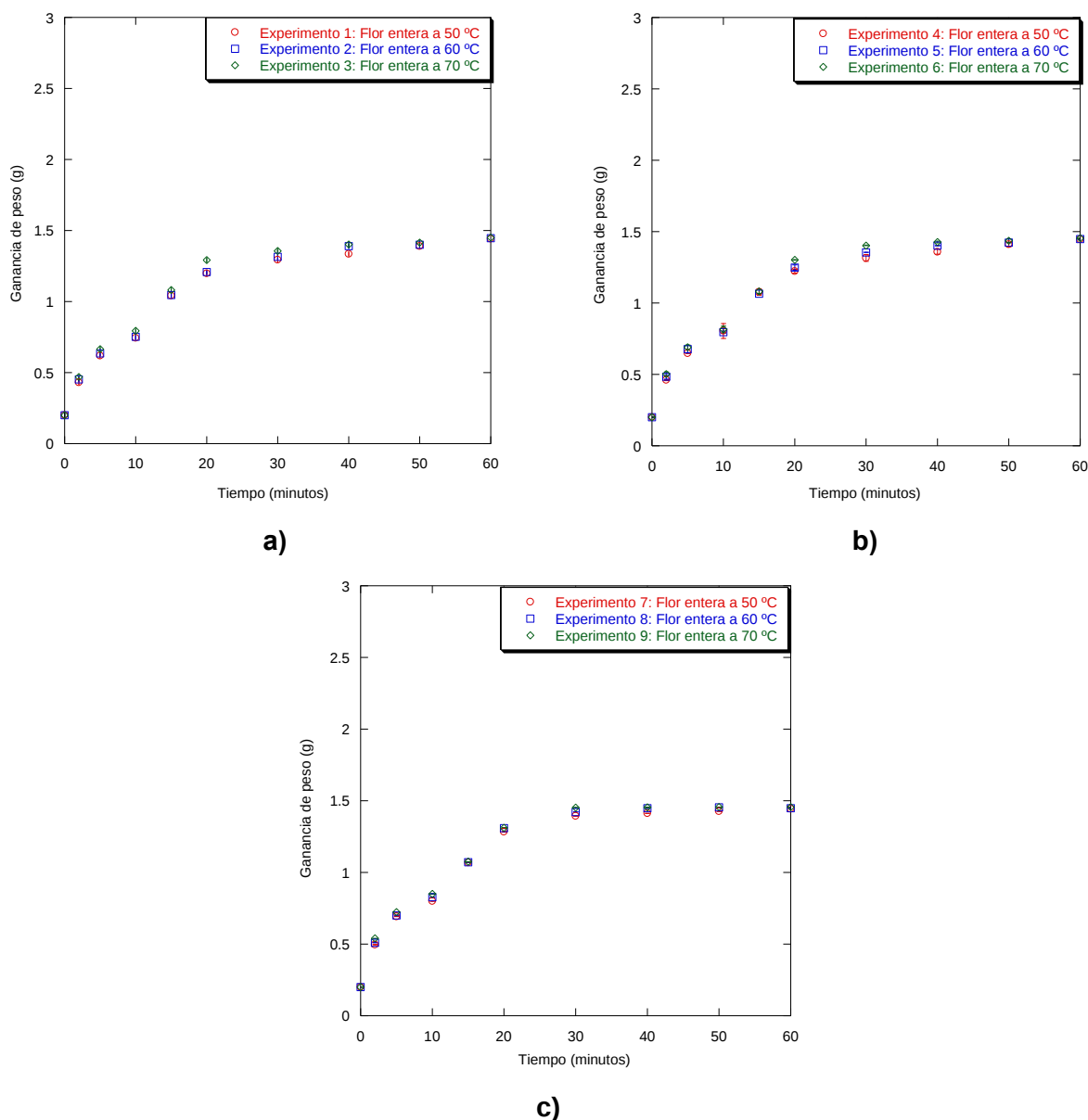


Figura 3.21 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 20 °C de la flor de Gasparito enter a deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.

En la Figura 3.22 se muestra la evolución de la ganancia de peso para el caso de la flor de Gasparito con corte en mitad en donde se puede observar que la estabilidad comienza a ocurrir a los 30 minutos, así como en la Figura 3.23 las muestras al final del proceso de rehidratación.

