**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**
**Universidad del Perú. Decana de América**
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Escuela Profesional de Ciencia de los Alimentos

# Desarrollo de panes con harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada procedente del distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí-Lima

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

**AUTOR**

Joselyn Geraldine ATARAMA DEL POZO

**ASESORES**

Mg. Nelson BAUTISTA CRUZ

Mg. Angela Cindy DÍAZ GARCÍA (coasesor)

Lima, Perú

2022




Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

**Referencia bibliográfica**

---

Atarama J. Desarrollo de panes con harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna” morada procedente del distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí-Lima [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Profesional de Ciencia de los Alimentos; 2022.

---

## Metadatos complementarios

| | |
|---|---|
| **Datos de autor** | |
| Nombres y apellidos | Joselyn Geraldine Atarama Del Pozo |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 71455933 |
| URL de ORCID | No aplica |
| **Datos de asesor** | |
| Nombres y apellidos | Nelson Bautista Cruz |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 10260086 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0003-0932-2332 |
| **Datos de coasesor** | |
| Nombres y apellidos | Angela Cindy Díaz García |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 46885106 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-6235-0511 |
| **Datos del jurado** | |
| **Presidente del jurado** | |
| Nombres y apellidos | Antonio José Obregón La Rosa |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08685618 |
| **Miembro del jurado 1** | |
| Nombres y apellidos | Celia Bertha Vargas de la Cruz |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 42354741 |
| **Miembro del jurado 2** | |
| Nombres y apellidos | Adrián Arturo Intiquilla Quispe |
| Tipo de documento | DNI |

| | |
|---|---|
| Número de documento de identidad | 71428803 |
| **Miembro del jurado 3** | |
| Nombres y apellidos | Ing. Danny Domínguez Del Aguila |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 10128456 |
| **Datos de investigación** | |
| Línea de investigación | Seguridad alimentaria y alimentos funcionales |
| Grupo de investigación | Innovación, desarrollo y evaluación de productos funcionales |
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento |
| Ubicación geográfica de la investigación | Edificio: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Laboratorios de Biotecnología y Bromatología<br>País: Perú<br>Departamento: Lima<br>Provincia: Lima<br>Distrito: Lima<br>Calle: Jr. Puno N°1002<br>Latitud: -12.05572<br>Longitud: -77.02324 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Marzo 2021 – Junio 2022 |
| URL de disciplinas OCDE | Nutrición y dietética<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.04 |

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

**Desarrollo de panes con harina de cáscara de Opuntia ficus - indica (L.) Miller "tuna" morada procedente del distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí-Lima**

Que presenta la Bachiller en Ciencia y Tecnología de los Alimentos:

## JOSELYN GERALDINE ATARAMA DEL POZO

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado Evaluador, y practicada la votación han obtenido la siguiente calificación:

16 (Dieciseis) Aprobado con mención honrosa

---

en conformidad con el Art. 34.º del Reglamento para la obtención del Grado Académico de Bachiller en Ciencia y Tecnología de los Alimentos y Título Profesional de Licenciado (a) en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

**JURADO EVALUADOR** (R.D. N.° 000298-2022-D-FFB/UNMSM)

- Dr. Antonio José Obregón La Rosa
- Mg. Celia Bertha Vargas de la Cruz
- Mg. Adrián Arturo Intiquilla Quispe
- Ing. Danny Domínguez del Aguila

Lima, 01 de agosto de 2022.

**Dr. Antonio José Obregón La Rosa**
**Presidente**

## DEDICATORIA

"A mis **padres** quienes que me han brindado su apoyo y paciencia para culminar con éxito mi etapa universitaria"

"A mi asesor, el **Q.F. Nelson Bautista Cruz** por brindarme sus conocimientos, apoyo constante y tiempo al estar pendiente del avance de mi trabajo de tesis"

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fortaleza y disciplina para poder cumplir con mi propósito.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional para la dedicación en mis estudios.

A la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM y docentes por formar buenos profesionales competentes.

Al Mg. Nelson Bautista Cruz y Mg. Angela Cindy Díaz García, mis asesores, por su apoyo, tiempo, paciencia, conocimientos compartidos para la realización exitosa del trabajo.

A los Mg. Dante Almonacid Román y Paul Gutiérrez Elescano, profesores de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM, por brindarme sus conocimientos y apoyo en la realización de la parte experimental.

A la Dra. Gladys Arias Arroyo y al Bachiller Jossimar Paul Huamani Tarazona, por su apoyo en la realización de la parte experimental del trabajo de investigación.

## ÍNDICE

**I. INTRODUCCIÓN ..... 9**

I.1. Planteamiento del problema ..... 9

I.2. Objetivos ..... 10

I.3. Importancia y alcance de la investigación (Justificación) ..... 11

I.4. Limitaciones de la investigación ..... 12

**II. REVISIÓN DE LA LITERATURA ..... 13**

II.1. Antecedentes del estudio ..... 13

II.2. Bases teóricas ..... 17

II.2.1. Fruto de *Opuntia ficus-indica* (L) Miller "tuna" ..... 17

II.2.2. La cáscara del fruto *Opuntia ficus-indica* (L) Miller "tuna" ..... 21

II.2.3. El pan ..... 22

II.2.4. Evaluación sensorial ..... 26

II.2.5. Fibra dietética ..... 28

II.2.6. Antioxidantes ..... 29

II.3. Glosario de términos ..... 30

**III. HIPÓTESIS Y VARIABLES ..... 31**

**IV. MATERIALES Y MÉTODOS ..... 33**

IV.1. Área de estudio ..... 33

IV.2. Diseño de investigación ..... 33

IV.3. Población de estudio y muestra ..... 33

IV.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información ..... 33

IV.4.1. Obtención y evaluación de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna” morada. ..... 33

IV. 4.2. Formulación de los panes con harina de cáscara de tuna morada *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna” morada ..... 38

IV. 4.3. Evaluación del pan desarrollado con mayor aceptabilidad general ..... 42

IV.4.4. Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento ..... 46

IV.5. Análisis estadístico ..... 48

**V. RESULTADOS ..... 49**

V.1 Obtención y evaluación de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna” morada ..... 49

V.2 Formulación de los panes con diferentes cantidades harina de cáscara de tuna morada *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller “tuna” morada ..... 54

V.3 Evaluación del pan desarrollado con mayor aceptabilidad general ..... 57

V.4 Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento ..... 59

**VI. DISCUSIÓN ..... 63**

**VII. CONCLUSIONES ..... 69**

**VIII. RECOMENDACIONES ..... 70**

**IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 71**

**X. ANEXOS ..... 76**

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de panes tipo bollito .....40
**Figura 2.** Procesamiento de la tuna morada para la obtención de harina .....51
**Figura 3.** Masas de las diferentes formulaciones .....54
**Figura 4.** Panes elaboradas con diferentes cantidades de HCTM (**F0:** 0%; **F1:** 5%; **F2:** 10%; **F3:** 15% y **F4:** 20%).....55
**Figura 5.** Gráfico radial de la evaluación sensorial de los panes realizados con diferentes cantidades de HCTM. .....56
**Figura 6.** Comportamiento de la humedad, pH, % de acidez titulable y sólidos solubles totales del pan con mayor aceptabilidad general durante los 4 días de almacenamiento .....60
**Figura 7.** Evolución del recuento combinado de mohos y levaduras, y aerobios mesófilos del pan con mayor aceptabilidad general.....61
**Figura 8.** Transporte y selección de los frutos de tuna morada.....76
**Figura 9.** Evaluaciones en la tuna morada: **A.** Evaluación morfológica **B.** Evaluación fisicoquímica de su pulpa y cáscara.....76
**Figura 10.** Evaluación de la HCTM: **A.** Granulometría **B.** Evaluación fisicoquímica.77
**Figura 11.** Proceso de elaboración de los panes .....77
**Figura 12.** Ficha de evaluación sensorial de las cinco formulaciones de panes .....78
**Figura 13.** Tablas de ANOVA para los atributos sensoriales de las formulaciones de panes .....79
**Figura 14.** Evaluación sensorial de las formulaciones: **A.** Panes de cada formulación sellados y codificados **B.** Panelistas en grupos de tres para realizar la evaluación sensorial.....80
**Figura 15.** Evaluación proximal: **A.** Determinación de humedad **B.** Determinación de cenizas **C.** Determinación de grasas **D.** Determinación de proteínas .....81
**Figura 16.** Evaluación del contenido de fibra dietética .....81
**Figura 17.** Curva estándar para la determinación de polifenoles .....82

**Figura 18.** Curva estándar para la determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS.....82
**Figura 19.** Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento: **A.** Evaluación fisicoquímica **B.** Evaluación microbiológica **C.** Evaluación sensorial .....83

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra de tuna según cada región del Perú .....20
**Tabla 2.** Métodos sensoriales .....27
**Tabla 3.** Fórmulas de panes con cuatro porcentajes de HCTM (basado en pruebas preliminares) .....39
**Tabla 4.** Rendimiento de la cáscara del fruto de tuna morada .....49
**Tabla 5.** Características organolépticas de la pulpa y la cáscara del fruto de tuna morada .....49
**Tabla 6.** Características fisicoquímicas de la pulpa y cáscara del fruto de tuna morada en muestras frescas .....50
**Tabla 7.** Índice de madurez del fruto de tuna morada .....50
**Tabla 8.** Rendimiento de la HCTM .....52
**Tabla 9.** Granulometría de la HCTM .....52
**Tabla 10.** Características fisicoquímicas de la HCTM .....53
**Tabla 11.** Características sensoriales de las cinco formulaciones de panes .....55
**Tabla 12.** Características fisicoquímicas de las cinco formulaciones de panes .....56
**Tabla 13.** Características organoléptica, fisicoquímica y microbiológica del pan con mayor aceptabilidad general .....57
**Tabla 14.** Composición proximal del pan con mayor aceptabilidad general .....58
**Tabla 15.** Contenido de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS) del pan de mayor aceptabilidad general .....58
**Tabla 16.** Contenido de polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante por el método ABTS en el pan con mayor aceptabilidad general .....59
**Tabla 17.** Características generales del pan con mayor aceptabilidad general durante los 4 días de almacenamiento .....59
**Tabla 18.** Atributos sensoriales y la aceptabilidad general del pan con mayor aceptabilidad durante los 4 días de almacenamiento .....62

## ABREVIATURAS

**HCTM:** Harina de cáscara de tuna morada

**PT:** Polifenoles totales

**FDT:** Fibra dietética total

**FDI:** Fibra dietética insoluble

**FDS:** Fibra dietética soluble

**F0:** Formulación 0 (control)

**F1:** Formulación 1 (con 5% de HCTM)

**F2:** Formulación 2 (con 10% de HCTM)

**F3:** Formulación 3 (con 15% de HCTM)

**F4:** Formulación 4 (con 20% de HCTM)

**$ABTS^{+}$:** ácido 2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)

**SST:** Sólidos solubles totales

**EAG:** Equivalente de ácido gálico

**ET:** Equivalente de Trolox

**AOAC:** Association of Official Analytical Chemists

## RESUMEN

Los residuos alimentarios se han convertido en una preocupación mundial, ya que su eliminación en vertederos genera problemas ambientales y de salud pública; sin embargo, muchos de estos residuos son fuente importante de fibras y otros bioactivos. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar panes con harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada. En la primera etapa del estudio se realizó la obtención de la harina de cáscara de tuna morada (HCTM) y en la segunda etapa se desarrollaron panes sustituyendo la harina de trigo con HCTM al 0**%,** 5%, 10%, 15% y 20%; la mejor fórmula se seleccionó en base al mayor puntaje de la aceptabilidad general dada pon un panel de evaluación sensorial. Al pan con mayor aceptabilidad se realizó los ensayos fisicoquímicos, composición proximal, contenido de fibra dietética utilizando los métodos de AOAC, asimismo, la capacidad antioxidante mediante el método de ABTS y evaluación durante su almacenamiento por un tiempo de 4 días. La HCTM presentó 12,43 % de rendimiento; 12,28 ± 0,17% de humedad; 66,77 ± 1,75 de °Brix y 2,04 de módulo de finura. El pan con 15% de HCTM tuvo la mayor aceptabilidad general; esta formulación presentó 5,96 ± 0,01 de pH; 30,11 ± 0,21% de humedad; 46,61% de carbohidratos; 13,81 ± 0,04% de proteínas; 18,73% de fibra dietética total y 36,03 ± 0,48 µmol Equivalente de Trolox/g. Durante el tiempo de almacenamiento del pan con 15% de HCTM hubo variaciones significativas del pH, sin embargo, no hubo diferencias significativas en la aceptabilidad general. El pan con 15% de HCTM presentó alta aceptabilidad general, alto contenido de fibra dietética y mantuvo sus características sensoriales aceptables durante los 4 días de almacenamiento.



**Palabras clave:** *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller, harina de cáscara de tuna morada, pan, aceptabilidad general, fibra dietética.

## ABSTRAC

Food waste has become a global concern, since its disposal in landfills generates environmental and public health problems; however, many of these residues are an important source of fibers and other bioactives. The objective of this study was to develop breads with *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "prickly pear" shell flour. In the first stage of the study, purple prickly pear shell flour (HCTM) was obtained and in the second stage breads were developed by substituting wheat flour with HCTM at 0%, 5%, 10%, 15% and 20%, the best formula was selected based on the highest overall acceptability score given by a sensory evaluation panel. Physicochemical tests, proximal composition, dietary fiber content using the AOAC methods, as well as the antioxidant capacity using the ABTS method and evaluation during storage for a period of 4 days were carried out on the bread with the highest acceptability. The HCTM presented 12,43% yield; 12,28 ± 0,17% humidity; 66,77 ± 1,75 °Brix and 2,04 fineness modulus. Bread with 15% HCTM had the highest overall acceptability; this formulation presented 5,96 ± 0,01 pH; 30,11 ± 0,21% humidity; 46,61% carbohydrates; 13,81 ± 0,04% protein; 18,73% total dietary fiber and 36,03 ± 0,48 µmol Trolox Equivalent/g. During the storage time of the 15% HCTM bread there were significant variations in pH, however, there were no significant differences in overall acceptability. The bread with 15% HCTM presented high general acceptability, high content of dietary fiber and maintained its acceptable sensory characteristics during the 4 days of storage.



**Keywords:** *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller, purple prickly pear peel flour, bread, overall acceptability, dietary fiber.

# I. INTRODUCCIÓN

## I.1. Planteamiento del problema

Los residuos alimentarios desechados en los vertederos cada día están aumentando, ya que, actualmente hay un aumento de la población que requiere de una mayor producción de alimentos y que a su vez tengan una calidad nutricional mejorada[1,2]. La economía actual que se aplica para la producción de alimentos es una economía lineal que explota los recursos naturales y desecha los residuos causando daños al medio ambiente y en consecuencia a la salud pública, por ello uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es disminuir el problema de pérdidas y desperdicios de alimentos[3]. Los residuos sólidos orgánicos representan 1300 millones de toneladas/ año, de estos el grupo de "frutas y verduras", 500 millones de toneladas/ año; además según los datos recopilados por la FAO del año 2000 al 2017, se considera el principal grupo con mayor porcentaje de desechos (32,99%)[3,4]. Los residuos de frutas (cáscaras, semillas y bagazos) constituyen alrededor del 25 al 40% de la cantidad total de fruta procesada, sin embargo, son fuentes importantes de fibra dietética y otros compuestos bioactivos[2,5] que se pueden utilizar como ingredientes en productos de consumo masivo. No obstante, es preferente transformar el subproducto en harina para reducir su alto contenido de humedad, ocupar menores volúmenes de almacenamiento, aumentar la disponibilidad de nutrientes y alargar la vida útil del producto final[2].

El pan de trigo, es un producto de consumo diario que se caracteriza por tener un bajo contenido de fibra dietética, escasa capacidad antioxidante y alto índice glucémico, que puede ser compensado con la adición de subproductos[6].

Opuntia ficus indica (L) Miller "tuna" es una especie de la familia Cactaceae, de sabor dulce que tiene una importancia económica en el Perú; sin embargo, no realizan el uso integral del fruto, se consumen solo la pulpa y desechan la cáscara, lo cual constituye en peso casi el 50% del fruto[7,8]. Esto muestra la gran cantidad de cáscara que se desecha, desaprovechando su buen contenido de fibra dietética, pectinas, mucílagos, vitaminas (E y C) y ácidos grasos insaturados; asimismo, carotenoides, betalaínas, flavonoides y compuestos fenólicos como ácido gálico, catequina y quercetina-3-glucosa-(1-6)-ácido gálico, presentes en mayor cantidad que en la pulpa. El fruto presenta propiedades antioxidantes,

antiinflamatorias, anticancerígenas, antimicrobianas y antilipidémicas[7,9,10,11] y su aporte en fibra ayudará a mejorar la salud intestinal, reducir los niveles de azúcar y colesterol en sangre y controlar el peso por su efecto saciante[1,12].

En tal sentido, en este trabajo se desarrolló pan con harina de cáscara de tuna morada con alta aceptabilidad general, con fibra dietética y antioxidantes.

**Formulación del problema de investigación**

¿Se podrá desarrollar panes con harina de cáscara de tuna morada con alta aceptabilidad general, alto contenido de fibra dietética y capacidad antioxidante?

## I.2. Objetivos

### I.2.1. Objetivo general

Desarrollar panes con harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada procedente de Santiago de Tuna- Huarochirí.

### I.2.2. Objetivos específicos

1. Realizar la obtención de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada y evaluación del rendimiento, granulometría y características fisicoquímicas.
2. Formular panes con harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada en base a la aceptabilidad general.
3. Realizar la evaluación fisicoquímica, microbiológica, proximal, contenido de fibra dietética y capacidad antioxidante del pan con mayor aceptabilidad general.
4. Realizar la evaluación fisicoquímica, sensorial y microbiológica del pan con mayor aceptabilidad durante el almacenamiento por un tiempo de 4 días.

## I.3. Importancia y alcance de la investigación (Justificación)

Los residuos alimentarios contienen componentes valiosos con muchas propiedades beneficiosas para la salud humana, que al incorporarlos en productos alimenticios mejorará la calidad nutricional del producto final y proveerá de más alimentos a la creciente población, asimismo permitirá realizar una transición de una economía lineal que impacta negativamente al medio ambiente, a una economía circular que hace un uso integral del recurso natural, introduciendo los residuos como materia prima funcional en el proceso productivo[3]. Los residuos de frutas representan del 25 al 40% de la materia prima utilizada[2] y se considera importante conocer el rendimiento del fruto; por ejemplo, los residuos de la manzana (cáscara orujo y semilla) representan entre el 25- 30%; de la cáscara del plátano 35%; de la uva (tallo, cáscara, orujo, semilla) 15 -20%; del arándano (cáscara, hojas) 10-20% y de la guayaba (piel, semilla, hojas),10%[4]. En el caso de la cáscara de tuna de la especie Opuntia ficus - indica (L.) Mill., representa aproximadamente el 50% de la fruta entera, un buen porcentaje de residuos, donde no se aprovecha sus compuestos fenólicos, flavonoides, polisacáridos, ácidos grasos, fibras, antioxidantes y pigmentos como las betalaínas, asimismo se desperdicia una materia prima barata que presenta un sabor dulce, ventajoso para la innovación de productos alimenticios[11,13]. Esto significa una pérdida de ingreso adicional para los pobladores- productores de Huarochirí como para empresas que comercializan pulpas congeladas de tuna como son Agroselva y Selva Industrial, por lo que, este trabajo servirá para incentivar el uso de la cáscara de tuna para el desarrollo de otros productos, lo cual les generará rentabilidad y permitirá el aprovechamiento de otros residuos orgánicos. La cáscara de tuna constituye un excelente ingrediente en panes, ya que compensaría las deficiencias de fibras y antioxidantes de este producto de consumo masivo y cotidiano[3,6]. Por otro lado, la obtención de un derivado como la harina, permitirá darle mayor vida útil a la cáscara de tuna morada, asimismo, facilitará su incorporación como ingrediente alimentario fuente de fibra dietética y otros bioactivos[2].

Finalmente, este trabajo también servirá de base para estudios que buscan nuevas alternativas para fortificar panes y otros productos aprovechando los residuos de frutas y hortalizas, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental de residuos orgánicos.

## I.4. Limitaciones de la investigación

En cuanto a las fuentes de bibliografías, el Perú no cuenta con suficientes investigaciones referentes a la cáscara de la tuna y productos derivados. Por otro lado, aún no hay investigaciones internacionales donde utilicen la cáscara de tuna de coloración morada en el desarrollo de productos alimenticios. La investigación se realizó hasta el mes de febrero del 2022, no hubo limitación de los recursos económicos, ya que se tuvo un presupuesto planificado para el desarrollo y evaluaciones del producto desarrollado. Una de las limitaciones fue el lugar de recolección de la tuna, se eligió Santiago de Tuna- Huarochirí, ya que en San Bartolomé- Huarochirí el rendimiento de cosecha es menor debido a la proliferación de plagas. Una de las limitaciones fue la temporada de cosecha, la recolección y los ensayos tuvo que realizarse durante este periodo. Por otro lado, el espacio para la realización de la evaluación sensorial se solucionó ubicando a los panelistas en grupos de tres en ambientes amplios para evitar el contagio del coronavirus.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### II.1. Antecedentes del estudio

Los subproductos (cáscara, pulpa y semillas) de siete frutas tropicales (papaya, piña, maracuyá, melón, sandía, aguacate y plátano) de Brasil fueron analizados para conocer su composición proximal, contenido de minerales y ácidos grasos; asimismo, evaluaron el efecto del secado en sus cáscaras mediante secado en horno y liofilizado. Se observó un alto contenido de humedad de las pulpas y cáscaras crudas, y alto contenido de cenizas tanto en las cáscaras crudas como secas. A excepción del aguacate, las semillas mostraron los mayores valores de proteína cruda, de lípidos totales y también de fibra cruda, seguido de las cáscaras. Por otro lado, las cáscaras y las semillas presentaron una cantidad significativa de minerales, particularmente calcio y ácidos grasos esenciales como omega-6 y omega-3. Las técnicas de secado utilizadas redujeron la humedad de las cáscaras crudas, pero no causó disminución de la cantidad de nutrientes como cenizas, proteína cruda, lípidos y fibra cruda[14].