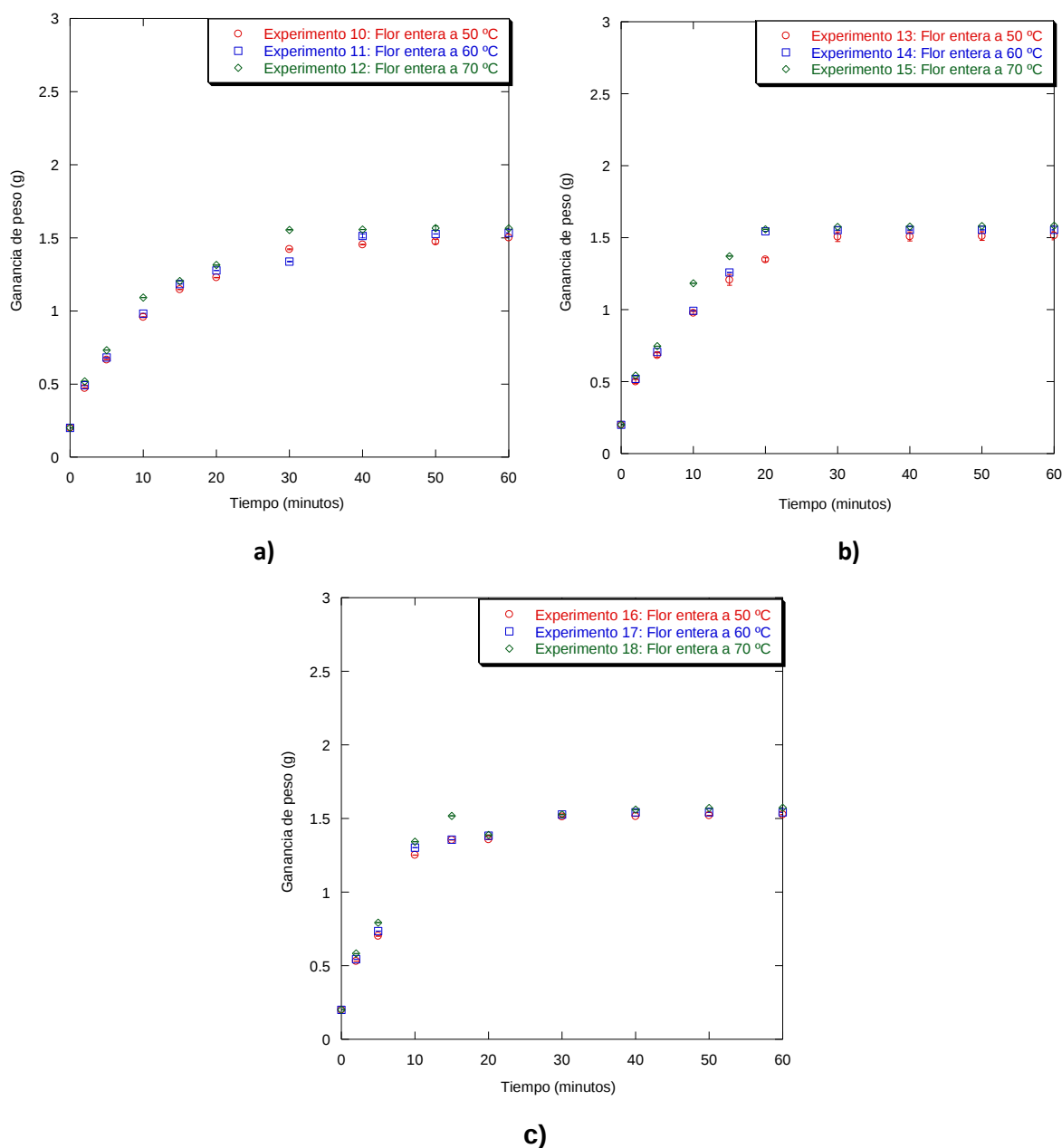


Figura 3.23 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 20 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.