Los compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y minerales fueron cuantificados en harinas de subproductos (cáscaras de mango, papaya, melón y piña) obtenidas mediante un proceso de secado de las cáscaras en un horno de circulación forzada hasta tener un contenido de humedad entre 11 y 12%; posteriormente, se trituraron. En los análisis se observó los valores más altos de ácido ascórbico y licopeno en la harina de cáscara de papaya (48,70±5,16 mg/100g; 225,49±0,01 µg/100g); de polifenoles totales en la harina de cáscara de mango (5459,10±48,00 mg ácido gálico/100g); y minerales, en la harina de cáscara de melón; particularmente, potasio, calcio y hierro[5].

Los extractos de betalaínas de la pulpa y cáscara de tres coloraciones de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. fueron obtenidas mediante la aplicación del método de extracción QuEChERS que generó altos rendimientos con valores aproximados de 10% y 7%; respectivamente. En su identificación y evaluación por RP-LC-DAD-MS/MS, se detectó como las más abundantes a la indicaxantina y la betanina; también se encontró que los extractos de pulpa tenían mayor contenido de betaxantinas; y los de cáscara, mayor contenido de betacianinas, 20 veces más en la cáscara roja que en la naranja y amarilla. Por último, por ensayos *in vitro*, la capacidad antioxidante de los extractos de cáscaras fue de 5 a 20 veces mayor que

los extractos de pulpa, obteniendo por ensayo ABTS valores de 1018,52; 2066,07; 854,08 µmol equivalente Trolox/100g en cáscara roja, naranja y amarilla; respectivamente. Además, la mayor actividad citoprotectora lo ejerció los extractos de tuna roja; y la mejor actividad antiangiogénica, los de tuna naranja, seguido del rojo y amarillo[15].

La cantidad de polifenoles totales y capacidad antioxidante fue evaluada en la cáscara y semilla de frutas como el cacao (*Theobroma cacao L.*), la tuna (*Opuntia ficus indica Mill*), la uva (*Vitis Vinífera)* y la uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). Los residuos de la tuna morada presentaron mayor contenido de polifenoles totales que los de la tuna amarilla. La capacidad antioxidante de la cáscara de la tuna morada frente al radical ABTS fue mayor (IC 50 9,19 ± 0,65 mg/mL) a comparación a la semilla y piel; mientras que, en la tuna amarilla, la semilla tuvo el mayor (IC 50 10,67 ± 0,14 mg/mL)[16].

Las características de la cáscara de tuna roja y de sus mucílagos extraídos por dos metodologías fueron secados a 60°C y luego convertidos en polvo para ser evaluadas. El rendimiento promedio del mucílago fue significativamente mayor con agitación magnética (35,7%) que con ultrasonido (26,9%). Las tres muestras: cáscara de tuna, el mucílago con el mayor rendimiento extraído por agitación magnética a 40°C por 10 min y el extraído con ultrasonido al 30% de amplitud y 6 s se consideraron ricos en fibra dietética total (74,52; 76,09; 82,12% en peso seco; respectivamente) y mostraron un buen contenido de betalaínas, celulosa y lignina. Además, mostraron un buen contenido de compuestos fenólicos (8,70; 18,60; 12 mg equivalente de ácido gálico/g peso seco; respectivamente) y buena capacidad antioxidante[9].

El mucílago de la cáscara de tuna fue evaluado para conocer sus características y formar películas comestibles. El mucílago de la cáscara se extrajo con etanol absoluto y se secó en horno a 50°C. Sobresalió su contenido de carbohidratos (97± 0,03%) y predominaron los monosacáridos galactosa (54%), arabinosa (34%) y en menor cantidad, xilosa (10%) y ácido galacturónico (9,1%) determinados por HPLC-RID. Se consideró como un polisacárido altamente ramificado, con gran capacidad de absorción de agua asociada con la cantidad de grupos hidroxilo encontrada en su estructura, poca capacidad de absorción de aceite, buena capacidad emulsionante y espumante pero poca estabilidad de la espuma. La mayor

solubilidad y poder de hinchamiento se observó a 55°C; sin embargo, disminuyó con las demás temperaturas altas. La solución de mucílago al 4%p/p utilizada exhibió una viscosidad con comportamiento no newtoniano de carácter pseudoplástico, y con adición del plastificante glicerol al 40%p/p del peso del polímero, permitió desarrollar películas comestibles de superficie uniforme, sin grietas, con espesor de 0,176 mm, alto contenido de humedad y con resistencia a la penetración del aceite que permite su utilización en envases para productos alimenticios grasosos[10].

La cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Mill. tuna morada de Lima, Perú fue evaluada para cuantificar sus compuestos bioactivos y obtener un colorante natural. El colorante se obtuvo mediante extracción acuosa, se cuantificó los pigmentos betalaínas, teniendo como resultados 378 mg/L de betaxantinas y 637 mg/L de betacianinas. Además, por cromatografía en capa fina se detectó 3 colores (rojo, amarillo y anaranjado) pertenecientes a las betalaínas, carotenoides y xantófilas. El colorante natural de color rojo se ensayó en un yogurt natural, concluyendo que tiene buena estabilidad[17].

En un estudio se realizaron formulaciones de salchichas de cerdo cocidas bajas en sodio y grasa con harina de cáscara de tuna de México al 2,5% y 5% con y sin almidón de papa, respectivamente. Por otro lado, evaluaron instrumentalmente su humedad, pH, color y textura en los días 1, 5, 10 y 15 de almacenamiento a 4°C. Se observó que con el aumento de la harina tiende a disminuir el pH manifestándose la misma tendencia en el transcurso de los días. En el análisis de textura, hubo una disminución significativa en resorteo y gomosidad. Sensorialmente, la formulación con 2,5% de la harina, fue la elegida por no afectar los atributos del producto[18].

El efecto de la incorporación de harina de cáscara de tuna amarilla de La Libertad, Perú fue evaluado en snacks a base de harina de arroz integral y harina de amaranto. Realizaron cuatro formulaciones utilizando 20% de harina de amaranto y sustituyendo la harina de arroz integral por la harina de cáscara de tuna al 0%, 5%, 7% y 10%. Las formulaciones con harina de cáscara de tuna fueron las más aceptables sensorialmente, especialmente los snacks con 10% que presentaron adecuado color, más crujiente y con una menor oleosidad; además comparado con otras marcas comerciales, presentó un adecuado contenido de grasas, proteínas y

fibra cruda, 26,89%; 7,22% y 2,13%, respectivamente[19].

El efecto de la incorporación de la harina de cáscara de tuna anaranjada de Túnez, África fue evaluado en galletas. Informaron que las galletas si se vieron influenciadas por las cantidades utilizadas (0%, 10%, 20% y 30%) provocando un aumento del contenido de cenizas, fibra bruta, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y pigmentos (carotenoides y betalaínas). La concentración de los pigmentos no se vio afectada significativamente y se consideraron resistentes al tratamiento térmico. La muestra con 30% tuvo mayor resistencia a la rotura y en el color se informó una reducción del brillo. Sensorialmente, las tres formulaciones con harina de cáscara de tuna fueron más aceptables que el control destacando los atributos de color, sabor y olor[13].

La cáscara de tuna blanca fue aprovechada en un producto de panificación, las mantecadas, producto consumido en México. De las formulaciones con diferentes porcentajes de harina de cáscara de tuna: F1 (10%); F2 (20%); F3 (30%) y F4 (20% y un 50% menos de azúcar y aceite), la última fue la preferida sensorialmente para la comparación con una manteca comercial (MC) en una prueba de preferencia, resultando como sobresaliente la mantecada F4, por tener una mayor aceptación en un 70%, un mayor contenido de fibra y un menor contenido de grasa[20].

El efecto de la adición de la harina de cáscara de tuna (*Opuntia ficus*) anaranjada de Huancayo, Perú al 0%, 5%, 10% y 15% fue evaluado en panes por medio de una evaluación sensorial para seleccionar el pan de mayor aceptabilidad. El pan con 5% tuvo mejores atributos, inclusive después de su almacenamiento por 10 días; mientras que, con una mayor cantidad de la harina de cáscara de tuna se observó un color poco agradable[7].

La harina de cáscara de tuna amarilla de Sicilia, Italia fue evaluada para ser utilizada en la preparación de panes, considerando porcentajes de 5, 10, 15, 20 y 50%, primero se evaluó las masas de las formulaciones, observándose un menor porcentaje de aumento con 50%, por ello se preparó los panes con las primeras concentraciones donde se observó que el proceso térmico causó un aumento del contenido de betalaínas y actividad antioxidante, y la textura no se vio influenciada significativamente por la adición de harina de cáscara de tuna. Además, se observó que las muestras con 15 y 20% mostraron una corteza con menor luminosidad y amarillez, pero mayor enrojecimiento en comparación con el control; mientras que,

en su miga tuvieron altos valores para estos parámetros. Por último, el pan con 10% tuvo las mejores propiedades tecnológicas y sensoriales[21].

A nivel nacional no se ha investigado con profundidad la cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada, a excepción de su uso como colorante natural rico en pigmentos con gran poder antioxidante; sin embargo, no hay estudios de innovación para su aprovechamiento en productos como los panes que son de consumo diario en el Perú. Asimismo, no hay estudios con enfoque cuantitativo como el análisis proximal, microbiológico, funcionales de panes que tengan incorporado este subproducto de coloración morada.

## II.2. Bases teóricas

### II.2.1. Fruto de *Opuntia ficus-indica* (L) Miller "tuna"

#### 2.2.1.1. Generalidades

La tuna perteneciente a la familia Cactaceae, subfamilia Opuntiodeae, género Opuntia, subgénero Platyopuntia, especie *Opuntia ficus- indica* (L.) Miller, se considera una planta suculenta capaz de resistir las duras condiciones ecológicas como las sequías, las altas temperaturas y suelos pobres debido a su mecanismo de fotosíntesis llamado metabolismo del ácido crasuláceo (MAC)[22]

Las partes de esta planta son las flores, los cladodios y los frutos de una variedad de colores como el amarillo, blanco, verde, rojo, naranja y morado. La variedad de colores de los frutos influye en las diferencias fisicoquímicas, propiedades nutricionales y antioxidantes[22,23].

El fruto de la "tuna" es no climatérico, con una vida útil corta de 3 a 4 semanas y es caracterizada por ser una baya ovalada, alargada, dulce, jugosa, llena de pulpa y mucílagos con diferentes espesores de cáscara[23]. Su peso oscila entre 45% a 67%, su pericarpio entre 33% a 55% y sus semillas de 2% a 10%[22].

#### 2.2.1.2. Origen y variedades

En las fuentes revisadas mencionan que es originaria de México y crece de forma silvestre en regiones áridas y semiáridas, ya que se adapta a diferentes condiciones climáticas[22,23]. Los nombres que se da al fruto de este tipo de Opuntia depende del país, por ejemplo, en España, se llama *higo de las indias o higo chumbo*; en Italia, *fico d'India*; en Francia, *figue de Barbarie*; mientras que, en Australia, África y

Estados Unidos se llama *prickly pear*[23].

*Opuntia ficus- indica* (L.) Mill. es una especie existente en el Perú; sin embargo, aún no se les han dado nombres a sus variedades, solo son diferenciados por su coloración siendo las más importantes la blanca y la morada. Otros países productores del fruto de esta especie mencionan que la mayoría no tiene espinas o son escasas; por ejemplo, Sudráfrica tiene las variedades con diferente coloración de cáscara/ pulpa como Algerian (rojo/rosa oscuro), Gymno Carpo (amarillo/naranja), Meyers (rojo/rosa oscuro), Morado (verde/blanco), Roedtan (amarillo/naranja), Turpin (amarillo/naranja), Zastron (Verde claro/blanco), Nudosa (rojo/rojo); Marruecos; variedades Moussa (amarillo/naranja) y Aissa (amarillo/naranja); Italia, variedades Gialla (amarilla), Rossa (roja) y Bianca (blanca); Argentina, variedad amarilla sin espinas (amarillo/verde); Estados Unidos, variedad Andy Boy (blanca/amarilla/roja); Israel, variedad Ofer (amarilla/naranja); Chile, variedad excepcional con espinas, la Verde criolla (verde/verde) y México; variedades Roja Vigor (rojo brillante/rojo) y Roja San Martín (rojo morado/morado) que presenta escasas espinas similar a la utilizada en este estudio[22].

#### 2.2.1.3. Usos de la fruta

La fruta tuna usualmente se consume como fruta fresca pero también se puede consumir en productos procesados utilizando de preferencia las de colores más fuertes como las tunas rojas, moradas y anaranjadas, ya que en el procesamiento de tuna como las verdes hay problemas en el color y aroma. Ejemplos de su uso en productos alimenticios son: colorantes naturales obtenidos del concentrado o deshidratado del jugo de tuna, coberturas de pulpa de tuna morada y naranja para postres lácteos, gomitas de tuna morada y anaranjada, bebidas alcohólicas y productos concentrados como mermeladas, jarabes y jugos concentrados[22,8].

#### 2.2.1.4. Composición química de la fruta

La composición depende de factores como el estado de madurez, especie, variedad, lugar y manejo del cultivo, y condiciones climáticas. La pulpa es la parte comestible de la fruta y se caracteriza por tener un alto contenido de agua entre 84-90%; azúcares reductores entre 10-15%; carbohidratos entre 12-17%; sólidos solubles entre 12- 17%; una acidez muy baja de 0,3 a 1,0 expresada como ácido

cítrico; un contenido de fibras entre 0,02- 3,15%; un valor de proteínas entre 0,21-1,60% y un valor de lípidos entre 0,09- 0,70%. El valor de pH de la fruta oscila de 5,2 a 6,4 en todas las etapas de madurez; sin embargo, con el aumento de la edad de la fruta si disminuye su acidez y firmeza[23]. El fruto de la tuna contiene compuestos como vitamina E (en particular α-tocoferol), carotenoides, ácido ascórbico, aminoácidos, fibras, mucílagos y compuestos antioxidantes (fenoles, flavonoides, betalaínas) en cantidades considerables. Los flavonoides encontrados en la pulpa de tuna han sido isorhamnetina, quercetina y kaempferol. Los aminoácidos están presentes en altas cantidades; especialmente, prolina, treonina, serina, y ácido gamma-aminobutírico, mientras que las vitaminas como la tiamina ($B_1$), riboflavina ($B_2$) y niacina ($B_3$), en niveles trazas. Además, su contenido de vitamina C (180 a 300 mg/ kg) es superior al de otras frutas comunes (manzana, plátano y uva)[11,23]. En todas las partes de la fruta se encuentra la vitamina K1 (0,5 a 1 g/ kg) y como principal esterol contenido en sus aceites el β-sitosterol, seguido del campsterol. Los minerales más resaltantes de la tuna son el potasio, magnesio y calcio[11].

#### 2.2.1.5. Producción

**A nivel internacional**

El cultivar de tuna seleccionado para fruta depende de las condiciones climáticas y de la demanda del mercado; por ejemplo, el mercado americano y europeo prefieren los cultivares de pulpa amarilla, rosa, naranja o roja; mientras que, el mercado de Sudáfrica y México, los de color blanco o verdoso[22]. México se considera el principal productor mundial; mientras que, los países que se encuentran en cuenca mediterránea, los segundos países productores, siendo Túnez el que cultiva más de 600 000 ha[13].

**A nivel nacional**

En el Perú, el cultivo de tuna o nopal se destina para producción de cochinilla (60%) y comercialización de la fruta fresca en el mercado (40%), siendo la asociación de productores de nopal y cochinilla de Huarochirí (APROTYC) uno de los encargados de esta actividad. Por otro lado, su consumo principalmente es doméstico[22]. En el 2018, según estadísticas del MINAGRI mostrado en la tabla 1, mencionan una

producción de 78141 toneladas/año, 13179 hectáreas (ha) de superficie cosechada, un rendimiento de 5 929 kg/ha y el precio que tendría en chacra sería de S/.1.34/ kg. Los departamentos de mayor producción son: Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Lima y Arequipa, entre ellos, Lima es el que obtiene el mejor rendimiento (10022 kg/ha)[24]. La producción de esta fruta, es un negocio que aún no es aprovechado por completo en nuestro país como en lugares como Huarochirí, que tiene una asociación que se encarga del cultivo de esta fruta. Además, solo existen algunas empresas que comercializan la pulpa de la tuna como la empresa Selva Industrial que comercializa pulpa y concentrado congelados, y la empresa "Agroselva" que comercializa pulpas de tunas cultivadas en Kivinaki, Junín en envase doypack de 250 g en las tiendas retail como Plaza Vea, Vivanda y Supermercados Peruanos.

**Tabla 1.** Producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra de tuna según cada región del Perú

| Región | Producción (Toneladas) | Superficie (Hectáreas) | Rendimiento (Kg/Ha) | Precio en chacra (S. / Kg) |
|---|---|---|---|---|
| **Nacional** | **78141** | **13179** | **5929** | **1,34** |
| Amazonas | 0 | 0 | - | - |
| Ancash | 2842 | 242 | 11744 | 0,92 |
| Apurímac | 6027 | 1498 | 4024 | 0,65 |
| Arequipa | 6456 | 1858 | 3475 | 2,43 |
| Ayacucho | 22 917 | 3795 | 6039 | 1,08 |
| Cajamarca | 535 | 101 | 5301 | 1,18 |
| Callao | 0 | 0 | - | - |
| Cusco | 13721 | 1617 | 8485 | 0,96 |
| Huancavelica | 8779 | 1752 | 5011 | 1,20 |
| Huánuco | 149 | 57 | 2614 | 0,81 |
| Ica | 958 | 419 | 2286 | 1,84 |
| Junín | 177 | 25 | 7084 | 1,23 |
| La Libertad | 1105 | 246 | 4493 | 0,85 |
| Lambayeque | 0 | 0 | - | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lima | 9641 | 962 | 10022 | 1,90 |
| Lima Metropolitana | 682 | 58 | 11759 | 2,30 |
| Loreto | 0 | 0 | - | - |
| Madre de Dios | 0 | 0 | - | - |
| Moquegua | 2790 | 447 | 6242 | 1,81 |
| Pasco | 20 | 5 | 4351 | 1,09 |
| Piura | 0 | 0 | - | - |
| Puno | 0 | 0 | - | - |
| San Martín | 0 | 0 | - | - |
| Tacna | 1342 | 98 | 13694 | 3,86 |
| Tumbes | 0 | 0 | - | - |
| Ucayali | 0 | 0 | - | - |

**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (2018)[24].

### II.2.2. La cáscara del fruto *Opuntia ficus-indica* (L) Miller "tuna"

#### 2.2.2.1. Usos potenciales de la cáscara

La cáscara generalmente se desecha, se usa como mejorador del suelo o como alimento para el ganado[21,20]. Sin embargo, por ser una buena fuente de compuestos bioactivos está siendo de interés su utilización como ingrediente funcional en investigaciones de desarrollo de productos alimenticios como en la elaboración de productos de panadería como panes con harina de cáscara de tuna de coloración amarilla[21] y anaranjada[7], mantecadas con harina de cáscara de tuna blanca[20], galletas con harina de cáscara de tuna anaranjada[13], snacks libres de gluten a base de arroz integral y harina de amaranto con incorporación de harina de cáscara de tuna amarilla[19]. También, se ha usado la harina de cáscara de tuna para elaborar salchichas bajas en sodio y grasa[18], obtener un colorante a partir de cáscara de tuna morada[17] y para elaborar películas comestibles usando el mucílago extraído de su cáscara[10].

#### 2.2.2.2. Composición química y propiedades nutritivas de la cáscara

La cáscara de tuna es rica en fibra dietética[9]; vitamina E, en especial α- tocoferol; ácidos grasos principalmente ácido palmítico (C16:0) y el ácido linoleico (C18:2); y los esteroles encontrados han sido el β-sitosterol, campesterol y ergosterol. En variedades de tuna como la Verdal (naranja) y la Sanguinos (roja) se menciona

como principales carotenoides de sus cáscaras a la luteína, el β-caroteno y la violaxantina, que además están presentes en mayor concentración que en las pulpas; asimismo, las betalaínas presentes en sus cáscaras presentan mayores valores de betacianinas y betaxantinas que las pulpas y el licopeno también está presente en mayor cantidad en la cáscara (45,61 ± 2,68 µg/100g), la pulpa contiene solo niveles trazas. En la cáscara y pulpa de tunas de coloración roja y amarilla se han identificado a los compuestos fenólicos ácido gálico, catequina, quercetina-3-glucosa-(1-6)-ácido gálico; sin embargo, en la pulpa y cáscaras de las tunas de coloración roja se ha encontrado mayor contenido de fenoles, que en la de coloración amarilla. En el extracto de la cáscara de tuna se ha evidenciado mayor actividad antimicrobiana contra bacterias Gram positivas que contra bacterias Gram negativas y también mayor actividad antimicrobiana contra *Salmonella* Typhimurium (S456), *Bacillus subtilis* (B2836) y *Streptococos neumoneae* (ATCC63) en comparación con tetraciclina y vancomicina[11].

### II.2.3. El pan

#### 2.2.3.1. Definición

El pan es un producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae*[25].

#### 2.2.3.2. Panificación

La panificación es un proceso dinámico que involucra un conjunto de operaciones donde se dan variaciones químicas desde la harina hasta el pan y continuos cambios microbiológicos y bioquímicos inducidos por la acción mecánico- térmico y la actividad de las levaduras, junto con las enzimas endógenas como las amilasas. En la fabricación del pan, la fermentación no cumple un rol de extender la vida útil como se da en la mayoría de alimentos, sino que consiste en convertir el grano o trigo en producto más funcional y consumible[25,26].

#### 2.2.3.3. Ingredientes en panificación

En la elaboración de pan se utilizan cuatro ingredientes principales; sin embargo, se puede agregar otros para mejorar sus propiedades tecnológicas.

**Ingredientes principales:**

**Harina:** La harina de trigo es la materia prima más común para la elaboración de panes, en especial, la variedad de trigo "*Triticum aestivum"*, y en la formulación típica del pan representa del 60 al 70%. La harina de trigo es obtenida de la molienda del endospermo del grano (representa el 85% del peso del grano) conformado principalmente por proteínas (glutenina y gliadina) y almidón. No obstante, si se muele el grano sin separar sus componentes principales (germen, salvado y endospermo) se denomina "harina integral". Las características principales de la calidad incluyen: tasa de extracción de alrededor del 72% (72kg de harina pura/100kg de trigo) para obtener una harina clara; harinas derivadas de trigo duro con un alto contenido de proteínas con más de 11% para panes; mientras que, para galletas, tortas y pasteles, harinas de trigo blando de bajo contenido de proteínas (9% o menos)[25,26].

**Levadura:** La levadura de panadería *Saccharomyces cerevisiae,* es un importante organismo fermentador con crecimiento óptimo a 30°C y un pH de 4 a 5. En la formulación representa del 1 al 6% y sirve como agente leudante. Se comercializa de tres formas como crema, comprimida y seca[26,27].

**Agua:** Solvente presente entre un 60 y 70%, permite hidratar la harina y demás ingredientes, y formar la masa[26,27].

**Sal:** Se agrega de 1 a 2% no solo para impartir sabor al pan, sino también para controlar el proceso de fermentación, endurecer el gluten, inhibir la hidratación del gluten para que no colapse la masa y aumente la retención de gas. Si no se agrega sal, la masa aumenta su extensión y se tiene una masa húmeda y líquida[27].

**Azúcar:** A pesar de que la harina contiene maltosa y glucosa, y el almidón aporta azúcares fermentables, es de utilidad agregar una fuente adicional de azúcares fermentables en la formulación, de 2 a 3% de sacarosa o glucosa para aportar sabor al pan, dar color a la masa durante el horneado y para no limitar el crecimiento de las levaduras[25,26].

**Ingredientes opcionales:**

**Enzimas:** Las amilasas se encuentran presentes en la harina en bajas cantidades. Si se agrega como coadyuvante en la mezcla ayuda a aumentar la cantidad de azúcares libres y mejorar la calidad del pan. Sin embargo, si se agrega mucho, se produce un exceso de azúcares libres persistiendo durante el horneado y se obtiene

un pan blando, pegajoso, con excesivo dorado[26].

**Grasas:** Se agrega de 0,1% a 0,2% de grasa animal (en forma de manteca o aceite) o de aceites vegetales parcialmente hidrogenados para conferirle una textura suave[26,27].

**Nutrientes de levadura:** Se puede agregar en la mezcla de la masa algunas sales de amonio como fuente de nitrógeno para el crecimiento de la levadura[26].

**Vitaminas:** Las harinas ya están enriquecidas como vitaminas B (tiamina, niacina y ácido fólico) y hierro; sin embargo, cuando se utilizan en harina no fortificadas se puede enriquecer directamente en la masa[26].

**Mejoradores de masa:** Sirve para acelerar el proceso de mezclado de la masa, aumentar su elasticidad, aumentar la retención de gases y, por ende, mejorar la estructura de la masa. Por ejemplo: cisteína, ácido ascórbico y bromato de potasio[25,26].

**Conservantes biológicos:** Se puede añadir los inhibidores de moho en un 0,15% a 0,2% del peso de la harina. Por ejemplo: propionato de calcio, acetato de potasio, diacetato de sodio y propionato de sodio[26].

**Emulsionantes:** Se agrega 0,5% del peso de la harina y sirve para mejorar las propiedades funcionales de la masa aumentando la absorción de agua y retención del gas, además permite retardar el envejecimiento del pan[26].

**Gluten:** Se agrega gluten seco para conferir al pan mayor contenido de proteínas, mayor volumen de la barra, mejor textura y prolongar su vida útil[26].

#### 2.2.3.4. Proceso de elaboración del pan

**Pesado:** Se basa en el pesado de los ingredientes de una formulación estandarizada y evita variaciones de la calidad del pan, bajo rendimiento y altos costos[26].

**Mezclado y amasado:** Paso importante para desarrollar la masa. Se realiza la combinación de los ingredientes y se aplica fuerza para difundir el agua en las partículas de trigo, permitiendo la hidratación de las proteínas gliadina y glutenina y formación del gluten que rodeará a los gránulos de almidón que luego serán hidrolizados por las amilasas naturales o exógenas[25,26].

**Fermentación:** En la fermentación alcohólica, la levadura descompone los carbohidratos (almidón y azúcares) produciendo la liberación del $CO_2$, producto

final más importante de la fermentación del pan que conlleva a la expansión y aumento del volumen de la masa, y alcohol que se evapora durante el proceso de horneado[26].

**División, redondeo y moldeado:** La división consiste en cortar la masa en piezas similares y se debe realizar rápido porque la fermentación aún continúa y eso puede cambiar la relación peso-volumen de las piezas. El redondeo sirve para que la masa se recupere de las tensiones físicas y estrés causadas en el paso anterior. Moldeado consiste en dar una forma deseada a la masa para luego fermentar y hornear en las bandejas[25,26].

**Horneado:** Paso de transformación de la masa a pan, realizado en un horno a temperatura de 200 a 250°C durante 50 minutos. A medida que aumenta la temperatura interior de la masa, aumenta la actividad de la levadura acelerando la fermentación, producción de gas y volatilización del etanol; sin embargo, se inactiva cuando llega alrededor de 45°C. A los 55°C se produce la gelatinización del almidón debido a que los gránulos absorben el agua liberada de la red de gluten produciendo una estructura semirrígida y a los 95°C se da la reacción de Maillard resultando un pan con corteza firme, con buen sabor, aroma y un atractivo color marrón[25,26].

**Enfriado y envasado:** El enfriado del pan se debe realizar en condiciones que evite la exposición a microorganismos transportados por el aire, en especial, esporas de mohos. Una vez que el pan está frío se envasa en bolsas de polietileno impermeables a la humedad[26].

#### 2.2.3.5. Panes funcionales

El pan es un alimento muy consumido por la población que puede tener un valor agregado con subproductos de origen vegetal por presentar compuestos bioactivos y nutrientes esenciales. De esta manera, se puede obtener un “pan funcional”. Por otro lado, los subproductos de frutas y verduras son altamente perecederos por lo que requieren ser procesadas como harina para ser agregado en proporciones correctas al pan y posteriormente realizarle análisis. Los subproductos tienen buena fuente de fibra dietética, predominando la fibra dietética insoluble (FDI) como lo encontrado en la harina de cáscara de tuna amarilla que contiene 20,2% de FDI y 12,80 ± 0,2% de FDS y en el polvo de cáscara de yaca, 34,56% de FDI y 13,2% de

FDS[28,21,29]. Los compuestos hidrofílicos están presentes en mayor cantidad en la cáscara de tuna que en el salvado de trigo y salvado de avena (6,6 y 15% de fibra soluble respectivamente)[2]; en consecuencia, tiene mayor capacidad de retener agua en la matriz de la masa y mejorar las propiedades de la miga[28]. Por otro lado, la mayor capacidad de absorción de agua y capacidad de hinchamiento se ha observado en las cáscaras que en los orujos de las frutas[2]. El contenido de humedad del pan con subproductos alarma por su aumento, como lo observado en pan con subproductos de tomate (piel y semilla), fibras de cáscara de mango (al 1%, 3% y 5%) y harina rica en fibra de subproducto de alcachofa (al 3%,6%, 9% y 12%); sin embargo, tienen una vida útil más prolongada que el pan de harina de trigo refinada[28], debido a sus bioactivos con propiedades antimicrobianas contra el crecimiento de moho[2,28]. No obstante, pueden afectar la actividad de la levadura y debilitar la red de gluten, debido a que se ha evidenciado una reducción de la levadura y bajo volumen específico del pan enriquecido con tallo y hojas de brócoli[28].

### II.2.4. Evaluación sensorial

#### 2.2.4.1. Definición

La evaluación sensorial es una disciplina que abarca un conjunto de métodos de prueba que tiene como instrumentos de medición los sentidos humanos (vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído) utilizados para evocar, medir, analizar e interpretar las características sensoriales (apariencia, aroma, sabor, textura y sonido) que impulsan la aceptabilidad de un alimento o producto[30].

#### 2.2.4.2. Aplicación

Las aplicaciones en la industria alimentaria se dan para el desarrollo de nuevos productos, modificación de una formulación, mejora, evaluación, control de calidad y comercialización de productos. Además, para estimar su vida útil dado que las características sensoriales se deprecian antes que la calidad microbiana[30]. Por otro lado, tiene importancia en la decisión de la mejor proporción de reemplazo de harina de trigo por la harina de subproductos de frutas ya que su adición puede afectar las propiedades físicas y mecánicas de la masa, inclusive en el sabor ya que su alto contenido de polifenoles le confiere un ligero amargor[2].

#### 2.2.4.3. Requisitos

Se debe tener en cuenta el objetivo claro de la realización, la disposición de un laboratorio con buena iluminación, un método adecuado de presentación de la muestra como el tipo de recipiente, tamaño y forma de la muestra, codificación de las muestras, número de muestras en una sesión, enjuague entre cada muestra y software para el análisis estadístico. Además, es necesario el consentimiento del panelista, un entrenamiento en profundidad o mínimo dependiendo la prueba e instrucciones claras y breves del llenado de la hoja de puntuación[30].

#### 2.2.4.4. Métodos

Las características sensoriales de los productos se pueden evaluar con pruebas discriminatorias, descriptivas y afectivas dependiendo del propósito y se puede realizar preguntas para determinar el método de elección (Tabla 2). La escala de calificación hedónica, es un tipo de prueba ampliamente utilizado que evalúa el grado de agrado de un producto específico mediante escalas hedónicas de 5, 7 o 9 puntos[30].

**Tabla 2.** Métodos sensoriales

| Pregunta | Método | Tipos |
|---|---|---|
| ¿Son diferentes los productos? | Pruebas de discriminación | Prueba triangular<br>Prueba dúo-trío<br>Prueba de comparación pareada |
| Si los productos son diferentes, ¿en qué se diferencian? | Pruebas descriptivas | Análisis descriptivo cuantitativo<br>Perfil de libre elección<br>Análisis de la intensidad del tiempo<br>Análisis del perfil de sabor<br>Análisis de perfil de textura |
| ¿Cuál es la aceptabilidad de un producto? ¿Se prefiere un producto sobre otro? | Pruebas afectivas | Escala de calificación hedónica (escala hedónica de 5 puntos, 7 puntos y 9 puntos)<br>Ranking de preferencia. |

**Fuente:** Mihafu F, Issa J, Kamiyango M (2020)[30]

### II.2.5. Fibra dietética

#### 2.2.5.1. Definición

La fibra dietética es una serie de polisacáridos sin almidón que no pueden ser digeridos ni absorbidos por el intestino delgado; sin embargo, se puede dar una fermentación total o parcial de algunos de estos carbohidratos complejos en el colon por la microbiota intestinal. Por otro lado, se le reconoce como el séptimo grupo de nutrientes más grande del cuerpo humano, después de las proteínas, las grasas, los carbohidratos, las vitaminas, los minerales y el agua[1,12].

#### 2.2.5.2. Clasificación

Las fibras dietéticas según su solubilidad en agua se clasifican en soluble e insoluble. Las fibras insolubles como la celulosa, hemicelulosa y lignina presentan enlaces glucosídicos β-1-4 brindándoles resistencia a la degradación en ambientes altamente ácidos o alcalinos. Las fibras dietéticas solubles incluyen gomas, mucílagos, galacto-oligosacáridos (GOS), fructo-oligosacáridos (FOS), pectina, almidón resistente e inulina y son responsables de la alta capacidad de retención de agua[2] , también pueden ser usados como aditivos dietéticos; como por ejemplo, la pectina, las gomas y mucílagos, capaces de formar geles; por ello, sirven como agentes gelificantes, espesantes y emulsionantes en productos alimenticios[1,12].

#### 2.2.5.3. Efectos benéficos para la salud

Las fibras dietéticas usadas en la fortificación de alimentos han demostrado tener un efecto hipoglucemiante reduciendo los niveles de azúcar en la sangre y pueden ser sustitutos seguros del azúcar. Además, es útil como sustrato de fermentación para promover una buena flora intestinal y evitar la generación de carcinógenos; tiene efecto antioxidante porque es una fuente abundante de ácidos fenólicos, y efecto saciante por su relación con la pérdida de peso, debido a que facilita la excreción fecal; regula los lípidos en la sangre cuando atrapa al colesterol y lo elimina del cuerpo en forma de heces previniendo enfermedades como la hipertensión, aterosclerosis y enfermedad coronaria[12]. Las fibras insolubles aumentan el volumen fecal, promueven el tránsito intestinal, actúan como prebióticos en la microflora y reducen el colesterol, mientras que las fibras solubles estimulan la secreción gástrica, acelera el movimiento intestinal, acorta el tiempo

de tránsito intestinal y reduce la absorción de colesterol, glucosa y grasas[1,12].

### II.2.6. Antioxidantes

#### 2.2.6.1. Definición

Los antioxidantes son compuestos capaces de capturar y neutralizar los radicales libres que al generarse en exceso pueden dar lugar a procesos oxidativos causantes del deterioro de la calidad de alimentos o procesos degenerativos de las células biológicas del organismo, por lo que los antioxidantes pueden ayudar a retrasar, controlar o prevenir el estrés oxidativo. Existen dos tipos de antioxidantes: exógenos y endógenos. Los antioxidantes exógenos o no enzimáticos (vitamina E, vitamina C, flavonoides y ácidos fenólicos) consumidos en bajas cantidades en la dieta diaria ayudan a prevenir ciertas enfermedades y los antioxidantes endógenos (superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px)) se encuentran en bajas concentraciones en el cuerpo humano y su disminución puede relacionarse con el envejecimiento humano, por ello es necesario el balance de los dos tipos de antioxidantes[31].

#### 2.2.6.2. Métodos

La medición de la capacidad antioxidante de alimentos y de muestras biológicas es importante porque permite garantizar la calidad de los alimentos y examinar la eficacia de los antioxidantes alimentarios en la prevención o tratamiento de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. Los métodos se pueden realizar con técnicas que se clasifican en tres categorías: espectrofotometría, técnicas electroquímicas y cromatografía. La primera incluye métodos como la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), la capacidad antioxidante de radicales hidroxilo (HORAC), el parámetro antioxidante de atrapamiento de radicales peroxilo total (TRAP), el poder antioxidante reductor cúprico (CUPRAC), el poder antioxidante reductor férrico (FRAP), el poder reductor de ferricianuro de potasio (PFRAP), el ensayo de captación de radicales ácido 2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS), el ensayo de eliminación de radicales 2,2-di(4-terc-octilfenil)-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el análisis fluorimétrico. El segundo, la voltamperometría, amperometría y biamperometría. El tercero, la cromatografía de gases y cromatografía líquida de alta resolución[31].

**Método ABTS (ácido 2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)**

El método ABTS, también conocido como ensayo de capacidad antioxidante equivalente de trolox (TEAC), es un método que consiste en la captura del radical catiónico $ABTS^+$ (ácido 2,2' azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)) por acción de los antioxidantes, reacción que provoca una decoloración del radical de verde azulado a incoloro. La cuantificación de la decoloración se realiza a una longitud de onda de 734 nm. Tiene la ventaja que permite determinar la capacidad antioxidante total de compuestos tanto hidrofílicos como lipofílicos dado que, el radical artificial utilizado es soluble en agua y disolventes orgánicos[31].

$ABTS^+$ (color azul-verde) + AH -> ABTS -H (incoloro) + A*

**II.3. Glosario de términos**

**Subproducto:** Se refiere a la reutilización del residuo como materia prima o ingrediente y su integración en la línea de producción para generar un beneficio[3].

**Economía circular:** Es un modelo sostenible que reintroduce los subproductos/residuos a la línea de producción, dándole valor y uso como materia prima para el desarrollo de nuevos productos, a diferencia del modelo actual o lineal que explota los recursos naturales y desecha los residuos[3].

**Compuestos bioactivos:** Son metabolitos secundarios del sistema biológico vegetal que se clasifican en esencial (vitaminas y minerales) y no esencial (fenólicos, flavonoides, fitoesteroles, carotenoides, aceites esenciales, entre otros)[4].

**Polifenoles:** Uno de los principales metabolitos secundarios de las plantas, conformado por ácidos fenólicos, flavonoides y polímeros como la lignina y taninos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias o anticancerígenas dependiendo de su estructura[1,4].

**Flavonoides:** Pertenece a los polifenoles y está conformado por flavonoles, isoflavonas, flavonas, flavanonas y antocianidinas[1].

**Betalaínas:** Pigmentos nitrogenados naturales solubles en agua, estables en un rango de pH de 4 a 7 que presentan en su estructura el cromóforo ácido betalámico y son excelentes antioxidantes. Está conformado por betacianinas y betaxantinas[15].

**Fruto no climatérico:** Se refiere a que durante el proceso de maduración del fruto la actividad respiratoria no se ve incrementada y hay baja producción de etileno[22].

**Mucílagos:** Fibra dietética de tipo soluble considerado como un hidrocoloide con una alta capacidad de absorción de agua[22].

**Envejecimiento del pan:** Proceso asociado con la "retrogradación" generado por la reorganización del almidón, en particular, la amilopectina y el enfriamiento del pan provocando el endurecimiento de la miga[7,26].

**Método de panificación directo:** Llamado también método simple o proceso de masa simple que implica la mezcla de ingredientes, amasado y reposo de la masa por un tiempo. Luego, la masa lista se divide, forma bollos y colocan en moldes para hornear. Finalmente, se deja fermentar para hornear[26].

**Método de panificación Chorleywood:** Es un método rápido y de alto rendimiento ejecutado en un equipo programado para realizar una mezcla rápida que no requiere tanto tiempo, una fermentación previa a la final producida durante un corto tiempo y un horneado realizado en las mismas condiciones. La duración de todo el proceso es de dos horas[26].

## III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### III.1. Hipótesis

Los panes desarrollados con harina de cáscara de tuna morada tienen alta aceptabilidad general, alto contenido de fibra dietética y capacidad antioxidante.

### III.2. Variables

**Variables dependientes:**

Aceptabilidad general, contenido de fibra dietética y capacidad antioxidante.

**Variable independiente:**

% de harina de cáscara de tuna morada en el pan.

## III.3. Operacionalización de variables

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADOR | UNIDAD DE MEDIDA | OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % de harina de cáscara de tuna morada. | Independiente- Cuantitativo | La cáscara de tuna morada rica en fibra y antioxidantes[4] se añadirá en forma de harina en diferentes porcentajes para sustituir parcialmente la harina de trigo en los panes | Formulaciones de panes donde se variará el porcentaje de harina de cáscara de tuna morada en 0, 5, 10, 15 y 20%. | Porcentaje de harina de cáscara de tuna. | % de harina de cáscara de tuna morada. | % | Parafati L et al (2020) y Carhuamaca A (2013) |
| Aceptabilidad general. | Dependiente - Cuantitativo | La aceptabilidad se asigna a los atributos calificados en la evaluación sensorial[12]. | Se determinará mediante una escala de hedónica de 9 puntos. | Atributos sensoriales | Apariencia, color, sabor, olor, textura y aceptabilidad global. | Puntaje de la escala hedónica. | Bouazizi S, Montevecchi G, Antonelli A, Hamdi M (2020) |
| Contenido de fibra dietética. | | La fibra contribuye a tener una buena digestión y mejorar el control de glucemia[7]. | El % de fibra dietética total se determinará mediante una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos. | Fibra dietética total. | % de fibra dietética total. | % | AOAC (2020) |
| Capacidad antioxidante. | | La capacidad antioxidante se define como la inhibición de la degradación oxidativa debido a la capacidad que tiene una sustancia para evitar la formación descontrolada de especies químicas como los radicales libres[2]. | La capacidad antioxidante se determinará mediante el método ABTS | Capacidad antioxidante total. | µmol Equivalente-Trolox/g | µmol ET/g | Magalhães et al (2010) y Díaz et al. (2021) |

# IV. MATERIALES Y MÉTODOS

## IV.1. Área de estudio

Área de investigación de alimentos y perteneciente a la línea de investigación en seguridad alimentaria y alimentos funcionales.

## IV.2. Diseño de investigación

### Tipo de investigación

**Exploratorio:** Porque se indaga desde una perspectiva innovadora, ya que no hay estudios de aprovechamiento de la cáscara de tuna de color morado en el desarrollo de panes y tampoco la evaluación del contenido de fibra dietética total, capacidad antioxidante mediante el método de ABTS y evaluación fisicoquímica, sensorial y microbiológica durante 4 días de almacenamiento de este producto.