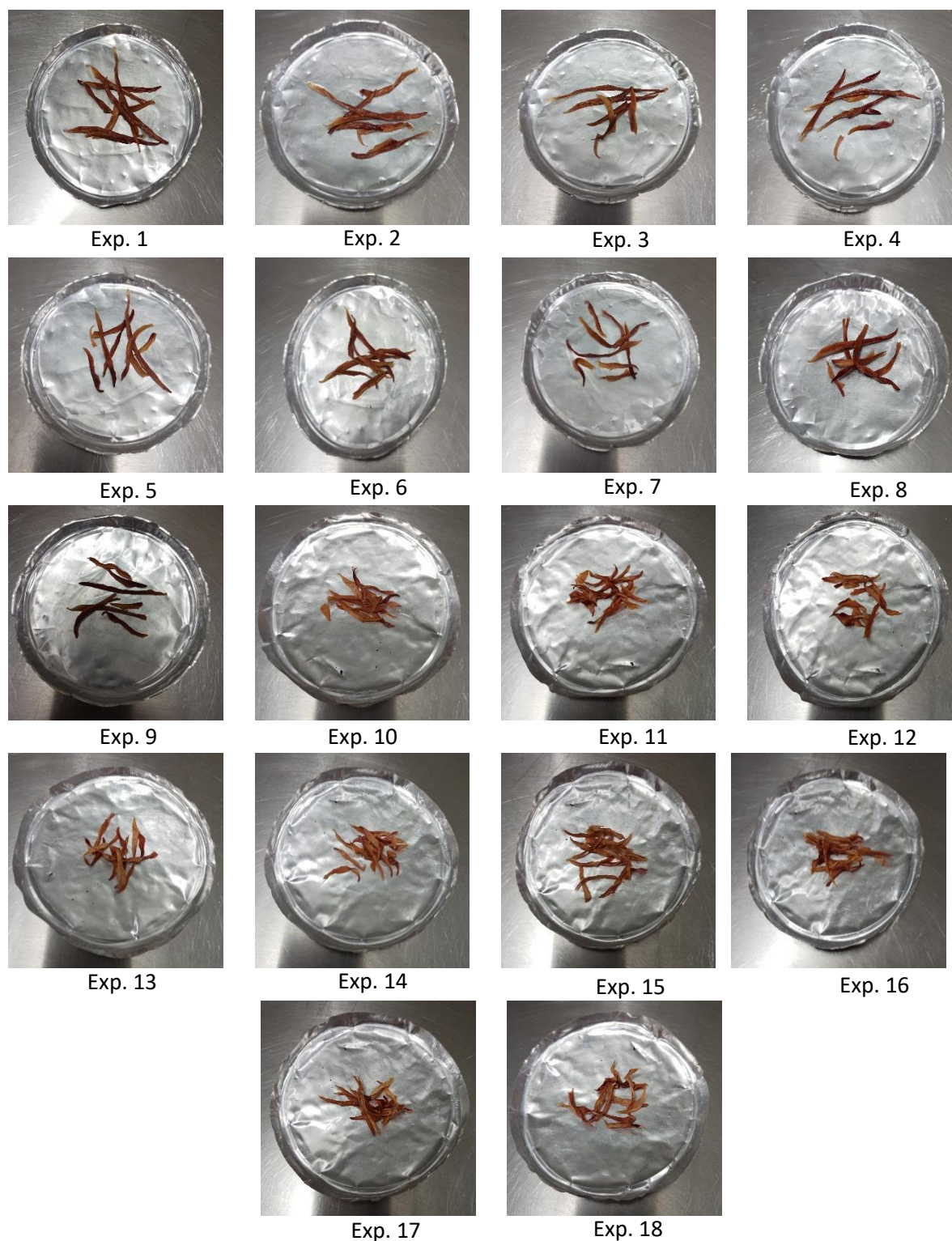


Figura 3.24 Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en solución salina (5 %) a 20 °C

Con esto se puede observar que, aunque la solución salina no fue a una concentración elevada, de manera visual si provocó un cambio en su color, esto se debe a la sensibilidad de los antioxidantes ante otros compuestos. También se llevó a cabo la rehidratación utilizando solución salina a la misma concentración (5%) a 30 °C, observándose en la Figura 3.25 el comportamiento de la ganancia de peso de peso para la flor de Gasparito entera.