**Aplicada:** Porque contribuye a solucionar los problemas del desaprovechamiento de los residuos agroindustriales mediante los conocimientos generados en la investigación.

### Diseño de investigación

**Experimental:** Se manipula el % de harina de cáscara de tuna morada (variable independiente) para ver cómo influye en la aceptabilidad general de los panes.

## IV.3. Población de estudio y muestra

**Muestra:** Pan con harina de cáscara de tuna morada.

## IV.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

### IV.4.1. Obtención y evaluación de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada.

#### 4.4.1.1. Recolección y transporte de la tuna morada

El fruto de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*), un fruto no climatérico, se recolectó del distrito de Santiago de Tuna, provincia de Huarochirí- Lima, durante los meses de noviembre y diciembre del 2021, considerando los estados de madurez entre pintón y maduro. Se transportaron en cajas de cartón hacia los laboratorios de Bromatología y Biotecnología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica-UNMSM.

#### 4.4.1.2. Caracterización de la tuna morada

Para la realización de las evaluaciones, los frutos fueron lavados, desinfectados, desespinados, enjuagados a chorro de agua y secados con papel absorbente para luego ser utilizados en los análisis. En las evaluaciones se tomó frutos de madurez apropiada teniendo en cuenta que su cáscara tenga firmeza y un color morado homogéneo[17].

**a. Evaluación de rendimiento de la cáscara**

Para el cálculo de rendimiento de la cáscara se tomó 20 frutos, se separó las cáscaras de la pulpas, se pesó con una balanza digital las cáscaras y las pulpas-semillas[7,8].

**b. Evaluación organoléptica**

La evaluación organoléptica de la pulpa y la cáscara del fruto se realizó por dos jueces entrenados mediante los órganos de los sentidos considerando el aspecto, color, olor y sabor[17].

**c. Evaluación fisicoquímica**

Las evaluaciones se realizaron en muestra fresca. El contenido de humedad se determinó únicamente en la cáscara; mientras que las demás evaluaciones fisicoquímicas como el pH, acidez titulable y sólidos solubles se realizaron tanto en la pulpa como en la cáscara. Se realizaron por triplicado.

**c.1. Humedad.** Se determinó mediante el método gravimétrico (AOAC, 2019)[32]. Se pesó entre 22 a 24 g de cáscaras en placas Petri y se calentó a 105°C en una estufa hasta peso constante. Se enfrió en un desecador y se pesó en una balanza analítica. La humedad se calculó con la fórmula 1 y se expresó en g/100 g peso fresco (pf).

$$\textbf{\% humedad} = \frac{\text{Placa con muestra fresca (g)-Placa con muestra seca (g)x 100}}{\text{Muestra fresca (g)}} \quad \ldots (1)$$

**c.2. pH.** Se determinó mediante el método potenciométrico (Egan H, 1991)[33].

Se tomó 2 g de muestra, tanto de la pulpa como de la cáscara y se trituró cada una con un pilón en un mortero. Cada muestra se colocó en un vaso de precipitado de

50 mL, se agregó 20 mL de agua destilada, se mezcló con una bagueta y se midió el pH con un potenciómetro manual previamente calibrado con soluciones Buffer de pH 7,0; 4,0 y 10,0.

**c.3. Acidez titulable.** Se determinó mediante titulación potenciométrica (AOAC, 2019)[32]. Se tomó 5 g de muestra, tanto de la pulpa como de la cáscara y se trituró cada una con un pilón en un mortero. Cada muestra se colocó en un vaso de precipitado de 250 mL, se agregó 120 mL de agua destilada, se mezcló con una bagueta y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N. La titulación se realizó agitando la muestra hasta llegar a un pH de 8,2. El porcentaje de acidez se calculó con la fórmula 2 y se expresó como g de ácido cítrico/ 100 g de peso fresco (pf).

$$\textbf{\% acidez } \left(\frac{\textbf{g de ácido cítrico}}{\textbf{100 mL}}\right) = \frac{V^* N^* f^* 100}{m} \ldots (2)$$

Donde: **N:** Normalidad de la solución de NaOH 0,1 N; **V:** Volumen de gasto de la solución de NaOH 0,1N; **f:** factor de conversión de equivalencia ácido cítrico anhidro (0,064); **m:** peso de la muestra (g).

**c.4. Sólidos solubles totales.** Se evaluó mediante el método refractométrico (AOAC, 2019)[32]. Tanto la pulpa como la cáscara se trituraron con un pilón en un mortero. Luego, el jugo obtenido de cada muestra se filtró con papel filtro y se medió por separado colocando una gota en el refractómetro analógico portátil. Los resultados se expresaron como grados brix.

**d. Evaluación del índice de madurez**

Se determinó en la pulpa mediante la división de los sólidos solubles totales y acidez titulable[7]. Se calculó con la fórmula 3.

$$\textbf{Índice de madurez} = \frac{\text{Sólidos solubles totales (°Brix)}}{\text{Acidez titulable (\%)}} \ldots (3)$$

#### 4.4.1.3. Obtención de la harina de la cáscara de tuna morada

**a. Selección y acondicionamiento del fruto**

Se seleccionaron los frutos de madurez óptima (sin daños físicos, con cáscara de textura firme y color morado homogéneo). Se desespinaron usando una escobilla, luego se lavaron, desinfectaron (con hipoclorito de sodio 1 mL/L por 10 min). Finalmente, se enjuagaron con agua y se secaron[17].

**b. Obtención y secado de la cáscara**

Para la obtención de la cáscara se realizaron tres cortes a los frutos de tuna morada con un cuchillo de acero inoxidable, dos cortes transversales en los extremos y un corte superficial longitudinal en la parte central; las fracciones de los cortes extremos se eliminaron y desde el corte central se abrió manualmente para separar la cáscara de la pulpa[17]. Luego, las cáscaras se cortaron en trozos de 2 $cm^2$ y se secaron a 60 °C durante 42 a 46 h en una estufa hasta obtener una humedad de entre 9 y 11%[18].

**c. Molienda de la cáscara**

La molienda de la cáscara seca de tuna morada se realizó en una licuadora con cuchillas de acero inoxidable de potencia de 800 W (marca BOSH), el producto de la molienda se pasó por un tamiz de malla Nº 20 para homogenizar el tamaño de las partículas hasta que no exista la fracción retenida. Finalmente, la harina se almacenó a temperatura ambiente en dos bolsas herméticas de aluminio y de polipropileno con cierre ziploc para los posteriores ensayos[19].

#### 4.4.1.4. Análisis de la harina de cáscara de tuna morada

**a. Rendimiento de la harina**

Para calcular el rendimiento de la cáscara fresca y seca, asimismo, de la HCTM, se consideró el peso de la tuna morada entera. Se realizó la obtención de las cáscaras frescas y se pesó, asimismo las cáscaras secas en trozos se pesaron. Finalmente, la harina de cáscara de tuna morada se pesó. Los rendimientos se calcularon con las fórmulas 4, 5 y 6 en relación los pesos frescos de la tuna entera y la cáscara (pf)[13,21].

$$\textbf{Cáscaras frescas (\%)} = \frac{\text{Cáscaras frescas (g de pf)x 100}}{\text{Tunas enteras (g de pf)}} \quad \ldots (4)$$

$$\textbf{Cáscaras secas (\%)} = \frac{\text{Cáscaras secas (g de pf)x 100}}{\text{Cáscaras frescas (g de pf)}} \quad \text{…. (5)}$$

$$\textbf{HCTM (\%)} = \frac{\text{HCTM (g de pf)x 100}}{\text{Cáscaras frescas (g de pf)}} \quad \text{……. (6)}$$

**b. Evaluación de granulometría**

Se pesó alrededor de 200 g de HCTM y se colocó en el tamiz de mayor diámetro (malla Nº 40). Luego se ensambló en un agitador la columna de tamices superpuestos previamente tarados de mallas N° 40 (con la muestra), 70, 80 y 120, con tamaños de aberturas de 424, 212, 180 y 125 µm y factores 4, 3, 2 y 1; respectivamente. La cantidad retenida por cada tamiz se expresó en g y en porcentaje. El porcentaje retenido acumulado se calculó con la fórmula 7, el subtotal, con la fórmula 8 y el módulo de finura, con la fórmula 9[7].

$$\textbf{\% retenido acumulado} = \frac{\text{Cantidad retenida por cada tamiz (g)x 100}}{\text{Total de HCTM inicial (g)}} \quad \text{….. (7)}$$

**Subtotal** = % retenido acumulado de cada tamiz * factor de cada tamiz.. (8)

$$\textbf{Módulo de finura (MF)} = \frac{\sum \text{subtotal de los tamices}}{100} \quad \text{…..……. (9)}$$

**c. Evaluación fisicoquímica**

Las evaluaciones se realizaron en la HCTM (muestra fresca). Se determinaron por triplicado.

**c.1. Humedad.** Se pesó 2 g de muestra en placa Petri y se calentó a 105°C en una estufa hasta peso constante. Para la verificación del peso se enfrió en un desecador y se pesó en una balanza analítica. La humedad se calculó con la fórmula 1 y se expresó en g/100 g peso de harina.

**c.2. pH.** Se pesó 5 g de muestra en un vaso de precipitado y se agregó agua destilada hasta 10 mL, se mezcló con una bagueta y se midió el pH con un

potenciómetro manual previamente calibrado con soluciones Buffer de pH 7,0 y 4,0[32].

**c.3. Acidez titulable.** Se pesó 1 g de muestra en un matraz Erlenmeyer, se agregó 150 mL agua destilada, se agitó manualmente y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N. La titulación se realizó agitando la muestra hasta llegar a un pH de 8,2. El porcentaje de acidez se calculó con la fórmula 2 y se expresó como g de ácido cítrico/ 100 g[32].

**c.4. Sólidos solubles totales.** Se pesó 10 g de muestra en tubos cónicos para centrifuga Falcon de 15 mL y se agregó agua destilada hasta 10 mL. Se agitó a 35°C por tres minutos con un agitador magnético. Transcurrido ese tiempo, se filtró con papel filtro y se midió colocando una gota en el refractómetro analógico portátil. Los resultados se expresaron como grados brix[32].

## IV. 4.2. Formulación de los panes con harina de cáscara de tuna morada *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada

### 4.4.2.1. Diseño de formulaciones de pan con harina de cáscara de tuna morada

Las formulaciones del pan se realizaron sustituyendo en diferentes cantidades la harina de trigo (HT) por la harina de cáscara de tuna morada (HCTM)[7,21].

En total se realizó cinco formulaciones considerando 100% de harina:

**F0:** control (100g HT)

**F1:** 95 g HT + 5 g de HCTM

**F2:** 90 g HT + 10 g de HCTM

**F3:** 85 g HT + 15 g de HCTM

**F4:** 80 g HT + 20 g de HCTM

En las cinco formulaciones los demás ingredientes se mantuvieron iguales. A cada una de las fórmulas se realizó la evaluación sensorial por un panel semientrenado. La mejor fórmula fue seleccionada considerando el mayor puntaje de la aceptabilidad general.

### 4.4.2.2. Elaboración del pan

El método utilizado para la elaboración de las cinco formulaciones de panes fue el método de panificación directo[7]. El pesado de los ingredientes se realizó de

acuerdo a la Tabla 3; primero se mezcló los ingredientes secos y grasos (harina de trigo panadera, HCTM, sal, levadura seca, mejorador, azúcar y manteca vegetal) por 10 minutos en un tazón de acero inoxidable, luego se agregó el agua hasta formar una masa elástica, se amasó manualmente por 15 minutos hasta tener la masa en punto liga; se dejó la masa en reposo por 15 minutos protegido de la luz, a continuación se realizó el cortado y boleado que consistió en dividir la masa en pesos similares de 30 g, se dio una forma circular manualmente y se colocó en las bandejas de horneado de acero inoxidable. Se sometió a la fermentación (levado) protegido de la luz por 2h[21]. El horneado se realizó a 220°C por 22-25 minutos[7]; el enfriado de los panes se realizó a temperatura ambiente (20-22°C) por 30 minutos y luego se pesó para verificar la variación de peso. Finalmente, se envasó en bolsas de polipropileno, se selló utilizando una selladora manual y se almacenó a temperatura ambiente.

**Tabla 3.** Fórmulas de panes con cuatro porcentajes de HCTM (basado en pruebas preliminares)

| Ingredientes | Fórmulas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | F0 (control) | F1 | F2 | F3 | F4 |
| Harina de trigo | 100 g | 95 g | 90 g | 85 g | 80 g |
| HCTM | 0 g | 5 g | 10 g | 15 g | 20 g |
| Azúcar | 9 g | 9 g | 9 g | 9 g | 9 g |
| Sal | 1,5 g | 1,5 g | 1,5 g | 1,5 g | 1,5 g |
| Manteca vegetal | 6 g | 6 g | 6 g | 6 g | 6 g |
| Mejorador | 1 g | 1 g | 1 g | 1 g | 1 g |
| Levadura seca | 2 g | 2 g | 2 g | 2 g | 2 g |
| Agua | 56,6-66,6 g | 56,6-66,6 g | 56,6-66,6 g | 56,6-66,6 g | 56,6-66,6 g |

**Fuente:** Elaboración propia.

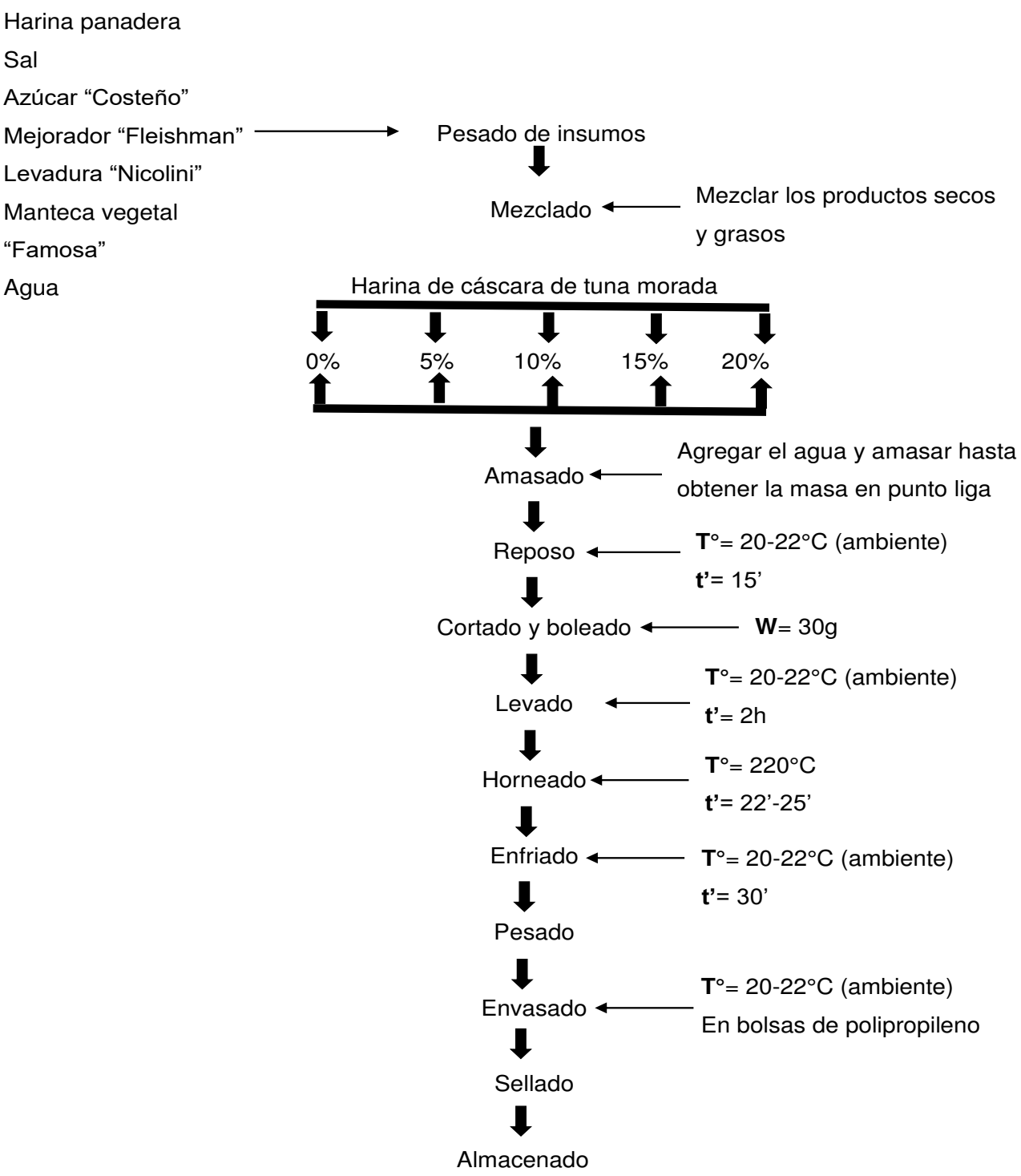



**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de panes tipo bollito

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4.2.3. Evaluaciones durante la formulación de los panes

**a. Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial se realizó mediante el método de la escala hedónica de 9 puntos que va de del 1 (me disgusta muchísimo) al 9 (me gusta muchísimo). El panel de evaluación sensorial estuvo conformado por 30 panelistas semientrenados de ambos sexos con edades entre 20 y 50 años. Los panelistas fueron debidamente seleccionados e instruidos, de un total de 40 a 45 personas fueron seleccionados mediante un cuestionario en donde se consideraron los criterios de consumo de productos de panificación, de no fumar, no tomar alcohol, y no consumir comidas muy condimentadas, asimismo, se les entregó una hoja informativa sobre los productos y un consentimiento informado. La prueba fue realizada en un ambiente debidamente acondicionado para garantizar que las condiciones no puedan influir en los resultados, asimismo, se les instruyó previamente a los panelistas a no usar perfumes con olores fuertes, no estar con estómago lleno o con mucha hambre, enjuagarse la boca con abundante agua antes y después de evaluar cada muestra[34,35,36]. El día de la prueba los panelistas recibieron las muestras (codificadas con un número de tres cifras) una por una con su respectiva hoja de calificación, la cantidad de cada muestra fue alrededor de 30 g; asimismo, se les entregó un vaso con agua. Los panelistas evaluaron de manera individual la apariencia, color, olor, sabor, textura y aceptabilidad global de los panes elaborados con las diferentes fórmulas; las calificaciones fueron registradas en las hojas de calificación[13]. Los resultados de las calificaciones del panel fueron procesados estadísticamente y se seleccionó la fórmula con mayor aceptabilidad general para los ensayos posteriores.

**b. Evaluación fisicoquímica**

El peso de los panes de las cinco formulaciones fue determinado por cuadruplicado. Por otro lado, las evaluaciones de humedad, pH, acidez titulable y sólidos solubles totales fueron determinadas por triplicado en los panes molidos con una licuadora de cuchillas de acero inoxidable para reducir el tamaño de partícula y facilitar las evaluaciones.

**b.1. Peso.** Se determinó el peso de cada pan utilizando una balanza digital[21].

**b.2. Humedad.** Se pesó 5 g de muestra molida en una placa Petri y se procedió según el apartado 4.4.1.4.c.1. (AOAC,2019)[32].

**b.3. pH.** Se pesó 2 g en un vaso de precipitado y se agregó 10 mL de agua destilada. Se agitó a 35°C por tres minutos con un agitador magnético. Transcurrido ese tiempo se enfrió a 25ºC y se midió el pH con un potenciómetro manual previamente calibrado con soluciones Buffer de pH 7,0 y 4,0 (AOAC,2019)[32].

**b.4. Acidez titulable.** Se pesó 3 g de muestra molida en un matraz Erlenmeyer, se agregó 150 mL de agua destilada. Se agitó a 35°C por tres minutos con un agitador magnético. Transcurrido ese tiempo se enfrió a 25ºC y se realizó la titulación como en el apartado 4.4.1.4.c.3. (AOAC,2019)[32].

**b.5. Sólidos solubles totales.** Se pesó 10 g de muestra molida y se agregó agua destilada hasta 50 mL. Se agitó a 35°C por tres minutos con un agitador magnético. Transcurrido ese tiempo se enfrió a 25ºC, se filtró y se midió los grados brix (AOAC,2019)[32].

### IV. 4.3. Evaluación del pan desarrollado con mayor aceptabilidad general

#### 4.4.3.1. Evaluación organoléptica, fisicoquímica y microbiológica

En el pan con mayor aceptabilidad se realizó la evaluación organoléptica como lo descrito en el apartado 4.4.1.2.b[17]; la evaluación fisicoquímica como lo descrito en el apartado 4.4.2.3 b.2, b.3, b.4 y b.5[32] y la evaluación microbiológica como lo descrito en el apartado 4.4.4.3[37,38].

#### 4.4.3.2. Evaluación proximal

Se realizaron las siguientes evaluaciones en el pan molido (muestra fresca). Las evaluaciones de humedad y cenizas se realizaron por triplicado; mientras que, las evaluaciones de proteínas y grasas, por duplicado.

a. **Humedad.** Se realizó según el procedimiento del apartado 4.4.2.3.b.2.[32].
   El cálculo de la humedad se realizó con la fórmula 1.
b. **Cenizas.** Se pesó alrededor de 4 g de muestra en cada crisol previamente tarado. Luego, se carbonizaron en una placa de calentamiento e incineraron a 550°C por 5 h en una mufla hasta la obtención de cenizas blancas azuladas (AOAC, 2019)[32].
   El cálculo del porcentaje de cenizas se calculó con la fórmula 10:

$$\textbf{\%cenizas} = \frac{\text{crisol con muestra calcinada (g) - crisol sin muestra(g)x 100}}{\text{muestra fresca (g)}} \text{ …. (10)}$$

**c. Proteínas**

En el balón de Kjeldahl se agregó alrededor de 1 g de muestra, 1 g de sulfato de cobre, 5 g de sulfato de sodio y 20 mL de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) concentrado al 98%. Para la digestión, el matraz se colocó en un digestor Kjeldahl, se calentó gradualmente hasta la aparición de humos blancos y finalizó cuando la muestra se tornó transparente con un ligero color azul. La muestra digerida se trasvasó a un balón de destilación, se neutralizó con NaOH al 40%, se verificó la hermeticidad del equipo de destilación y realizó el calentamiento recepcionando el destilado en un matraz con 50 mL de $H_2SO_4$ y el indicador Tashiro. Por último, se realizó la titulación del $H_2SO_4$ residual con NaOH 0,1N, siendo el punto final cuando la solución de color rosa se tornó verde- turquesa. Se calculó el % de nitrógeno con la fórmula 11 y el % de proteína con la fórmula 12 (AOAC, 2019)[32].

$$\textbf{\% Nitrógeno} = \frac{[(\text{mL de ácido x N del ácido})-(\text{mL blanco x N del álcali})]-(\text{mL álcali x N del álcali}) \text{ x } 1{,}4007}{\text{peso de la muestra en g}}$$

… (11)

**% de proteínas =** % de nitrógeno x 6,25… (12)

**d. Grasas**

Se agregó en un cartucho de papel filtro alrededor de 4 g de muestra y luego se colocó en el extractor. Ya armado el equipo Soxhlet, se colocó éter dietílico por el refrigerante y se calentó el matraz Soxhlet en una plancha de calentamiento durante 4-5 h para extraer toda la grasa. Se puso el matraz en la estufa a 50°C durante toda la noche, se enfrió en el desecador y pesó en una balanza digital. El cálculo del porcentaje de grasas se calculó con la fórmula 13 (AOAC, 2019)[32].

$$\textbf{\% grasas} = \frac{\text{matraz con grasa (g)- matraz sin muestra (g) x 100}}{\text{muestra (g)}} \text{ … (13)}$$

e. **Carbohidratos totales.** El porcentaje de carbohidratos se calculó con la fórmula 14 (AOAC, 2019)[32].

**% carbohidratos totales** = 100 - (% de humedad + % de cenizas + % de proteínas + % grasas) … (14)

f. **Energía.** La energía se calculó con fórmula 15 y se expresó como kJ/100 g[13].

**Energía (kJ/100g)** = (4 x g/100 g proteína + 3,75 x g/100 g carbohidratos + 9 x g/100g grasas) x 4,1868… (15)

#### 4.4.3.3. Contenido de fibra dietética

El contenido de fibra dietética del pan se determinó mediante el método enzimático-gravimétrico utilizando un kit de ensayo (Supelco). Se pesó una cantidad de muestra (mi) desengrasada. Para el cálculo de la muestra real se sumó a la muestra inicial (mi), la grasa perdida (Gp) y humedad perdida (Hp) (fórmula 16). El cálculo del porcentaje de cada tipo de fibra dietética se realizó con la fórmula 17[39]. Se realizó por duplicado.

**m**= mi (g) + Gp + Hp… (16)

**% fibra dietética** = [(R - B) / m] x 100… (17)

Donde: **R**: gramos de los residuos; **B:** gramos del blanco; **m:** muestra de pan

a. **Digestión enzimática**

El procedimiento se realizó por duplicado tanto para la muestra como para el blanco. En un vaso de precipitado se pesó 1g de muestra y se añadió 40 mL de solución tampón MES/TRIS y en otro vaso de precipitado para el blanco, solo se añadió la solución tampón. Luego, el contenido de ambos vasos se ajustó con hidróxido sódico al 5% a un pH de 8,3; se agregó 50 µL de α-amilasa y se incubó a 98°C x 30 min y luego se agregó 50 µL de proteasa y se sometió a 60°C x 30 min. Posterior a ello, se agregó 5 mL de ácido clorhídrico HCl (0,56 mol/L) y se ajustó con NaOH al 5% a un pH 4,0- 4,7 a 60°C. Finalmente, se agregó 150 µL amiloglucosidasa y se sometió a 60°C x 30 min. Las incubaciones se realizaron en baño de agua manteniendo los vasos tapados y agitando manualmente cada 15 min[39].

**b. Contenido de fibra dietética insoluble (FDI)**

Los líquidos obtenidos en la degradación enzimática se filtraron con embudos Buchner de vidrio sinterizado y los residuos fueron arrastrados con 10 mL de agua a 70°C, 15 mL de etanol al 78%, 15 mL de etanol al 95% y 15 mL de acetona, obteniendo de esta manera el "agua de lavado". Los embudos se dejaron secar durante la noche a 105°C en una estufa y posterior a ello se pesaron en una balanza digital. El cálculo del porcentaje de FDI se realizó con la fórmula 17[39].

**c. Contenido de fibra dietética soluble (FDS)**

Se midió el volumen del líquido de filtrado de la determinación de fibra dietética insoluble, se transfirió a vasos de precipitados de 600mL previamente tarados. A cada vaso se agregó etanol a 60°C al 95% en volumen 4 veces mayor del volumen de los filtrados y se dejó en reposo por una 1h a temperatura ambiente (20-22°C) hasta la formación de precipitado. Luego, se filtró bajo ligero vacío con embudos Buchner de porcelana utilizando papel filtro previamente tarado. Los residuos de cada vaso se arrastraron con 15 mL de etanol al 78%, 10 mL de etanol al 95% y 10 mL de acetona. Finalmente, cada papel filtro se dejó secar durante 12 h a 105°C, se enfriaron y pesaron en una balanza analítica. El cálculo del porcentaje de FDS se realizó con la fórmula 17[39].

**d. Contenido de fibra dietética total (FDT)**

El contenido de fibra dietética total del pan se determinó mediante la suma de los porcentajes de la fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS).

**FDT**= FDI + FDS

#### 4.4.3.4. Evaluación de polifenoles totales y capacidad antioxidante

**a. Preparación del extracto**

Se aplicó una técnica de extracción verde considerando condiciones experimentales en la cual haya mayor eficiencia[4]. Se pesó en un vaso de precipitado de 100 mL alrededor de 5 g del pan fresco homogenizado y se añadió una mezcla de etanol (96%): agua (1:1, v: v) en proporción 5 veces al peso de la muestra, luego se colocó la suspensión en un agitador magnético a 75°C por 1h. Transcurrido ese tiempo, se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min y el sobrenadante obtenido se transfirió a crioviales de 2 mL y se almacenaron en congelación hasta su evaluación[40].

**b. Determinación del contenido de polifenoles totales**

Se utilizó el método colorimétrico de Folin- Ciocalteu. Una cantidad de 50 µL de extracto diluido, blanco de agua destilada o solución estándar fueron mezclados con 50 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu, previamente diluido con agua destilada (1:5), en una placa de 96 pocillos (Falcon®, EE. UU.). Después de 2 minutos se añadió 100 µL de hidróxido de sodio (0,3 M), se incubó a temperatura ambiente por 5 minutos y se midió la absorbancia a 760 nm en un lector de microplacas BioTek® (BioTek Instruments, Estados Unidos). Los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de peso fresco, y la curva estándar se obtuvo con ocho concentraciones de ácido gálico (rango de 0,1,2,4,8,16,24 y 32 mg/L)[41,42]. Se determinó por triplicado.

**c. Determinación de la capacidad antioxidante por el método ABTS (ácido 2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico))**

Para la preparación del radical ABTS, se mezclaron soluciones acuosas de ABTS (7mM) y persulfato de potasio (2,45 mM, concentración final) y se dejó en reposo por 16 horas en la oscuridad a temperatura ambiente. Luego, se diluyó la solución de $ABTS^{+}$ con tampón fosfato (5 mM) hasta alcanzar una absorbancia a 734 nm de 0,7 ± 0,05. Para la reacción, se adicionó 10 µL del extracto (previamente diluido en tampón fosfato), control o estándar en una placa de 96 pocillos (Falcon®, EE. UU.) y se añadió 100 uL del radical ABTS y se leyó a 734 nm con un lector de microplacas BioTek® (BioTek Instruments, Estados Unidos). Finalmente, se calculó el porcentaje de inhibición del radical con la fórmula 18, considerando la absorbancia de los controles (Ac) y la absorbancia de la muestra (Am). Los resultados se expresaron en micromol de equivalente trolox por gramo de peso fresco, y la curva estándar se obtuvo con ocho concentraciones de trolox (rango de 0-500 uM)[43]. Se determinó por triplicado.

$$\%\text{Inhibición } ABTS^{+} = [(Ac - Am) / Ac] \times 100 \ldots (18)$$

### IV.4.4. Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento

Los panes se almacenaron a temperatura ambiente (20-22°C) durante 4 días en bolsas de polipropileno selladas con una selladora manual. Durante este tiempo se

realizó el seguimiento de las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas cada 24 h, y la evaluación sensorial se realizó el primer y último día[44].

#### 4.4.4.1. Evaluación organoléptica

Se realizó la evaluación del pan con mayor aceptabilidad por dos jueces entrenados como lo descrito en el apartado 4.4.1.2 b[17].

#### 4.4.4.2. Evaluación fisicoquímica

La humedad, pH, acidez titulable y sólidos solubles se determinó en el pan con mayor aceptabilidad general. Se realizó por triplicado mediante los métodos descritos en el apartado 4.4.2.3 b.2, b.3, b.4 y b.5[32].

#### 4.4.4.3. Evaluación microbiológica

La evaluación microbiológica se realizó cada 24 h utilizando los métodos recomendados[38,44].

**a) Preparación de la muestra**

El pan se trituró dentro de una bolsa estéril, se pesó 10 g de muestra en un frasco de 200 mL conteniendo 90 mL de caldo lactosado y se agitó manualmente y se realizó diluciones decimales seriadas hasta $10^{-3}$. Posteriormente, todas las evaluaciones se realizaron mediante el recuento en placa[45]. Se realizó los siguientes recuentos de bacterias:

**b) Recuento de aerobios mesófilos**

Se tomó individualmente 100 µL de las diluciones $10^{-2}$ y $10^{-3}$ y se colocó en la superficie de agar Plate Count, utilizando un asa de Drigalsky estéril se realizó la extensión de la muestra en toda la superficie del agar. Las placas se incubaron a 37 ºC x 24h. Para el recuento de las colonias se consideró las placas con contenido de 30 a 300 colonias.

**c) Recuento de mohos y levaduras**

Se tomó individualmente 100 µL de las diluciones $10^{-2}$ y $10^{-3}$ y se colocó en la superficie de agar Sabouraud dextrosa, utilizando un asa de Drigalsky estéril se realizó la extensión de la muestra en toda superficie del agar. Las placas se incubaron a temperatura ambiente (20 – 25 ºC) x 5 días. Para el recuento de las colonias se consideró las placas con contenido de 30 a 300 colonias.

#### 4.4.4.4. Evaluación sensorial

Se llevó a cabo como lo descrito en el apartado 4.4.2.3 a.

### IV.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante ANOVA. El efecto significativo de los porcentajes de HCTM en la aceptabilidad general y las variaciones significativas de las características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas durante los 4 días de almacenamiento del pan se determinó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un porcentaje de confianza de 95% utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XIX.

# V. RESULTADOS

## V.1 Obtención y evaluación de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada

### 5.1.1. Caracterización de la tuna morada

**Tabla 4.** Rendimiento de la cáscara del fruto de tuna morada

| Características | $\bar{x}$ ± DE |
|---|---|
| Peso del fruto entero (g) | 97,90 - 213,13 |
| Cáscara (%) | 41,21 ± 1,28 |
| Pulpa-semillas (%) | 54,18 ± 1,76 |

Datos expresados como media ($\bar{x}$) ± Desviación Estándar (DE), n = 20.

La tabla 4 muestra que, el % de cáscara es casi la mitad (41,21 ± 1,28%) del peso del fruto entero.

**Tabla 5.** Características organolépticas de la pulpa y la cáscara del fruto de tuna morada

| Características | Pulpa | Cáscara |
|---|---|---|
| Aspecto | Jugoso | Fibroso |
| Color | Morado | Morado |
| Olor | Característico del fruto | Característico del fruto |
| Sabor | Dulce | Dulce |

Realizado por triplicado (n=3)

La tabla 5 muestra que el aspecto de la pulpa es jugoso; mientras que, la cáscara es fibrosa. Ambas partes del fruto presentaron un color morado, olor característico, sabor medianamente dulce para la cáscara.

**Tabla 6.** Características fisicoquímicas de la pulpa y cáscara del fruto de tuna morada en muestras frescas

| Características | Pulpa | Cáscara |
|---|---|---|
| | x̄ ± DE | x̄ ± DE |
| Humedad (%) | - | 87,15± 0,49 |
| pH | 6,22 ± 0,16 | 5,21 ± 0,47 |
| Acidez titulable (%) * | 0,0875 ± 0,00 | 0,0480 ± 0,01 |
| Sólidos solubles totales (°Brix) | 14,25 ± 0,35 | 10,00 ± 0,00 |

Datos expresados como media (x̄) ± Desviación Estándar (DE), n=3.

*Expresado en gramos de ácido cítrico/100g de peso fresco.

La tabla 6 muestra las características fisicoquímicas de la pulpa y de la cáscara del fruto de madurez óptima. La cáscara evidenció un alto % de humedad de 87,15± 0,49%. El pH de la cáscara es menos (5,21 ± 0,47) que de la pulpa (6,22 ± 0,16), asimismo tiene un valor importante de sólidos solubles totales (10,00 ± 0,00).

**Tabla 7.** Índice de madurez del fruto de tuna morada

| Característica | x̄ ± DE |
|---|---|
| Índice de madurez (°Brix/acidez titulable) | 162,88 ± 1,05 |

Datos expresados como media (x̄) ± Desviación Estándar (DE), n=3.

La tabla 7 muestra el fruto de tuna morada de madurez óptima tiene un índice de madurez de 162,88 ± 1,05.

### 5.1.2. Obtención de la harina de cáscara de tuna morada



**Figura 2.** Procesamiento de la tuna morada para la obtención de harina

Se obtuvo la harina de cáscara de tuna morada (HCTM) a partir de tunas seleccionadas y acondicionadas. Se realizó tres cortes con un cuchillo para separar manualmente las cáscaras de las pulpas y eliminar sus extremos, seguido a ello, las cáscaras se cortaron en trozos pequeños y secaron en una estufa. Las cáscaras secas se molieron en una licuadora y a continuación se pasaron por un tamiz. La harina obtenida con tamaño de partículas homogéneas se almacenó en dos bolsas herméticas.

### 5.1.3. Análisis de la harina de cáscara de tuna morada (HCTM)

**Tabla 8.** Rendimiento de la HCTM

| Tuna morada | Cáscara fresca (entera) | Cáscara seca (en trozos) | HCTM* |
|---|---|---|---|
| 11440 g | 4560 g | 656,65 g | 566,27 g |
| 100% | 39,83% | 14,41% | 12,43% |

*__HCTM:__ Harina de cáscara de tuna morada

La tabla 8 muestra que, la cáscara fresca constituye el 39,83% del fruto de tuna. El rendimiento de la HCTM constituye el 12,43% con relación a la cáscara fresca.

**Tabla 9.** Granulometría de la HCTM

| N° tamiz | Abertura (µm) | Retenido (g) x̄ ± DE | % retenido x̄ ± DE | % retenido acumulado | Factor | Subtotal (%retenido x factor) | MF* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 425 | 19,84 ± 0,06 | 9,70 ± 0,04 | 9,70 | 4 | 38,80 | 2, 04 |
| 70 | 212 | 92,01 ± 0,57 | 44,99 ± 0,24 | 54,69 | 3 | 134,96 | |
| 80 | 180 | 20,35 ± 2,57 | 9,95 ± 1,26 | 64,63 | 2 | 19,90 | |
| 120 | 125 | 20,44 ± 1,15 | 9,99 ± 0,57 | 74,63 | 1 | 9,99 | |
| Plato | - | 51,9 ± 3,39 | 25,37 ± 1,63 | 100,00 | 0 | 0,00 | |
| Total | | 204,52 ± 0,18 | 100 ± 0,00 | | | 203,65 | |

Datos expresados como media (x̄) ± Desviación Estándar (n=2)

*__MF:__ Módulo de finura.

La tabla 9 muestra que la malla del tamiz N° 70 registró el mayor porcentaje de HCTM retenido. Además, la harina de cáscara de tuna morada presentó el MF de 2,04.

**Tabla 10.** Características fisicoquímicas de la HCTM

| Características | x̄ ± DE |
|---|---|
| Humedad (%) | 12,28 ± 0,17 |
| pH | 5,30 ± 0,03 |
| Acidez (%) * | 1,37 ± 0,04 |
| Sólidos solubles totales (°Brix) | 66,77 ± 1,75 |

Datos expresados como media (x̄) ± Desviación Estándar (DE), n=3.

*Expresado en gramos de ácido cítrico/100g de peso fresco.

La tabla 10 muestra que la HCTM presenta un adecuado % de humedad (12,28 ± 0,17) y un valor importante de sólidos solubles totales de 66,77 ± 1,75. Además, tiene un pH de 5,30 ± 0,03 y una acidez titulable de 1,37 ± 0,04%.

**V.2 Formulación de los panes con diferentes cantidades harina de cáscara de tuna morada *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada**

### 5.2.1. Formulaciones de panes

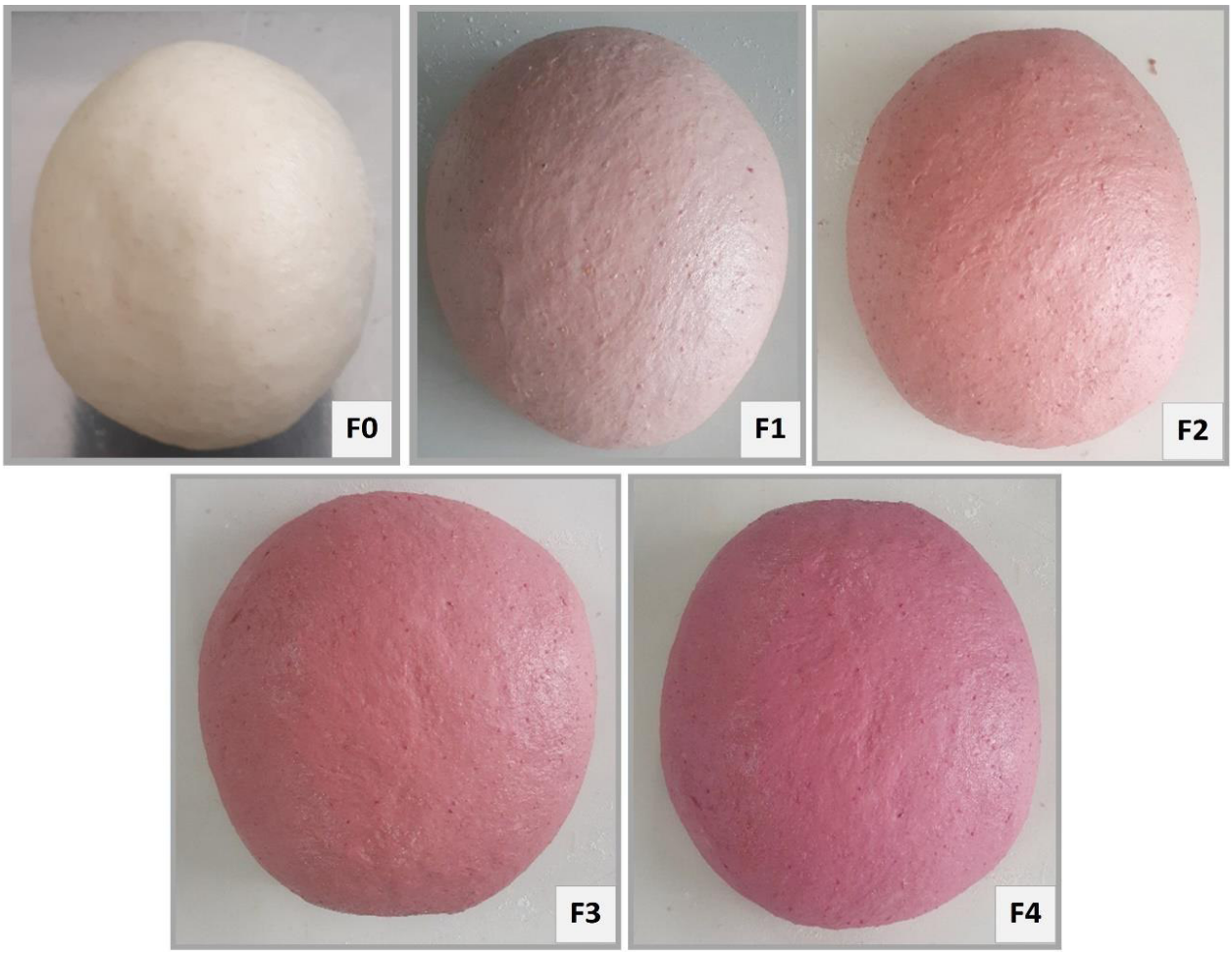



**Figura 3.** Masas de las diferentes formulaciones

En la figura 3 se observa las masas realizadas con HCTM y el control sin HCTM (F0). Las masas con inclusión de la HCTM presentaron un característico color rosado propio de la coloración de la cáscara utilizada, diferenciándose del control o F0 que muestra una masa de color blanco-amarillo, dado solo por la harina de trigo panadera. El color presentado en las masas con HCTM se intensificó a medida que se aumentaba este ingrediente (F1: 5% de HCTM, F2: 10% de HCTM, F3: 15% de HCTM y F4: 20% de HCTM).