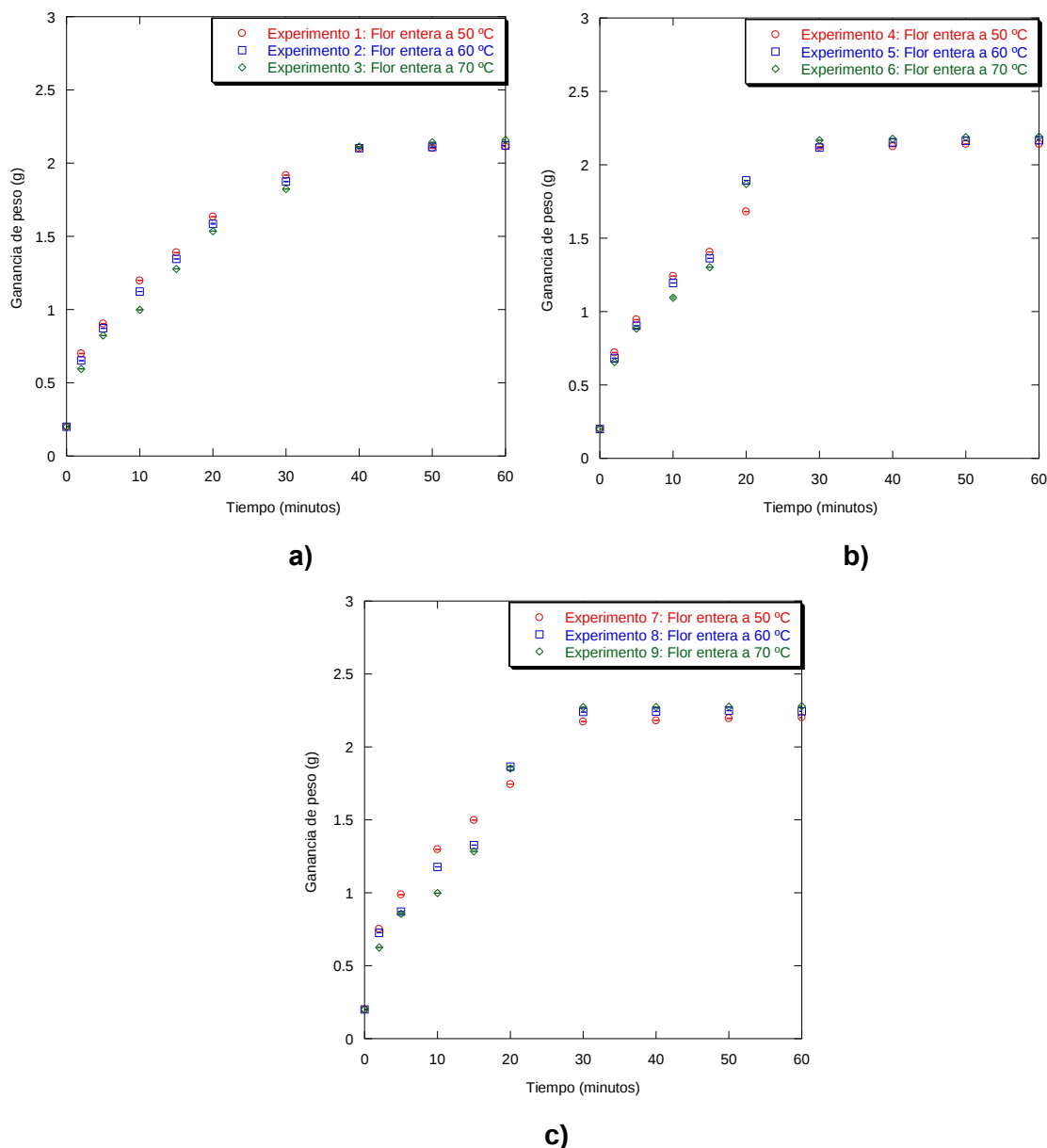


Figura 3.25 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 30 °C de la flor de Gasparito entera deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.

La evolución de la ganancia de peso para el corte en mitad utilizando solución salina al 5 % a 30 °C se puede observar en la Figura 3.26 que muestra una menor cantidad de peso ganado en comparación a las que se llevaron a cabo a 30 °C lo cual puede deberse al tamaño de partícula. También se muestran en la Figura 3.27 las muestras finales al final del proceso de rehidratación.

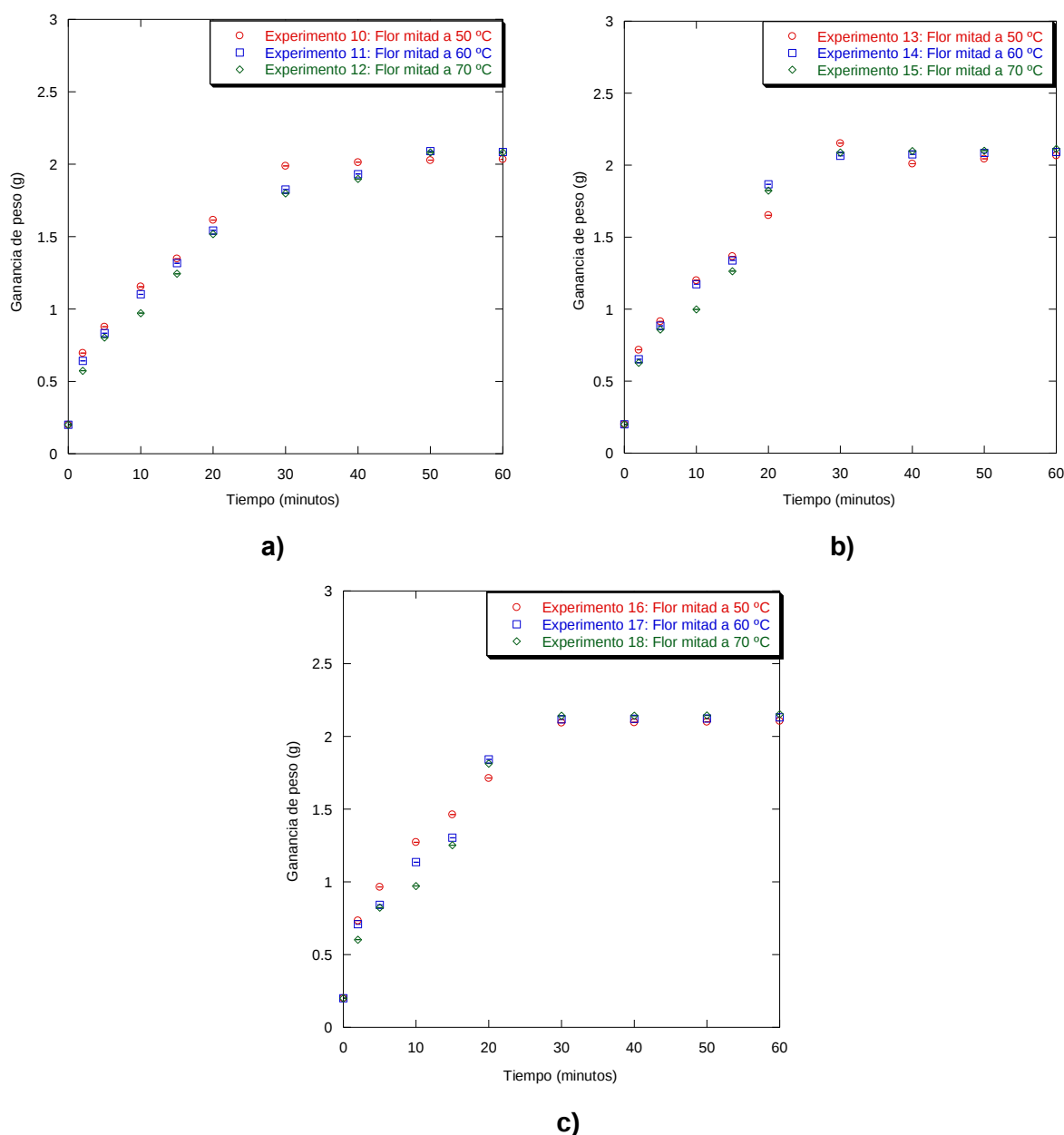


Figura 3.26 Evolución de la ganancia de peso durante el proceso de rehidratación con solución salina al 5% a 30 °C de la flor de Gasparito en mitad deshidratada: a) 60, b) 90 y c) 120 minutos.