### 5.2.2. Elaboración del pan

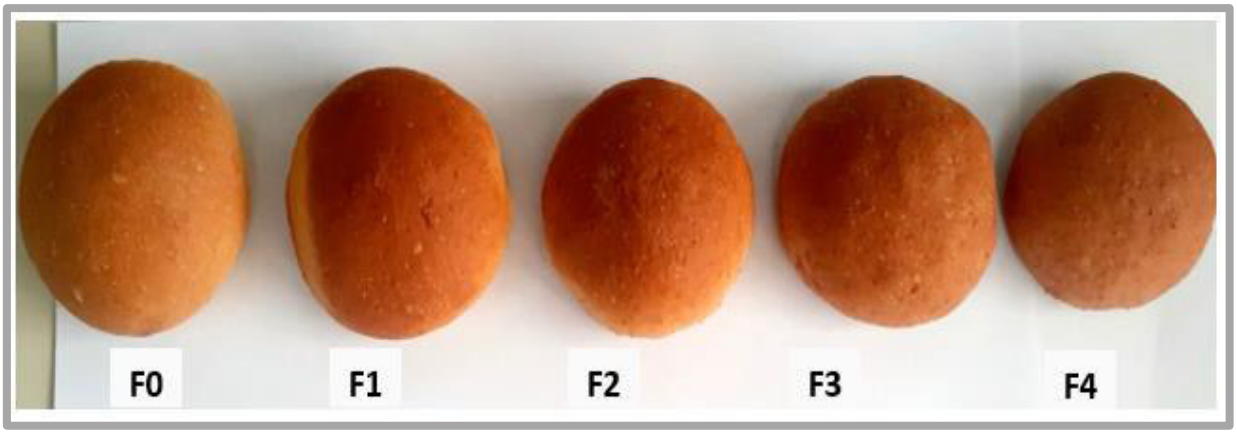



**Figura 4.** Panes elaborados con diferentes cantidades de HCTM (**F0:** 0%; **F1:** 5%; **F2:** 10%; **F3:** 15% y **F4:** 20%)

### 5.2.3. Evaluación durante la formulación de panes con HTCM

#### a. Evaluación sensorial

**Tabla 11.** Características sensoriales de las cinco formulaciones de panes

| Formulación | Apariencia | Color | Olor | Sabor | Textura | Aceptabilidad general |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F0** | 7,13 ± 1,01$^{a}$ | 6,93 ± 1,17$^{a}$ | 6,83 ± 1,05$^{a}$ | 6,97 ± 0,89$^{b}$ | 6.93 ± 1,01$^{b}$ | 7,03 ± 0,89$^{b}$ |
| **F1** | 7,53 ± 0,94$^{a}$ | 7,23 ± 1,19$^{a}$ | 7,13 ± 1,46$^{a}$ | 6,73 ± 1,70$^{b}$ | 6.97 ± 1,67$^{b}$ | 6,77 ± 1,61$^{b}$ |
| **F2** | 7,23 ± 1,19$^{a}$ | 7,33 ± 0,99$^{a}$ | 6,93 ± 1,31$^{a}$ | 6,97 ± 1,25$^{b}$ | 7,13 ± 1,31$^{b}$ | 6,83 ± 1,49$^{b}$ |
| **F3** | 7,43 ± 1,22$^{a}$ | 7,53 ± 1,17$^{a}$ | 7,33 ± 1,03$^{a}$ | 7,87 ± 1,14$^{a}$ | 7,83 ± 1,05$^{a}$ | 7,73 ± 1,05$^{a}$ |
| **F4** | 7,53 ± 0,86$^{a}$ | 7,37 ± 1,10$^{a}$ | 7,33 ± 1,12$^{a}$ | 7,13 ± 0,94$^{b}$ | 7,13 ± 1,17$^{b}$ | 7,33 ± 0,84a$^{b}$ |

Datos expresados como media ($\bar{x}$) ± Desviación Estándar (DE), n=30. En cada columna, los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($p<0,05$)

La tabla 11 muestra que, las formulaciones presentaron diferencias significativas en los atributos de sabor, textura y aceptabilidad general. La formulación F3 tuvo las mayores calificaciones significativas en los atributos de sabor (7,87 ± 1,14), textura (7,83 ± 1,05) y aceptabilidad global (7,73 ± 1,05).

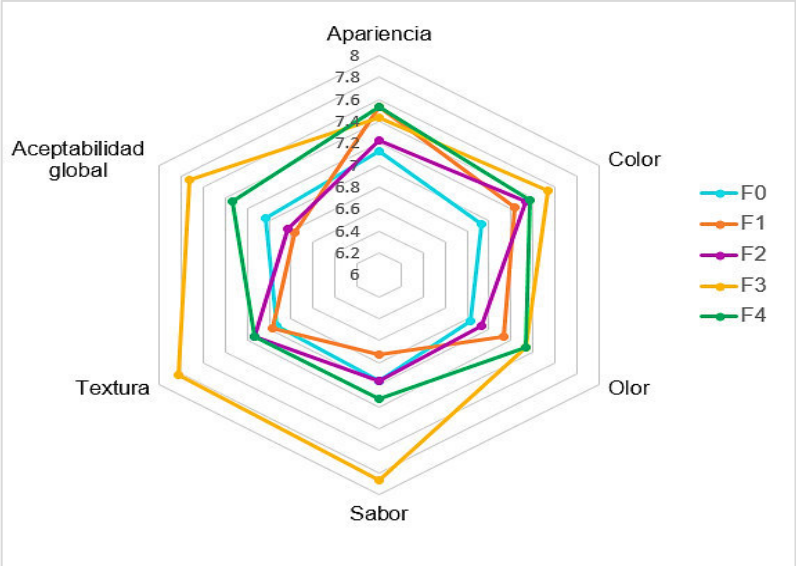



**Figura 5.** Gráfico radial de la evaluación sensorial de los panes realizados con diferentes cantidades de HCTM.

La figura 5 muestra que el pan de la formulación 3 (F3: 15% HCTM) presentó la mayor aceptabilidad general con las mejores calificaciones en los atributos de sabor, textura y aceptabilidad global.

### b. Evaluación fisicoquímica

**Tabla 12.** Características fisicoquímicas de las cinco formulaciones de panes

| Fórmula | Peso (g) | Humedad (%) | pH | Acidez titulable (%)* | Sólidos solubles |
|---|---|---|---|---|---|
| | x̄ ± DE | x̄ ± DE | x̄ ± DE | x̄ ± DE | x̄ ± DE |
| F0 | 25,00 ± 0,14$^{a}$ | 28,20 ± 0,06$^{b}$ | 6,07± 0,01$^{a}$ | 0,17 ± 0,01$^{c}$ | 14,33 ± 0,29$^{c}$ |
| F1 | 24,79 ± 0,21$^{a}$ | 27,55 ± 0,17$^{b}$ | 5,80 ± 0,01$^{d}$ | 0,14 ± 0,01$^{d}$ | 14,52 ± 0,29$^{c}$ |
| F2 | 24,68 ± 0,58$^{a}$ | 28,02 ± 0,08$^{b}$ | 5,92 ± 0,01$^{c}$ | 0,16 ± 0,01$^{c}$ | 17,67 ± 0,29$^{b}$ |
| F3 | 26,98 ± 1,25$^{b}$ | 30,50 ± 1,75$^{a}$ | 5,96 ± 0,01$^{b}$ | 0,20 ± 0,01$^{b}$ | 19,65 ± 0,58$^{a}$ |
| F4 | 25,33 ± 0,43$^{a}$ | 30,05 ± 0,08$^{a}$ | 5,76 ± 0,01$^{e}$ | 0,23 ± 0,01$^{a}$ | 19,99 ± 0,01$^{a}$ |

Datos expresados como media ± Desviación Estándar (n=3). Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher ($p<0,05$)

*Expresado en gramos de ácido cítrico/100g de peso fresco.

En la tabla 12 se evidencia que, a partir de F3 se observa un aumento significativo tanto del % de humedad como de los SST; mientras que, el pH tiende a disminuir significativamente a medida que aumenta el % de HCTM.

### V.3 Evaluación del pan desarrollado con mayor aceptabilidad general

#### a. Evaluación organoléptica, fisicoquímica y microbiológica del pan con mayor aceptabilidad general

**Tabla 13.** Características organoléptica, fisicoquímica y microbiológica del pan con mayor aceptabilidad general

| **Características de F3** | | |
|---|---|---|
| **Organoléptica** | **Aspecto:** | Alveolado uniforme y homogéneo Esponjoso |
| | **Color:** | Ligeramente rosado tanto la corteza como la miga |
| | **Olor:** | Afrutado agradable |
| | **Sabor:** | Dulce |
| **Fisicoquímica** | **Humedad (%):** | 30,11 ± 0,21* |
| | **pH:** | 5,96 ± 0,01* |
| | **Acidez titulable (%):** | 0,2151 ± 0,01* |
| | **Sólidos solubles totales (°Brix):** | 20,00 ± 0,00* |
| **Microbiológica** | **Mohos y levaduras (ufc/g)** | 1 x $10^3$ |
| | **Aerobios mesófilos (ufc/g)** | 1 x $10^3$ |

***** Datos expresados como media ± Desviación Estándar.

La tabla 13 muestra que el pan con mayor aceptabilidad general (con 15% de HCTM) tiene un color ligeramente rosado y un sabor dulce; asimismo, presenta un alto contenido de sólidos solubles totales 20,00 ± 0,00 °Brix y un valor de pH de 5,96 ± 0,01. El recuento de levaduras y hongos fue de 1 x $10^3$.

### b. Evaluación proximal

**Tabla 14.** Composición proximal del pan con mayor aceptabilidad general

| Composición proximal de F3 | Valor x̄ ± DE |
|---|---|
| Energía (kJ/100g) | 1251,34 |
| Humedad (%) | 30,11 ± 0,21 |
| Proteínas (%) | 13,81 ± 0,04 |
| Grasas (%) | 7,65 ± 0,05 |
| Cenizas (%) | 1,84 ± 0,08 |
| Carbohidratos totales (%) | 46,61 |

Datos expresados como media (x̄ ± Desviación Estándar (DE).
Humedad y cenizas (n=3). Proteínas y grasas (n=2).

La tabla 14 muestra que el pan con mayor aceptabilidad general (con 15% de HCTM) tiene un adecuado % de humedad de 30,11 ± 0,21%, cantidad importante de proteínas (13,81 ± 0,04 %) y alto contenido de carbohidratos (46,61%).

### c. Contenido de fibra dietética

**Tabla 15.** Contenido de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS) del pan de mayor aceptabilidad general

| Muestra | FDT | FDI | FDS |
|---|---|---|---|
| | | x̄ ± DE | x̄ ± DE |
| F3 | 18,73±1,85% | 14,42 ±0,93% | 4,30 ± 0,92% |

Datos expresados como media ± Desviación Estándar (n=2)

La tabla 15 muestra que el pan desarrollado con la F3 (con 15% de HCTM) tiene alto contenido de fibra dietética total (18,73%), asimismo, contiene cantidad importante de fibra dietética tanto insoluble (14, 42%) y como soluble (4,30%).

### d. Evaluación de polifenoles y capacidad antioxidante

**Tabla 16.** Contenido de polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante por el método ABTS en el pan con mayor aceptabilidad general

| Muestra | PT (mg EAG/ g pf) * | ABTS (µmol ET/g pf) ** |
|---|---|---|
| | x̄ ± DE | x̄ ± DE |
| F3 | 3,08 ± 0,02 | 36,03 ± 0,48 |

Datos expresados como media ± Desviación Estándar (n=3)

**pf:** peso fresco, ***EAG:** Ácido gálico, ****ET:** Equivalente-Trolox

La tabla 16 evidenció en el pan desarrollado con F3 (con 15% de HCTM) un contenido de polifenoles de 3,08 ± 0,02 mg EAG/g de pf y una capacidad antioxidante de 36,03 ± 0,48 (µmol ET/g pf)

## V.4 Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento

### a. Evaluación organoléptica

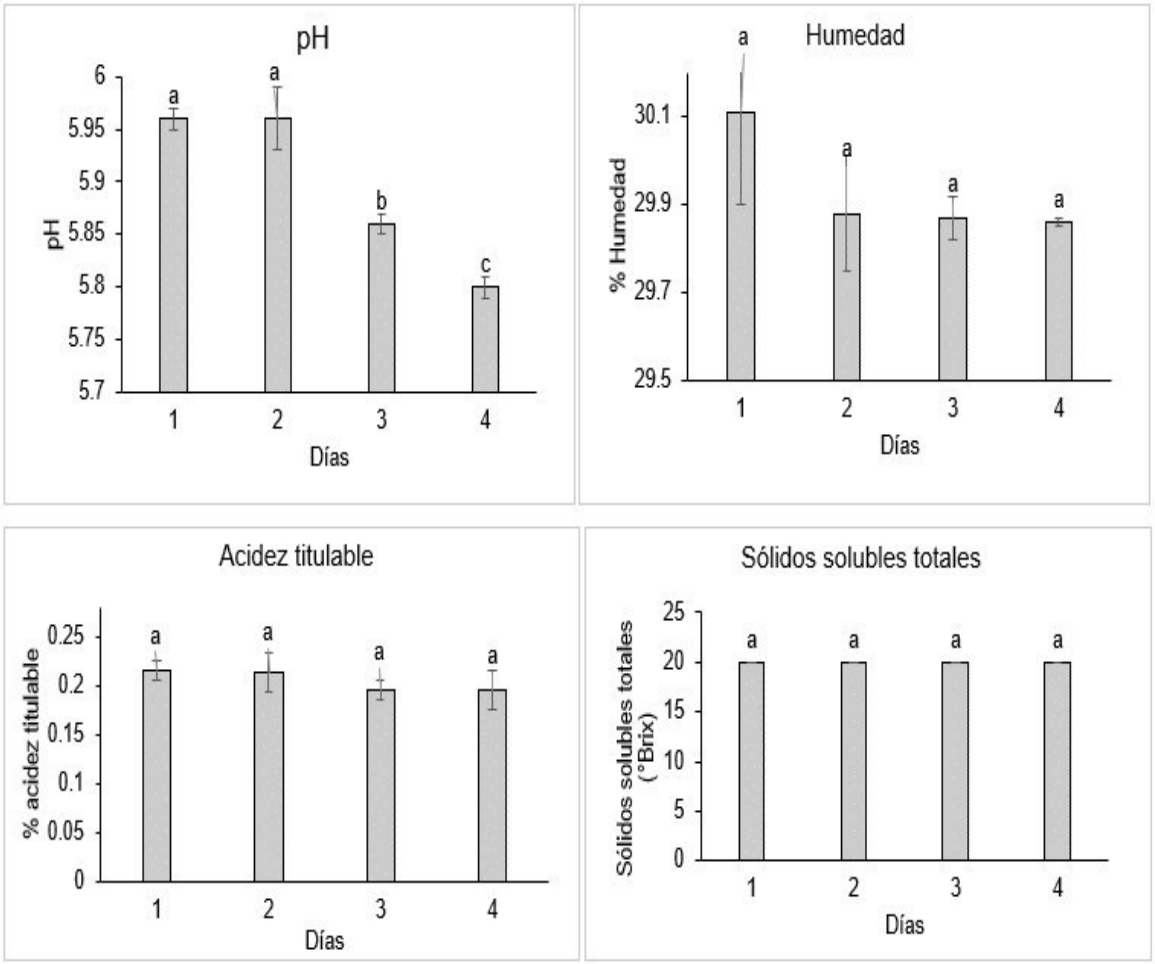
**Tabla 17.** Características generales del pan con mayor aceptabilidad general durante los 4 días de almacenamiento

| Características / Días | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 |
|---|---|---|---|---|
| Aspecto | Alveolado uniforme y homogéneo Esponjoso | Alveolado uniforme y homogéneo Esponjoso | Alveolado uniforme y homogéneo Esponjoso | Alveolado uniforme y homogéneo Esponjoso |
| Color | Ligeramente rosado tanto la corteza como la miga | Ligeramente rosado tanto la corteza como la miga | Ligeramente rosado tanto la corteza como la miga | Ligeramente rosado tanto la corteza como la miga |
| Olor | Afrutado agradable | Afrutado agradable | Afrutado agradable | Afrutado agradable |
| Sabor | Dulce | dulce | Dulce | dulce |

Realizado por duplicado (n=2).

La tabla 17 muestra que, las características organolépticas del pan con mayor aceptabilidad general (con 15% de HCTM) evaluadas por 4 días mantienen el aspecto, color, olor, sabor y textura del pan, descrito como un pan con aspecto esponjoso, alveolos uniformes y homogéneos, con un color ligeramente rosado en su corteza y miga, con un olor afrutado agradable y sabor dulce.

### b. Evaluación fisicoquímica




**A:** Humedad, **B:** pH, **C:** Acidez titulable y **D:** Sólidos solubles totales. Datos expresados como media ± Desviación Estándar (n=3). Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher ($p<0,05$)

**Figura 6.** Comportamiento de la humedad, pH, % de acidez titulable y sólidos solubles totales del pan con mayor aceptabilidad general durante los 4 días de almacenamiento

La figura 6 muestra que el pH mantuvo sin cambios significativos hasta el día 2, sin embargo, disminuyó significativamente desde el tercer día en relación con el día uno; en la humedad, % de acidez titulable y sólidos solubles totales no hubo cambios significativos hasta al día cuatro.

### c. Evaluación microbiológica

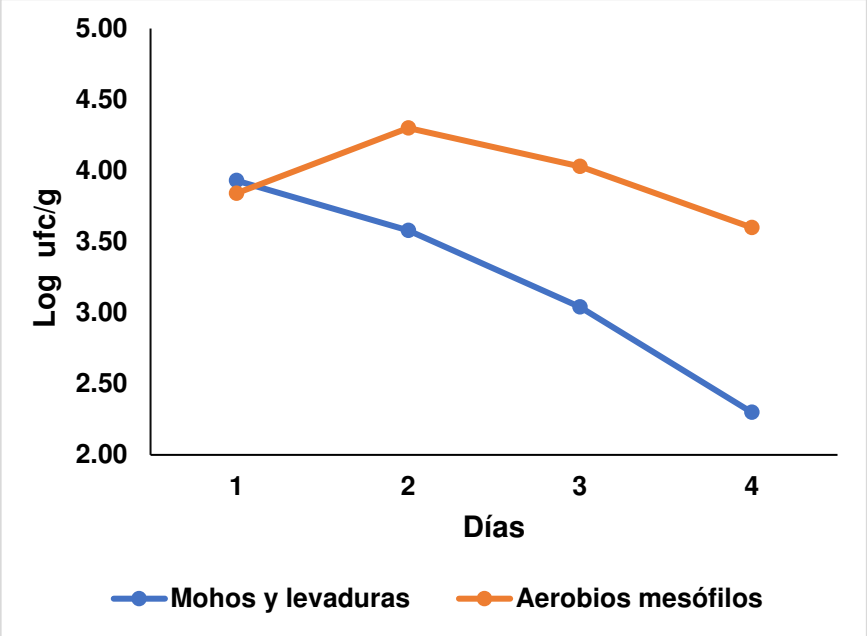



**Figura 7.** Evolución del recuento combinado de mohos y levaduras, y aerobios mesófilos del pan con mayor aceptabilidad general

La figura 7 muestra la evolución de la carga microbiana durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Se evidencia que en el transcurso de los días (n=4) hubo una disminución en la cantidad de células viables tanto de mohos y levaduras, y aerobios mesófilos, habiendo mayor disminución en el número de mohos de levaduras.

### d. Evaluación sensorial

**Tabla 18.** Atributos sensoriales y la aceptabilidad general del pan con mayor aceptabilidad durante los 4 días de almacenamiento

| Atributos de F3 | Día 1 | Día 4 |
|---|---|---|
| Apariencia | 8,17 ± 0,87[a] | 7,93 ± 1,11[a] |
| Color | 8,10 ± 0,80[a] | 8,07 ± 0,83[a] |
| Olor | 7,77 ± 0,82[a] | 7,77 ± 0,82[a] |
| Sabor | 7,67 ± 1,09[a] | 7,77 ± 1,04[a] |
| Textura | 8,03 ± 0,96[a] | 7,80 ± 1,00[a] |
| Aceptabilidad general | 8,07 ± 0,84[a] | 7,93 ± 0,83[a] |

Datos expresados como media ± Desviación Estándar (n=30)

Letras iguales por fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher ($p<0,05$)

La tabla 18 evidencia que no hubo diferencias significativas en cuanto a los atributos sensoriales y la aceptabilidad general del día 4 con respecto al día 1.