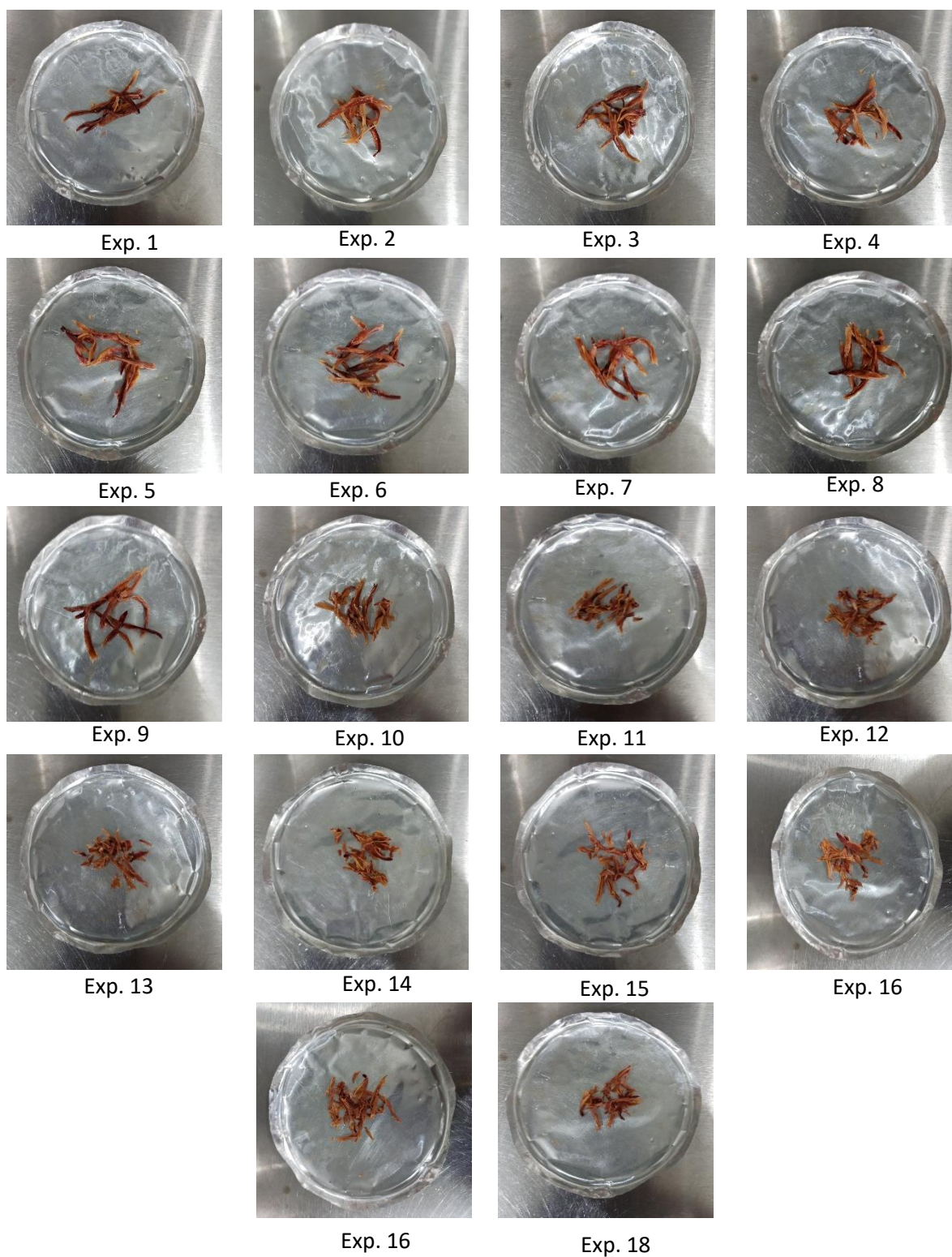


Figura 3.27 Muestras finales de la rehidratación de flor de Gasparito en solución salina (al 5 %) a 30 °C

3.3 Capacidad antioxidante

El estudio de la capacidad antioxidante entre la flor de Gasparito fresca y deshidratada mediante secado por lecho fluidizado, permitió evaluar el nivel de degradación de antioxidantes debido al efecto de la temperatura durante el proceso de secado, además, se determinó el contenido de antocianinas poliméricas que también conforman la actividad antioxidante y así conocer la cantidad de antioxidantes presentes después del proceso de secado.

En la Tabla 3.7 se muestra el porcentaje de inhibición del radical DPPH en la flor de Gasparito deshidratada así como el contenido de antocianinas para los tratamientos con los mejores resultados obtenidos que corresponden a un tiempo de secado de 120 minutos a una temperatura de 70 °C tanto para flor entera como el corte en mitad.