## VI. DISCUSIÓN

Los frutos de *Opuntia ficus- indica (L.)* Mill. "tuna" morada de Santiago de Tuna-Huarochirí presentaron un peso entre 97,90 g - 213,13 g y un buen porcentaje de cáscara de 41,21 ± 1,28%. Con respecto al peso de los frutos fue similar a lo reportado en tuna morada de San Bartolomé-Huarochirí (175 ± 7,07 g)[8]. Con relación al porcentaje de cáscara fue mayor a lo encontrado en la tuna morada de San Bartolomé-Huarochirí (32,8 %)[8] y similar al de la tuna amarilla de Sicilia, Italia (40%)[21], esta diferencia puede ser debido al estado de madurez del fruto y condiciones climáticas del lugar de recolección[22]. Con respecto a la variedad no se especifica, pero tiene similitud con la variedad Roja San Martin de México, por su coloración morada tanto en su cáscara como en su pulpa[22]. La tuna morada presentó en su pulpa una cantidad de sólidos solubles totales (SST) de 14,25°Brix y un adecuado índice de madurez (IM) de 162,88 ± 1,05, los SST e IM fueron mayor a los valores reportados en tuna anaranjada de Huancayo- Perú, recién cosechada (9°Brix ,IM:113), con 3, 6 y 10 días después de cosechada (10°Brix ,IM: 125; 10°Brix , IM:142; 11°Brix, IM 157; respectivamente)[7], pero ligeramente menor a lo reportado en tuna anaranjada de Túnez con pH elevado de 6,1 (14,32°Brix, IM: 477,33); sin embargo, este pH posibilita el rápido deterioro del fruto[13].

La cáscara del fruto *Opuntia ficus- indica (L.)* Mill. "tuna" morada presentó un alto contenido de humedad de 87,15± 0,49% y pH de 5,21 ± 0,47 menor que la pulpa (6,22 ± 0,16) y una cantidad importante de SST de 10,00 ± 0,00 °Brix. En cuanto a la humedad, fue similar a lo reportado en las cáscaras de tunas de Perú, color morado de Lima (88,46%)[17] y anaranjado de Huancayo (86,84%)[7]. Con respecto al pH, fue ligeramente menor y los SST, fue ligeramente mayor a lo reportado tanto en cáscara de tuna morada de Lima (pH: 5,7; 8,5°Brix)[17] como en cáscara de tuna amarilla de La Libertad (pH: 5,73; 8,90 ± 0,10°Brix)[19], conveniente para la elaboración de productos alimenticios.

En este estudio se obtuvo la HCTM considerando como un paso importante el secado realizado en una estufa a 60°C durante 42 a 46 h evitando la degradación del color de la muestra. En un estudio de información recopilada sobre harinas a base de subproductos de frutas informaron que a 60°C se preserva la capacidad antioxidante de las cáscaras de maracuyá, piña y papaya, secadas durante 48 h; además las cáscaras presentan valores significativamente más altos de

compuestos antioxidantes y mayor resistencia a la degradación por calor que las pulpas[2]. Aún no hay estudios de secado de cáscaras de tuna morada para la obtención de harina; sin embargo, en otros estudios se tiene evidencias de secado de las cáscaras de tuna amarilla (42ºC ± 1 °C durante 48 h.[21], 70°C durante 24 horas[19]); anaranjada (45°C durante 48 h.[13], 60°C[7]) y blanca (70°C durante 48 h.[20]), realizados en un horno. La harina obtenida de cáscara de tuna morada (HCTM) mostró un mayor rendimiento de 12,43% (14,17 g de ps/100g de pf), comparado con la harina de cáscara de tuna anaranjada de Túnez (10,8 g de ps / 100 g de pf)[13], posiblemente por un mayor peso de las cáscaras. En la granulometría de la HCTM, se registró el mayor porcentaje retenido (44,99 ± 0,24%) con el tamiz N°70 en comparación con demás tamices utilizados (N°40,80 y 120) y un módulo de finura (MF) de 2,04, similar a otro estudio que evaluó la harina de cáscara de tuna anaranjada con tamices de N°30, 50, 70 y 100, mostrando un mayor porcentaje de retención con el tamiz N°70 (50%) y un MF de 2 definido como una granulometría fina[7]. Este tamaño de partícula pequeño promueve un aumento de la disponibilidad de nutrientes y una interacción más fácil con los compuestos hidrofílicos (azúcares y fibras solubles) de la formulación del pan[2]. Asimismo, la HCTM mostró adecuados valores de humedad de 12,28 ± 0,17% y pH 5,30 ± 0,03; además, un alto contenido de SST de 66,77 ± 1,75 °Brix. Con respecto a la humedad de la harina, fue menor al valor máximo permitido en la harina de trigo (15%)[46] y en otros trabajos se encontró valores de 13% en la harina de cáscara de tuna anaranjada[7] y 8,17± 0,05% en la harina de cáscara de tuna amarilla[21]. Con relación al pH, fue menor al rango de crecimiento de bacterias (pH: 6,5 - 7,0); asimismo, su alta cantidad de sólidos solubles totales le confirió la propiedad de ser un excelente ingrediente para desarrollar productos con mejor sabor y menos azúcar añadida. Aún no se ha estudiado las características fisicoquímicas de la harina de cáscara de tuna; sin embargo, la harina de la cáscara de pitahaya roja, fruto perteneciente a la familia Cactaceae ha presentado menor valores de pH (4,45 ± 0,03) y SST (10 ±1,80° Brix)[47].

Las formulaciones de panes con HCTM al 0, 5, 10, 15 y 20% se desarrollaron por método directo y se evaluaron mediante una escala hedónica de 9 puntos registrando altos puntajes en sus atributos sensoriales, superiores a 6 (me gusta ligeramente); sin embargo, el que mostró mayor aceptabilidad general con puntajes

entre 7 (me gusta medianamente) y 8 (me gusta mucho) fue el pan con 15% de HCTM sobresaliendo sus atributos de sabor (7,87 ± 1,14), textura (7,83 ± 1,05) y aceptabilidad global (7,73 ± 1,05). Este pan logró tener mayor aceptabilidad general con un buen % de harina del subproducto, que lo reportado en otros trabajos como los panes desarrollados con harina de cáscara de tuna anaranjada (5%, 10% y 15%) por método directo, que sometidos a una prueba hedónica de 5 puntos se observó que el pan con 5% tenía los mejores puntajes en apariencia (4,64), color de miga (4,52), sabor (4,36), aroma (4,36) y textura (4,68)[7]; en otro estudio de panes desarrollados con cáscara de tuna amarilla (5%, 10%, 15% y 20%) por el método Chorleywood, no registraron diferencias significativas en la aceptabilidad general; sin embargo, el pan con 10% obtuvo un puntaje ligeramente mayor (6,55 ± 1,29) de una escala hedónica de 9 puntos y también un mayor volumen específico, a diferencia de la muestra con 20% que presentó un valor bajo pero aceptable, relacionándola con una miga más compacta, con un mayor valor de dureza y con una mayor capacidad de absorción de agua debido al incremento de la harina del subproducto rico en fibras[21]. En galletas con harina de cáscara de tuna anaranjada (10, 20 y 30%) reportaron que las muestras con 20 y 30% eran las más aceptables, destacando sus atributos de color, olor y sabor con altos puntajes entre 7 y 8 de una escala hedónica de 9 puntos[13]; en snacks libres de gluten sustituyeron la harina de arroz integral por harina de cáscara de tuna amarilla (5, 7 y 10%) y reportaron que las tres formulaciones eran más aceptables (puntajes mayores a 5 de una escala hedónica de 7 puntos) que el control, en especial la muestra con 10%[19] y en mantecadas desarrolladas con harina de cáscara de tuna blanca (10, 20 y 30%) los autores consideraron la más aceptable la muestra con 20%, que comparada con una manteca comercial mediante una prueba de preferencia, tuvo mayor aceptación en un 70%[20]. Por otro lado, en panes con otros subproductos de origen vegetal han considerado en las formulaciones menores porcentajes para la sustitución de la harina de trigo y han informado que la sustitución aceptable (SA) es hasta un promedio de 5% como el caso de panes con fibra de orujo de piña (5 y 10%) con una SA de 5%, ya que a partir del 10% se observó un impacto negativo significativo en el sabor; al igual que los panes con harina de semilla de uva (2,5; 5; 7,5 y 10%) que fue perceptible un sabor amargo con una cantidad mayor al 5%; panes con harina de semilla de granada (5; 7,5 y 10%) tuvieron una SA de 5%,

panes con subproductos (piel y semilla) de tomate (6 y 10%) registraron un sabor aceptable y aceptabilidad general hasta un 6% de sustitución y panes con harina de cáscara de cítricos sin fermentar (2, 4, 6%) tuvieron una mayor aceptabilidad con 4 y 6%[28]. En otro estudio, en panes con orujo de uva (5% y 10%) se observó un impacto no significativo en la aceptabilidad general siendo sus puntajes superiores a 5 (no me gusta ni me disgusta) de una escala hedónica de 9 puntos (6,53±1,62; 6,65±1,69 y 5,59±2,12; respectivamente)[48]. Por otro parte, en bizcochos con harina de cáscara de granada (5, 10, 15 y 20%) se observó que a medida que aumentaba la cantidad sustituida de esta harina, disminuía la puntuación del sabor y aceptabilidad general posiblemente por la presencia de taninos y compuestos fenólicos en la cáscara de granada que confieren un ligero amargor, por ello su sustitución fue aceptable hasta un 5%[49]. Por otro lado, las formulaciones de panes presentaron variaciones en sus características fisicoquímicas observándose que, a partir del pan con 15% de HCTM aumentó tanto el % de humedad como los SST, además se observó que el pH disminuyó en F3 en comparación a F0. Los valores de humedad de las formulaciones con HCTM (**F1:** 27,55 ± 0,17; **F2:** 28,02 ± 0,08; **F3:** 30,50 ± 1,75; **F4:** 30,05 ± 0,08) fueron similares a lo reportado en panes desarrollados con harina compuesta de piel y semillas del tomate al 6 y 10% (28,15 y 29,83%) de un estudio de información recopilada de panes a base de subproductos[28]; asimismo, el pH presentó una tendencia decreciente similar a lo reportado en un estudio donde evaluaron masas fermentadas con harina de cáscara de tuna amarilla en diferentes tiempos (0, 30, 60 y 90 min)[21], esto debido posiblemente a su bajo pH (5,2-6,4) y en cuanto al aumento los SST, probablemente es por el sabor dulce de este residuo que puede influir a medida que se aumenta la cantidad de HCTM en cada formulación.

En este estudio, el pan con 15% de HCTM presentó 30,11 ± 0,21 % de humedad, valor que cumplió con el máximo permitido en pan de molde y bizcochos que es de 40% (base húmeda)[37,50]; asimismo, mostró menores valores de energía (1251,34 kJ/100g), grasas (7,65 ± 0,05%) y carbohidratos (46,61%), a lo reportado en galletas desarrolladas con harina de cáscara de tuna anaranjada al 10, 20 y 30% (energía: 1723 kJ/100g, grasa: 15,7% y carbohidratos: 62,6%). Por lo tanto, el producto desarrollado en este estudio tiene la ventaja de ser más saludable[13]. Este pan presentó un peso de alrededor de 27 g, tuvo un alto contenido de fibra dietética

total (FDT) de 18,73% y una cantidad importante de fibra dietética insoluble (14,42 ±0,93%) y soluble (4,30 ± 0,92%) encontrándose en una relación de 3,61: 1,08. El valor de la FDT fue superior al reportado en el pan con polvo de cáscara de *Artocarpus heterophyllus* "yaca" al 15% (11,39%). Desde un punto nutricional, el pan obtenido es alto en fibra dietética porque contiene más de 6g de fibra dietética/ 100g de alimento. Consumiendo dos panes se supera los requerimientos diarios de fibra dietética lo cual para adultos debe ser 25 a 30 g/día con una relación FDI/FDS de 3:1[29]. En cuanto al contenido de polifenoles totales (PT) presentó 3,08 ± 0,02 mg EAG/g de pf (4,41 ± 0,03 mg EAG/g ps) y una capacidad antioxidante de 36,03 ± 0,48 µmol ET/g pf (51,55 ± 0,69 µmol ET/g ps). Con respecto al PT, fue mayor a los valores obtenidos en panes desarrollados en otros estudios, como los panes con harina de cáscara de harina amarilla al 15% con un PT de 2,59 mg EAG/g ps[21]; los panes con harina de orujo de uva al 10% con 2,07 mg EAG/g ps[48]; y los bizcochos con harina de cáscara de granada al 15% con 0,58 mg EAG/g ps, mientras que, en cuanto a la capacidad antioxidante, lo obtenido en este estudio fue el triple en comparación a lo obtenido en panes con harina de orujo de uva (15,41 µmol ET/g ps)[48]. Según los resultados, pueden asociarse con la coloración de la cáscara rojo-morada, ya que contienen mayor cantidad de pigmentos antioxidantes como las "betalaínas", en especial betacianinas, 20 veces más que las cáscaras amarillas y anaranjadas[15]; los compuestos fenólicos presentes pueden ser los mismos que los encontrados en tuna roja como el ácido gálico, catequina, quercetina-3-glucosa-(1-6)-ácido gálico[11]; asimismo, mencionan que la cáscara de tuna morada presenta mayor capacidad antioxidante que la cáscara de tuna amarilla[16].

El pan con 15% de HCTM almacenado a temperatura ambiente durante 4 días, presentó una notable disminución significativa del pH a partir del día 3. Con respecto a la variación del pH en el transcurso del tiempo, también se evidenció la misma tendencia negativa en un estudio de salchichas de cerdo con harina de cáscara de tuna, que puede relacionarse con la naturaleza ácida, de bajo pH (5,21 ± 0,47), presencia de ácidos orgánicos y actividad prebiótica de la cáscara de tuna[18]. Además, en este estudio durante este periodo se observó una disminución del recuento de aerobios mesófilos y mohos y levaduras, que puede asociarse con un efecto antimicrobiano del subproducto; ya que, también se observó una

disminución significativa de la tasa de crecimiento de microorganismos (*Pseudomonas spp*., bacterias mesófilas totales, enterobacterias y otras causantes del deterioro de productos de mar) durante el periodo de almacenamiento a 4°C (n=16 días) de hamburguesas de bacalao con polvo combinado de cáscara y pulpa de tuna roja al 7,5% y en especial, al 12,5%, en comparación con la muestra control[51]. No obstante, no se observó una tasa de crecimiento negativa en los recuentos de aerobios mesófilos totales, coliformes y mohos y levaduras en bizcochos con harina de cáscara de granada al 5,10,15, 20%, almacenados durante 6 días a temperatura ambiente, solo se observó que durante el periodo de almacenamiento las muestras con la harina de cáscara de granada mostraron menor contaminación que la muestra de control, en especial la que contenía mayor % del subproducto[49]. Por otro lado, el pan mantuvo su aceptabilidad general, sin diferencias significativas y con buenas calificaciones cercanas a 8 (me gusta mucho) que pueden asociarse con la composición química de la cáscara de la tuna. Con respecto al color rosado, se relacionó con los pigmentos "betacianinas" (púrpura-rojizo) presentes en mayor cantidad en la cáscara que en la pulpa, asimismo la mayor intensidad del color en la miga que en la corteza se debe a que el pan actúa como una matriz protectora de estos pigmentos[11,15,21]. En cuanto al olor agradable se pudo mantener estable por el buen contenido de las cáscaras en vitamina E, compuestos fenólicos, flavonoides y otros antioxidantes y también por sus compuestos aromáticos previniendo la oxidación de lípidos y olores desagradables en el producto[11,21,51]. El sabor dulce, se relacionó con su alto contenido de SST encontrados en este estudio y su textura esponjosa por la presencia principalmente de pectina y mucílagos, hidrocoloides con gran capacidad de absorción de agua, que evitan la deshidratación de la miga; en consecuencia, ayudan a retardar el envejecimiento del pan[7,9,10].

## VII. CONCLUSIONES

La cáscara de la tuna representó casi la mitad del fruto (41,21 ± 1,28%), la humedad fue el componente mayoritario (87,15± 0,49%), el pH fue de 5,21 ± 0,47 y presentó cantidad importante de sólidos solubles totales (10,00 ± 0,00 ºBrix).

La harina obtenida de la cáscara de tuna morada presentó un rendimiento de 12,43% y un módulo de finura de 2,04 siendo una granulometría fina. Asimismo, la humedad fue de 12,28 ± 0,17%; pH de 5,30 ± 0,03 y sólidos solubles totales de 66,77 ± 1,75°Brix.

Las formulaciones de panes realizadas presentaron diferencias significativas en sus atributos de sabor, textura y aceptabilidad global, la formulación 3 (F3) con 15% de HCTM presentó la mayor aceptabilidad. Asimismo, presentaron diferencias significativas en el % de humedad, SST y pH, observándose que a partir de F3 hubo un aumento significativo de la humedad y SST, y una disminución significativa del pH a medida que aumentó el % de HCTM.

El pan con mayor aceptabilidad general (con 15% de HCTM) registró calificaciones altas según la escala hedónica de 9 puntos, entre 7 (me gusta medianamente) y 8 (me gusta mucho), destacando en sus atributos de sabor (7,87 ± 1,14), textura (7,83 ± 1,05) y aceptabilidad global (7,73 ± 1,05).

El pan con mayor aceptabilidad (con 15% de HCTM) presentó 30,11 ± 0,21% de humedad y una cantidad considerable de carbohidratos de 46,61%; alto contenido de fibra dietética total (18,73±1,85%), así como cantidades importantes de fibra dietética insoluble (14,42 ±0,93%) y soluble (4,30 ± 0.92%); los polifenoles fueron de 3,08 ± 0,02 mg EAG/ g peso fresco y la capacidad antioxidante de 36,03 ± 0,48 µmol ET/g peso fresco.

Durante el periodo de almacenamiento de 4 días del pan con 15% de HCTM, el pH disminuyó significativamente, asimismo el recuento de aerobios mesófilos y mohos y levaduras presentó una disminución; sin embargo, en las características sensoriales no hubo diferencias significativas, por lo que se mantuvieron aceptables durante los 4 días de seguimiento.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Usar la harina de cáscara de tuna morada para el desarrollo de otros productos de panadería como galletas, queques, barra de cereales y muffins.
- Evaluar el efecto de la adición de la harina de cáscara de tuna morada en las propiedades tecnológicas (dureza, elasticidad, absorción de agua, absorción de aceite, etc.) del pan.
- Evaluación *in vivo* del efecto del pan con harina de cáscara de tuna morada en el índice glucémico y bioaccesibilidad de los fitoquímicos.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. Subiria-Cueto R, Coria-Oliveros A, Wall-Medrano A, Rodrigo-García J, González-Aguilar A, Martinez-Ruiz N.D.R, et al. Antioxidant dietary fiber-based bakery products: a new alternative for using plant-by-products. Food Sci Technol. 2021;2061:1–16.
2. Larrosa A.P, Otero D.M. Flour made from fruit by- products : Characteristics , processing conditions, and applications. Food Process Preserv. 2021;(January):1–22.
3. Osorio L, Flórez-López E, Grande-Tovar C. The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. Molecules. 2021;26(515).
4. Rodríguez García S.L, Raghavan V. Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds-A review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2021;0(0):1–21.
5. Sabino L, Gonzaga M, Soares D, Lima A, Lima J, Almeida M, et al. Bioactive compounds, antioxidant activity, and minerals in flours prepared with tropical fruit peels. Acta Aliment. 2015;44(4):520–6.
6. Borczak B, Sikora M, Sikora E, Dobosz A, Kapusta-Duch J. Glycaemic index of wheat bread. Starch Bioeng. 2017;1–28.
7. Carhuamaca A. Evaluación del efecto de sustitución de la harina de cáscara de tuna (*Opuntia ficus*) en la elaboración de panes [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú; 2013.
8. Rosendo J. Elaboración de una bebida alcohólica destilada a partir de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller procedente del distrito de San Bartolomé, Huarochirí-Lima [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2017.
9. Hernández-Carranza P, Rivadeneyra-Mata M, Ramos-Cassellis M, Aparicio-Fernández X, Navarro-Cruz A, Ávila-Sosa R, et al. Characterization of red prickly pear peel (*Opuntia ficus-indica L.*) and its mucilage obtained by traditional and novel methodologies. J Food Meas Charact. 2019;13(2):1111–1119.
10. Gheribi R, Habibi Y, Khwaldia K. Prickly pear peels as a valuable resource of added-value polysaccharide: Study of structural, functional and film forming

properties. Int J Biol Macromol. 2019;126(2019):238–45.
11. Silva M.A, Albuquerque T.G, Pereira P, Ramalho R, Vicente F, Oliveira M.B.P.P, et al. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. Molecules. 2021;26(951):1–20.
12. Han W, Ma S, Li Li, Wang X.X, Zheng X.L. Application and Development Prospects of Dietary Fibers in Flour Products. J Chem. 2017;2017:1–9.
13. Bouazizi S, Montevecchi G, Antonelli A, Hamdi M. Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica L.*) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. Food Sci Technol. 2020;124(109155):1–7.
14. Morais D, Rotta E, Sargi S, Bonafe E, Suzuki R, Souza N, et al. Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. J Braz Chem Soc. 2017;28(2):308–18.
15. Smeriglio A, Bonasera S, Germanò M, D'Angelo V, Barreca D, Denaro M, et al. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. fruit as source of betalains with antioxidant, cytoprotective, and anti-angiogenic properties. Phyther Res. 2019;33(5):1526–37.
16. Ordoñez E, Leon A, Rivera H, Vargas E. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), uva (*Vitis Vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). Sci Agropecu. 2019;10(2):175–83.
17. Rosillo C. Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna". Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Tesis de pregrado]. 2016.
18. Ocampo R, Delgado E, Gutiérrez J. Harina de cáscara de tuna como fuente de fibra y su efecto sobre las características físico- químicas y sensoriales de salchichas bajas en sodio y grasa. Nacameh. 2015;9(2):54–65.
19. Miranda D.V, M.L R, Pagador S, Lescano L, J S-G, G L. Gluten-Free Snacks Based on Brown Rice and Amaranth Flour with Incorporation of Cactus Pear Peel Powder : Physical , Nutritional , and Sensorial Properties. Int J Food Sci. 2018;2018:1–9.
20. García-Valencia A, Bautista-Cano G, Cerón- Latorre B, Muñoz- Olivares M, Pérez- Gonzales O, Vázquez- Rodríguez G. Valorización de la cáscara de

tuna en un producto de panificación. Pädi Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. 2018;6(11):12–5.