Tabla 3.7 Actividad antioxidante y contenido de antocianinas en los experimentos con mejores resultados del proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito

Experimento	DPPH (% de inhibición)	Antocianinas (g/gss)
Flor fresca	58.71 ^{1.36}	389.75 ^{5.41}
9	81.06 ^{1.81}	575.68 ^{17.60}
18	62.68 ^{0.51}	587.62 ^{37.96}

Se puede observar que se obtuvieron buenos porcentajes de actividad antioxidante por lo que se puede decir que a las condiciones que se eligieron son las ideales para llevar a cabo el proceso de secado de la flor de Gasparito.

Además, los valores obtenidos después del proceso de secado en la flor deshidratada son mayores en comparación a los de la flor fresca, esto se debe a que existe una concentración de estos antioxidantes debido a la temperatura y al tiempo de secado empleados, obteniendo buenos resultados a estas condiciones de operación, asegurando la calidad del alimento.

3.3.1 Determinación de Vitamina C

Otro antioxidante importante para el ser humano es el ácido ascórbico y debido a que se requiere ser consumido mediante alimentos al no poder ser sintetizado por el cuerpo de forma natural es importante tomar en cuenta durante el proceso de secado que se trata de compuestos delicados ante altas temperaturas. En la tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos para el contenido de ácido ascórbico para los mejores tratamientos.

Tabla 3.8 Resultados experimentales del contenido de ácido ascórbico de la flor de Gasparito

Exp	Temperatura	Tiempo de secado (min)	Corte	Ácido ascórbico (mg/100g de muestra)
9	70	120	Entera	18.1924
18	70	120	Mitad	15.2412

Se puede observar que la flor de Gasparito entera presenta una mayor cantidad de ácido ascórbico, esto se debe al tamaño de la muestra, ya que tiene una menor área de contacto con el aire caliente.

3.5 Isotermas de sorción

Para conocer el comportamiento de la flor de Gasparito después del proceso de secado y analizar con que facilidad esta absorbe humedad (higroscopicidad) y con ello predecir su tiempo de vida útil, se realizaron isotermas de sorción a las muestras que presentaron las mejores condiciones. En la Figura 3.15 se muestran las isotermas a la temperatura de 35 y 45 °C.

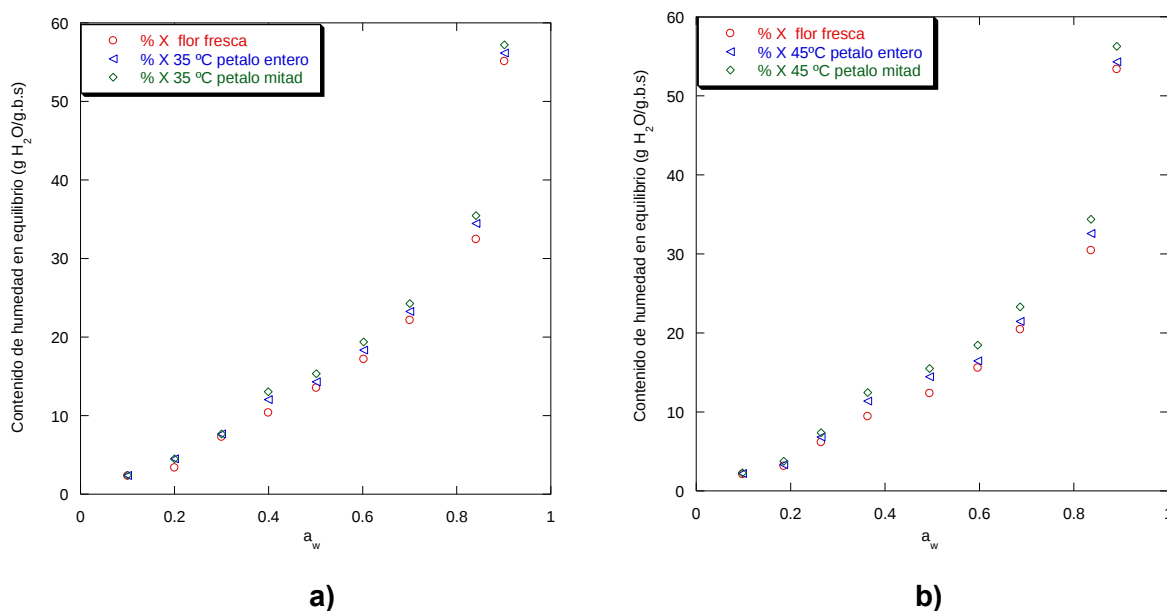


Figura 3.28 Isotermas de sorción para la flor de Gasparito deshidrata a) 35 °C y b) 45 °C

Se puede observar que se obtuvieron resultados más elevados de a_w en la muestra de flor de Gasparito deshidratada en corte en mitad en comparación a la de pétalo entero, obteniéndose las mejores condiciones para la flor de Gasparito entera a una temperatura de 35 °C, esto puede ocurrir debido a las condiciones del alimento, pues a un menor tamaño de partícula este puede ser más susceptible a ser higroscópico, por lo que las condiciones como la temperatura y el tamaño de la muestra pueden interferir si dicho alimento se sometiera a algún tipo de almacenamiento, ya que se deberían buscar condiciones adecuadas para asegurar por completo su estabilidad microbiológica y con ello prolongar su tiempo de vida de anaquel el mayor tiempo posible.

CONCLUSIONES

Debido a que se obtuvieron valores de contenido de humedad por debajo del 4 % así como de contenido de humedad menores al 0.4, el secado por lecho fluidizado fue adecuado para la deshidratación de la flor de Gasparito, pues al obtenerse valores por debajo del 10 % de contenido de humedad y valores de actividad de agua menores del 0.6 se obtiene un alimento con una alta estabilidad microbiana.

Debido a que los experimentos en los que se obtuvieron una mayor cantidad de minerales y vitamina C después del proceso de secado fueron a las condiciones de 70 °C a 120 minutos, se proponen como condiciones óptimas para llevar a cabo el secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito tanto en pétalos como en mitad.

Los experimentos a 70 °C para el corte en mitad presentaron una mejor coloración ya que los valores de ΔE fueron menores en comparación a los demás tratamientos, en cuanto a la flor de Gasparito entera, aunque mostró valores más altos de ΔE , visualmente su color es agradable.

Las propiedades antioxidantes realizadas a los experimentos que mostraron las condiciones de secado mostraron una concentración de antioxidantes y antocianinas al obtener valores mayores en comparación a la flor de Gasparito fresca mostrando un efecto de la temperatura sobre estos compuestos, pero que mejoran la calidad del alimento.

El grado de rehidratación mostro que se obtuvo una mejor ganancia de peso utilizando como medio rehidratante agua destilada a 20 °C, ya que se obtuvieron valores menores de diferencial de color, obteniendo un producto de calidad para el consumidor.

Los isotermas de sorción mostraron que el alimento deshidratado tiende a ser alimento bastante estable de acuerdo a los resultados obtenidos, asegurando un alimento con un mayor tiempo de vida de anaquel si se mantiene a condiciones de almacenamiento adecuadas.

ANEXOS

ANEXO A

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para contenido de humedad (%X) para la flor de Gasparito entera

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TEMPERATURA	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TEMPERATURA	2	6.000	3.000	0.33	0.729
Error	6	54.000	9.000		
Total	8	60.000			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3	10.00%	0.00%	0.00%

Medias

TEMPERATURA	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	3	4.00	3.00	(-0.24, 8.24)
60	3	5.00	3.00	(0.76, 9.24)
70	3	6.00	3.00	(1.76, 10.24)

Desv.Est. agrupada = 3

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
70	3	6.00	A
60	3	5.00	A
50	3	4.00	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO B

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para contenido de humedad (%X) para la flor de Gasparito en mitad

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	10.62	5.3115	5.88	0.013
Error	15	13.54	0.9026		
Total	17	24.16			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.950030	43.97%	36.50%	19.31%

Medias

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	4.747	1.337	(3.920, 5.573)
60	6	3.822	0.940	(2.995, 4.648)
70	6	2.8650	0.1907	(2.0383, 3.6917)

Desv.Est. agrupada = 0.950030

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
50	6	4.747	A
60	6	3.822	A B
70	6	2.8650	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO C

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para a_w en la flor de Gasparito entera

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.009100	0.004550	0.62	0.549
Error	15	0.109300	0.007287		
Total	17	0.118400			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0853620	7.69%	0.00%	0.00%

Medias

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	0.4833	0.0855	(0.4091, 0.5576)
60	6	0.4583	0.0850	(0.3841, 0.5326)
70	6	0.4283	0.0857	(0.3541, 0.5026)

Desv.Est. agrupada = 0.0853620

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
50	6	0.4833	A
60	6	0.4583	A
70	6	0.4283	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO D

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para a_w en la flor de Gasparito en mitad

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.007078	0.003539	0.45	0.644
Error	15	0.116967	0.007798		
Total	17	0.124044			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0883050	5.71%	0.00%	0.00%

Medias

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	0.4183	0.0909	(0.3415, 0.4952)
60	6	0.3983	0.0870	(0.3215, 0.4752)
70	6	0.3700	0.0869	(0.2932, 0.4468)

Desv.Est. agrupada = 0.0883050

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
50	6	0.4183	A
60	6	0.3983	A
70	6	0.3700	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO E

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para DE en la flor de Gasparito entera

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	68.43	34.21	1.08	0.363
Error	15	473.36	31.56		
Total	17	541.78			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5.61756	12.63%	0.98%	0.00%

Medias

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	30.93	6.86	(26.04, 35.82)
60	6	35.70	5.90	(30.81, 40.59)
70	6	33.11	3.58	(28.22, 38.00)

Desv.Est. agrupada = 5.61756

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
60	6	35.70	A
70	6	33.11	A
50	6	30.93	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO F

Resultado del ANOVA con prueba de Tukey para DE en la flor de Gasparito en mitad

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura	3	50, 60, 70

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	55.07	27.536	2.76	0.096
Error	15	149.78	9.986		
Total	17	204.85			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.15999	26.88%	17.13%	0.00%

Medias

Temperatura	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
50	6	31.44	3.03	(28.69, 34.19)
60	6	28.70	4.26	(25.95, 31.45)
70	6	27.217	1.619	(24.467, 29.966)