21. Parafati L, Restuccia C, Palmeri R, Fallico B, Arena E. Characterization of Prickly Pear Peel Flour as a Bioactive and Functional Ingredient in Bread Preparation. Foods. 2020;9(1189):1–17.
22. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (ICARDA). Ecologia del cultivo, manejo y usos del Nopal [Internet]. Inglese P, Jacobo C, Nefzaoui A, Sáenz C. Vol. 1. 2018. 248 p.
23. Salehi E, Emam-Djomeh Z, Fathi M, Askari G. *Opuntia ficus - indica* mucilage. In: Edited by Seyed M.A. Razavi, editor. EmergingNatural Hydrocolloids: Rheology and Functions. First Edit. 2019. p. 425–49.
24. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2018. 2018. 1–371 p.
25. Mesas J.M, Alegre M.T. El pan y su proceso de elaboración. Cienc y Tecnol Aliment. 2002;3(5).
26. Hutkins R.W. Bread Fermentation. In: Blackwell Publishing, editor. Microbiology and Technology of Fermented Foods. 2006. p. 261–99.
27. Bamforth C.W. El pan. In: Alimentos, fermentación y microorganismos. 2007.
28. Amoah I, Taarji N, Johnson P, Barrett J, Cairncross C, Rush E. Plant-based food by-products: Prospects for valorisation in functional bread development. Sustainability. 2020;12(18):1–31.
29. Reza F, Tajul A, Wan N, Wan A, Wahidu Z. Effects of Incorporation of Jackfruit Rind Powder on Chemical and Functional Properties of Bread. Trop Life Sci Res. 2018;29(1):113–26.
30. Mihafu F, Issa J, Kamiyango M. Implication of Sensory Evaluation and Quality Assessment in Food Product Development: A Review. Curr Res Nutr Food Sci. 2020;8(3):690–702.
31. Munteanu I.G., Apetrei C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. Int J Mol Sci. 2021;22:1–30.
32. AOAC International. Official Methods of Analysis, 21st Edition. AOAC International. 2019.
33. Egan H, Kirk R, Sawyer R. Análisis Químico de los Alimentos de Pearson. 1a

ed. Editorial Continental S.A., editor. México D.F.; 1991. 52 p.

34. Miranda- Ramos K, Sanz-Ponce N, Haros C. Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. Lwt. 2019;114(March):108418.
35. Betoret E, Rosell C. Enrichment of bread with fruits and vegetables: Trends and strategies to increase functionality. Cereal Chem. 2020;97(1):9–19.
36. Torbica A, Škrobot D, Janić Hajnal E, Belović M, Zhang N. Sensory and physico-chemical properties of wholegrain wheat bread prepared with selected food by-products. Lwt. 2019;114(March):1–8.
37. INACAL. Norma técnica peruana NTP 206.004. PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETERÍA. Pan de molde. Requisitos. 2021. p. 11.
38. Norma técnica sanitaria NTS 071-2008. Criterios microbiológico de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano [Internet]. Available from: http://www.digesa.minsa.gob.pe/NormasLegales/Normas/RM591MINSANORMA.pdf
39. AOAC. Fibras alimentarias totales. Vol. 1.12979.00, Supelco. 2020.
40. Dorta E, Rodríguez-Rodríguez E, Jiménez-Quezada A, Fuentes-Lemus E, Speisky H, Lissi E, et al. Use of the Oxygen Radical Absorbance Capacity ( ORAC ) Assay to Predict the Capacity of Mango ( *Mangifera indica* L .) By-Products to Inhibit Meat Protein Oxidation. Food Anal Methods. 2017;330–8.
41. Magalhães Luís M., Santos Fernando, Segundo Marcela A., Reis Salette, Lima José L.F.C. Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. Talanta. 2010;83(2):441–7.
42. Díaz-García A, Salvá-Ruíz B, Bautista-Cruz N, Condezo-Hoyos L. Optimization of a natural low-calorie antioxidant tea prepared from purple corn (*Zea mays* L.) cobs and stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). LWT. 2021 Oct 1.
43. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic Biol Med. 1999;26(9–10):1231–7.
44. Sanez L. Tiempo de vida util del pan elaborado con harina de trigo (*Triticum aestivum*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*)". Universidad Nacional del Callao; 2019.

45. ICMSF. Microorganismos en Alimentos I. Su significado y sus métodos de enumeración. 2da ed. ACRIBIA S., editor. España; 2000.
46. INDECOPI. Norma técnica peruana NTP 205.064. TRIGO. Harina de trigo para consumo humano. Requisitos. 2da. ed. 2015. p. 16.
47. Morais D, Alves V, Ramirez Asquieri E, Régia Marques de Sousa A, Damiani C. Physical, chemical, nutritional and antinutritional characterization of fresh peels of yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) and red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) and their flours. Rev Ciência Agronômica. 2021;52(3):1–10.
48. Tolve R, Simonato B, Rainero G, Bianchi F, Rizzi C, Cervini M, et al. Wheat Bread Fortification by Grape Pomace Powder: Nutritional, Technological, Antioxidant, and Sensory Properties. 2021;1–12.
49. Lotfy L, Barakat E. Utilization of Pomegranate Peels Flour to Improve Sponge Cake Quality Lamiaa M. Lotfy and Ekram H. Barakat. 2018;91–6.
50. INACAL. Norma técnica peruana NTP 206.002. PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETERÍA. Bizcochos. Requisitos. In: 2da. ed. 2018.
51. Dilucia F, Lacivita V, Del Nobile M, Conte A. Improving the Storability of Cod Fish-Burgers According to the Zero-Waste Approach. Foods. 2021;10(9).

## X. ANEXOS

### 1. Recolección y transporte de la muestra al laboratorio.



**Figura 8.** Transporte y selección de los frutos de tuna morada

### 2. Evaluación de la *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada




**Figura 9.** Evaluaciones en la tuna morada: **A.** Evaluación morfológica **B.** Evaluación fisicoquímica de su pulpa y cáscara

### 3. Evaluación de la harina de cáscara de *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller "tuna" morada




**Figura 10.** Evaluación de la HCTM: **A.** Granulometría **B.** Evaluación fisicoquímica

### 4. Elaboración de los panes

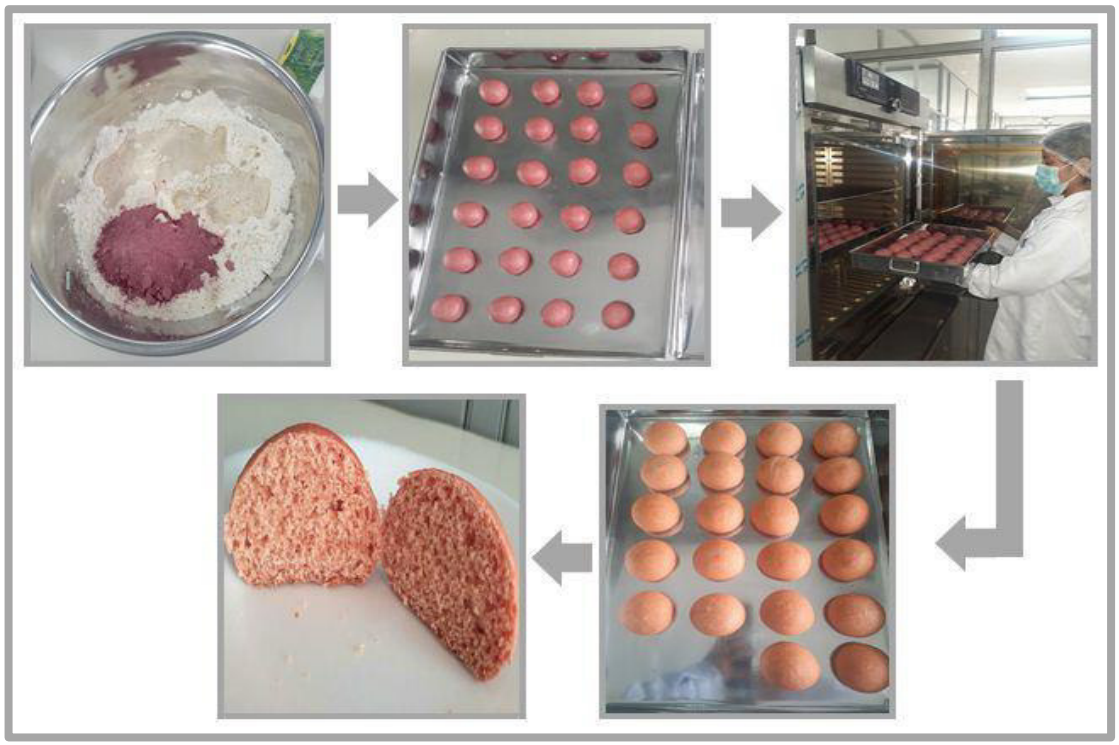


**Figura 11.** Proceso de elaboración de los panes

## 5. Evaluación sensorial de las cinco formulaciones de panes

**EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD DE PRODUCTO**

**PRODUCTO:** pan con harina de cáscara de tuna morada

| NOMBRES Y APELLIDOS: | FECHA: ..../..../..... | HORA: ..... |
|---|---|---|
| | GÉNERO: .....EDAD:..... | |

**INDICACIONES:**

Frente a Ud. se encuentra una muestra de pan con harina de cáscara de tuna morada. Por favor anota el código, evalúa la apariencia, el color, el olor, el sabor y la aceptabilidad global usando la escala de calificación presentada (1-9).

**Escala de calificación:**

| Calificación | Puntaje | | Puntaje |
|---|---|---|---|
| Me gusta muchísimo | 9 | Me disgusta ligeramente | 4 |
| Me gusta mucho | 8 | Me disgusta medianamente | 3 |
| Me gusta medianamente | 7 | Me disgusta mucho | 2 |
| Me gusta ligeramente | 6 | Me disgusta muchísimo | 1 |
| Ni me gusta ni me disgusta | 5 | | |

**Calificación del producto**

| Código de muestra / Atributo | 159 | 284 | 354 | 278 | 226 |
|---|---|---|---|---|---|
| Apariencia | | | | | |
| Color | | | | | |
| Olor | | | | | |
| Sabor | | | | | |
| Textura | | | | | |
| Aceptabilidad global | | | | | |

**Escriba sus observaciones**

---

---

**¡Muchas gracias por su participación!**

*Para evaluar la siguiente muestra enjuagarse con agua

**Figura 12.** Ficha de evaluación sensorial de las cinco formulaciones de panes

| TABLA DE ANOVA PARA APARIENCIA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 3.96 | 4 | 0.99 | 0.89 | 0.4711 |
| Intra grupos | 161.133 | 145 | 1.11126 | | |
| Total (Corr.) | 165.093 | 149 | | | |

| TABLA DE ANOVA PARA COLOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 6.24 | 4 | 1.56 | 1.07 | 0.3722 |
| Intra grupos | 210.833 | 145 | 1.45402 | | |
| Total (Corr.) | 217.073 | 149 | | | |

| TABLA DE ANOVA PARA OLOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 6.24 | 4 | 1.56 | 1.07 | 0.3722 |
| Intra grupos | 210.833 | 145 | 1.45402 | | |
| Total (Corr.) | 217.073 | 149 | | | |

| TABLA DE ANOVA PARA SABOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 22.6 | 4 | 5.65 | 3.82 | 0.0056 |
| Intra grupos | 214.733 | 145 | 1.48092 | | |
| Total (Corr.) | 237.333 | 149 | | | |

| TABLA DE ANOVA PARA TEXTURA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 16.0667 | 4 | 4.01667 | 2.51 | 0.0443 |
| Intra grupos | 231.933 | 145 | 1.59954 | | |
| Total (Corr.) | 248.0 | 149 | | | |

| TABLA DE ANOVA PARA ACEPTABILIDAD GLOBAL | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fuente* | *Suma de Cuadrados* | *Gl* | *Cuadrado Medio* | *Razón-F* | *Valor-P* |
| Entre grupos | 19.0267 | 4 | 4.75667 | 3.21 | 0.0148 |
| Intra grupos | 215.033 | 145 | 1.48299 | | |
| Total (Corr.) | 234.06 | 149 | | | |

**Figura 13.** Tablas de ANOVA para los atributos sensoriales de las formulaciones de panes




**Figura 14.** Evaluación sensorial de las formulaciones: **A.** Panes de cada formulación sellados y codificados **B.** Panelistas en grupos de tres para realizar la evaluación sensorial

## 6. Evaluación del pan elaborado con mayor aceptabilidad general

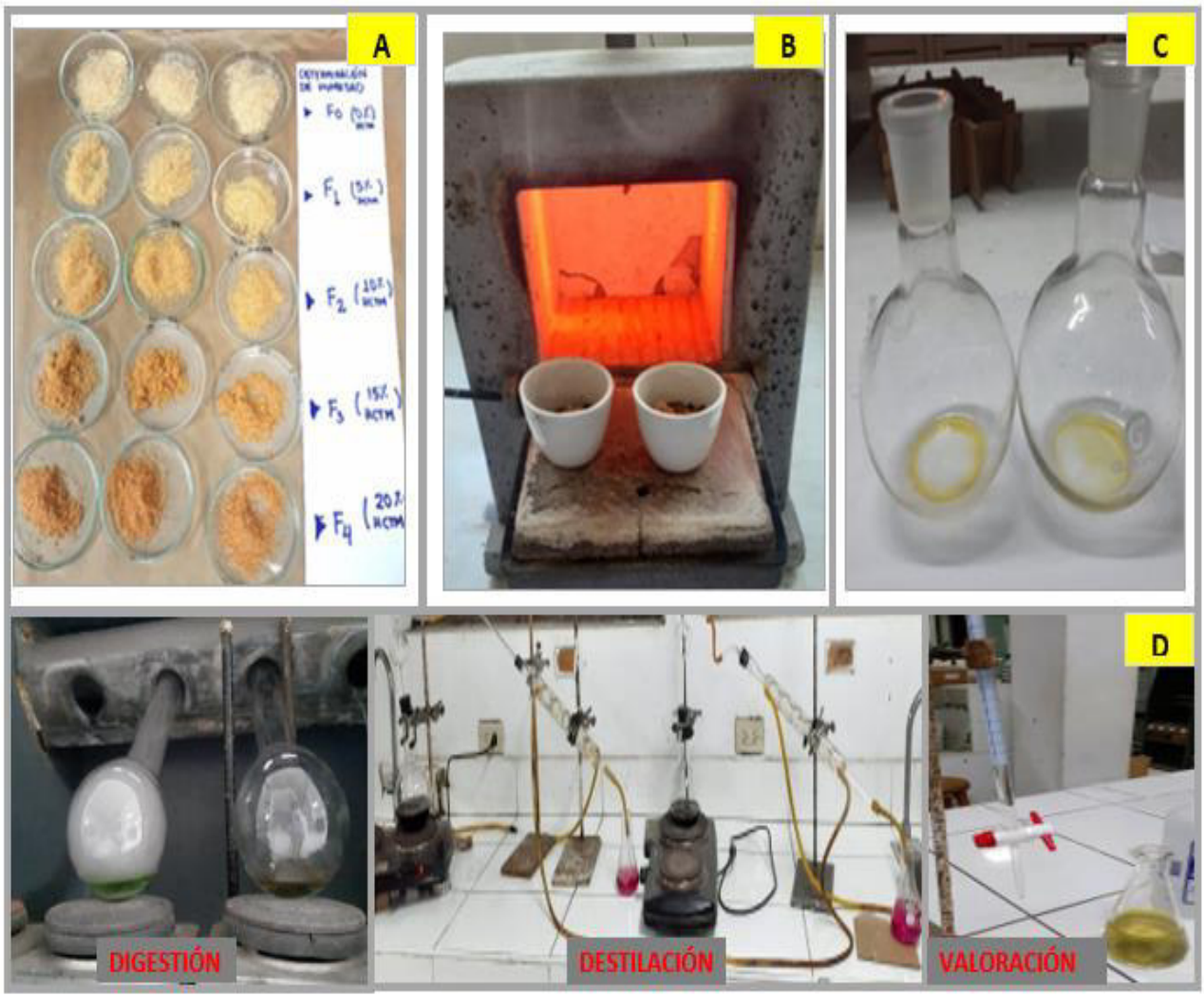



**Figura 15.** Evaluación proximal: **A.** Determinación de humedad **B.** Determinación de cenizas **C.** Determinación de grasas **D.** Determinación de proteínas



**Figura 16.** Evaluación del contenido de fibra dietética

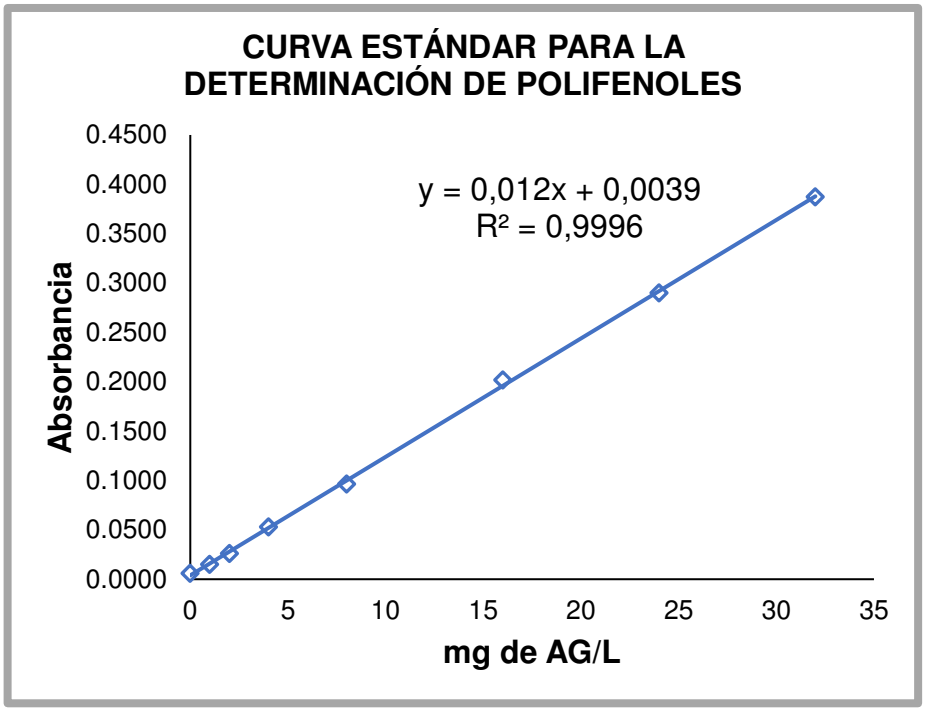



**Figura 17.** Curva estándar para la determinación de polifenoles

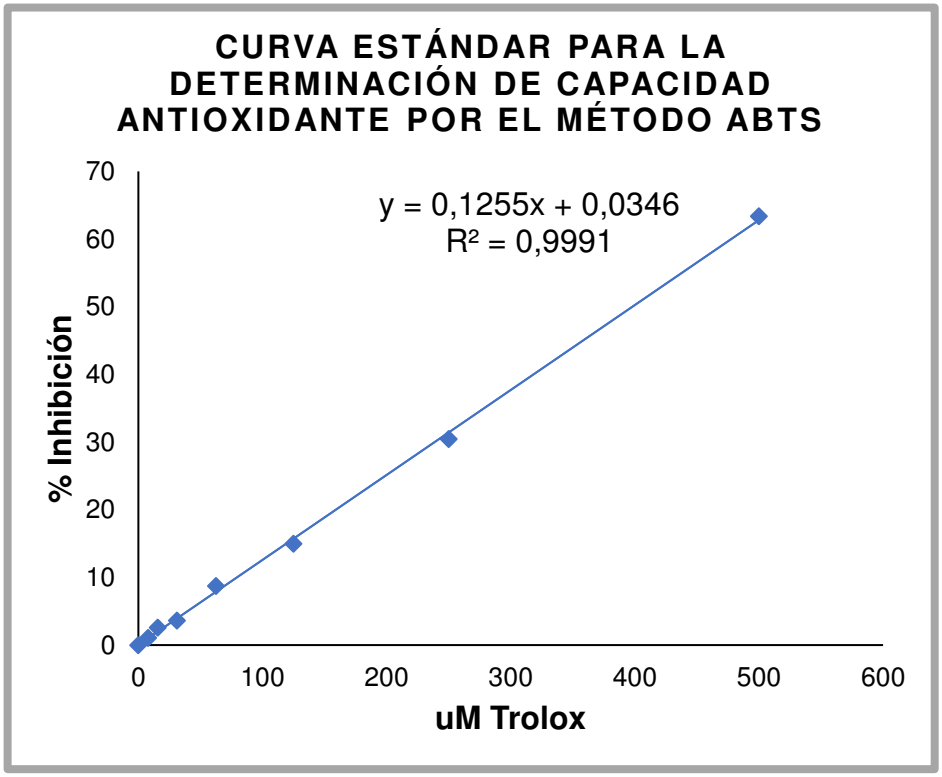



**Figura 18.** Curva estándar para la determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS

7. **Evaluación del pan con mayor aceptabilidad durante los 4 días de almacenamiento**




**Figura 19.** Evaluación del pan con mayor aceptabilidad general durante 4 días de almacenamiento: **A.** Evaluación fisicoquímica **B.** Evaluación microbiológica **C.** Evaluación sensorial