Desv.Est. agrupada = 3.15999

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
50	6	31.44	A
60	6	28.70	A
70	6	27.217	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino-Bolaños, E. N., Flores-Sosa, A. R., Capistrán-Carabarán, A., Ruíz-Romero, Y., Velázquez-Melgarejo, V., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Serbia, J. L. 2017. Efectos de diferentes métodos de cocción sobre compuestos fenólicos y actividad antioxidante en flor comestible de gasparitos (*Erhytrina americana*). *Avances de la ciencia en México*. Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. León, México. pp:477-484.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta ed.). Pearson. México
- Buendía-González, A. N. 2016. Secado por lecho fluidizado de queso fresco. Tesis de Maestría. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Calis-Pérez, C. J. (2018). Efecto del almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del queso deshidratado por lecho fluidizado. Tesis de Maestría. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Domínguez-Niño, A., Buendía-González, A.N., Cantú-Lozano, D., Andrade-Gonzalez, I., Luna-Solano, G. 2016. Efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades de fisicoquímicas y microbiológicas de queso fresco mexicano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 869-881.
- Flores, L., Ruiz , A., & Oscanoa , A. (2021). Protocolo para determinacion de cenizas en microalgas liofilizadas. *Inf Inst Mar Peru*, 48(1), 8-10.
- García-Mateos, R., Soto-Hernández, M. & Vibrans, H. *Erythrina americana* Miller ("colorín"; *fabaceae*), a versatile resource from Mexico: a review. *Econ Bot* 55, 391–400 (2001). <https://doi.org/10.1007/BF02866562>
- Geankoplis, C. J. (1998). *Proceso de Transporte y Operaciones unitarias* (Tercera ed.). México: CECSA.
- Heldman, D. R., & Lund , D. B. (s.f.). *Handbook of Food Engineering* (2 ed.). CRC Press Taylor & Francis Group.

Hernández-Luna, R. 2022. Evaluación de propiedades termodinámicas de chiles deshidratados mexicanos. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.

Hincapié , M. A., & Zapata , J. E. 2019. Estudio de la cinética de deshidratación de Uchuva (*Physalis peruviana* L) en un secador de lecho fluidizado. Información Tecnológica , 30(2), 115-224. <http://dx.doi.org/10.4067/S071807642019000200115>

Lara-Cortés, E., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparico, A., Bautista-Baños, S. 2013. Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles. Revisión. *ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN*. 63(3):197-208.

López-Hermida, I. L., Martínez-García, J.E., Díaz-Vega, R., Blasco-López, G. 2021. "Desarrollo de un nuevo producto alimenticio a base de gasparito (*Erythina americana* Miller). Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana. UV serva. (112), 101-119.

Luna-Flores, M. 2018. Isotermas de sorción y propiedades termodinámicas del chile habanero (*Capsicum chinense*) deshidratado en polvo. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba

Luna Guandulay , J. E. 2021. Evaluación del proceso de secado de flor de calabaza sobre sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba.

Lozano-Acevedo, A. 2007. Secado de lecho fluidizado de minihojuelas de papa (*Solanum tuberosum*). Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba.

Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. 2006. Rehidratación de alimentos deshidratados. Revista Chilena de Nutrición, 33(3):527-538.

Martínez Agustín , O., & Martínez de Victoria Muñoz , E. (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 1-14.

MMT-Galvão, A., Rodrigues, S., AN-Fernandes., F. 2020 Cinética de cubos de manzana pretratados con ultrasonido secados en secador de lecho fluidizado, *Tecnología de secado*, 38:10, 1367-1377, DOI: 10.1080/07373937.2019.1641511

Mulet, A., Cárcel, J., Sanjuán, N., y Bon, B.2003. New Food Drying Technologies- Use of Ultrasound. *Food Science and Technology International*. (9):215-221.

Muñoz Juárez, M., & Gutiérrez, D. (22 de septiembre de 2008). Determinación de actividad antioxidante de diversas partes del árbol *Nicotiana Glauca*. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química.

Niembro-Rocas, A., Vázquez-Torres, M., Sánchez-Sánchez, O. 2010. Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación estratégica.

Perea López, E. V. 2020. Caracterización del proceso de senescencia de la flor de *Tigridia pavonia* (L.f) DC. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.

Saldanha-Soares, G., Neves-Tuchtenhagen, S., de Almeida-Pinto, L. A., Severo-Felipe, C. A. 2022 Monitoreo del proceso de secado de partículas en lecho fluidizado mediante mediciones de temperatura y caída de presión, *Drying Technology*, 40:9, 1935-1947, DOI: 10.1080 /07373937.2021.1894439

Singh, R. P., & Heldman, D. R. 2009. Introducción a la ingeniería de los alimentos. (Segunda Ed.). Academic Press. Acribia.

Talens Oliag, P. (s.f.). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB". Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería de Alimentos.

Treybal R.E., (1998). Operaciones de transferencia de masa. 2º Edición. Ed. Mc Graw Hill

Villegas-Santiago, J. Secado por charolas y por lecho fluidizado de minihojuelas de mango manila (*Mangifera indica*). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba.