



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería Química
Colegio de Ingeniería en Alimentos

“Desarrollo de un pan con harina de arroz como solución al
desperdicio de la merma de papa y contribuyendo a la
economía circular”

Tesis Profesional

Para obtener el título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presenta: María Isabel Ortega Martínez

Director de tesis: M.I.Q Montserrat González Limón

Asesor de tesis: M.E.S Madai Gizeh Sánchez Arzubide

Puebla, Pue. Octubre de 2025



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

Colegio de Ingeniería en Alimentos

TESIS PROFESIONAL

“Desarrollo de un pan con harina de arroz como solución
al desperdicio de la merma de papa y contribuyendo a la
economía circular”

Presenta: María Isabel Ortega Martínez

Director de Tesis: MIQ. Montserrat González Limón

Asesor de Tesis: MES. Madai Gizeh Sánchez Arzubide

Octubre, 2025



Oficio No. FIQ/AC/051/2025
Asunto: Registro de Tema de Tesis.

C. MARÍA ISABEL ORTEGA MARTÍNEZ
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA EN ALIMENTOS
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

“Desarrollo con un pan con harina de arroz como solución al desperdicio de la merma de papa y contribuyendo a la economía circular”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

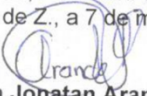
CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: M.I.Q. Montserrat González Limón.
Co-Directora de Tesis: M.E.S. Madai Gizeh Sánchez Arzubide.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO.**

Atentamente
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”
H. Puebla de Z., a 7 de mayo de 2025


Dr. Rubén Jonatan Aranda García
Secretario Académico



C.c.p. Directora de Tesis: M.I.Q. Montserrat González Limón.
C.c.p. Co-Directora de Tesis: M.E.S. Madai Gizeh Sánchez Arzubide.
C.c.p. Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72590
01 (222) 229 55 00
Exts. 7250 y 7251

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero y profundo agradecimiento a la Maestra Montserrat González Limón, por su paciencia, tiempo, comprensión y valiosos consejos. Gracias por haber sido un pilar fundamental en mi formación desde el primer semestre, por creer en mí y no dejarme rendir en ningún momento. Por impulsarme a confiar en mis capacidades y, sobre todo, por su compromiso y guía en este proyecto, el más importante de mi trayectoria formativa.

A la Maestra Madai Gizeh Sánchez Arzubide, por aceptar ser parte de este proyecto, por su apoyo incondicional en la ejecución, así como por su tiempo, dirección y acertadas sugerencias durante la realización de este trabajo.

Expreso un agradecimiento especial a las Maestras Janet Heredia Nieves y Miriam Vega Hernández, por aceptar ser mis sinodales y acompañarme con su presencia y orientación en cada etapa del proyecto.

A la Maestra Tania Meza, porque sin su apoyo quizá hubiera abandonado la carrera desde el primer semestre; gracias a ella comprendí que podía lograrlo, a mi propio ritmo, pero con paso firme.

Considero oportuno agradecer también a quienes me acompañaron a lo largo de este tiempo en la universidad. Gracias Daniela, Areli, Dafne, Juan Pablo y Jair, por su amistad y apoyo constante, por trabajar en equipo conmigo y por nunca dudar de mis capacidades. Gracias especialmente a Jair y Juan Pablo, por ser los mejores maestros, por su paciencia cuando yo misma carecía de ella, por explicarme las materias que no entendía y por estar siempre dispuestos a ayudar a los demás. Deseo de todo corazón que, dondequiera que todos ustedes estén, la vida siempre les sonría y logren alcanzar todos sus sueños.

De igual manera, agradezco a mi mejor amiga Litzy, porque sin ella nada de esto hubiera sido posible. Gracias por tu amistad y cariño incondicional, por siempre creer en mí, por impulsarme a ser mejor y caminar juntas hasta la recta final.

Finalmente, agradezco a Dios, porque sin Él no soy nada. Gracias, Padre, por ser mi luz en los momentos más oscuros y por permitirme llegar hasta aquí.

DEDICATORIA

A mi madre, Leticia Martínez Barrientos.

Gracias por ser mi mayor pilar y fortaleza, por tu amor incondicional, tu paciencia y comprensión; por permitirme seguir mis sueños y darme la oportunidad de estudiar lejos de casa. Gracias por nunca cortarme las alas y por esperarme siempre con los brazos abiertos.

A mi hermano, César Alejandro Ortega Martínez.

Gracias por ser el mejor compañero de vida, mi mejor amigo y la razón por la que decidí quedarme aquí. Cada día aprendo más de ti y admiro tu ejemplo.

A Tito, por ser el mejor padre que pudo haberme tocado, por amarme como a una hija y jamás hacerme sentir lo contrario. Gracias por estar siempre pendiente de mí, por su cariño, sus consejos, y por recogerme cada viernes en la terminal durante mi etapa universitaria.

A mi abuela, María Félix Barrientos Martínez, por ser mi mayor inspiración y mi mejor confidente.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	10
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2 JUSTIFICACIÓN	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo general.....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4 MARCO TEÓRICO	14
4.1 Generalidades de la papa	14
4.2 Contenido nutrimental de la papa	15
4.2.1 Almidón resistente de la papa	17
4.3 Importancia socioeconómica de la producción de papa en México .	18
4.4 Indicadores de calidad de la papa para consumo fresco	20
4.4.1 Requisitos Mínimos de calidad de la papa	20
4.4.2 Requisitos mínimos de madurez	20
4.4.3 Defectos	21
4.4.4 Clasificación	23
4.4.5 Reclasificación	25
4.5 Economía circular	26
4.6 Sustentabilidad y Sostenibilidad	28
4.7 Desarrollo sostenible en la Industria Alimentaria y ODS12.....	29
4.8 Valor agregado	31
4.9 Tendencias de consumo en productos panificados	31
4.10 Harina de Arroz.....	32
4.10.1 Contenido nutrimental de la harina de arroz	33
4.10.2 Harina de arroz en panadería	34

5	<i>DISEÑO EXPERIMENTAL</i>	36
6	<i>METODOLOGÍA</i>	37
6.1	Plan de trabajo	37
6.2	Formulaciones preliminares	38
6.3	Recolección de la materia prima y acondicionamiento de la papa: ..	39
6.4	Obtención del puré	39
6.5	Elaboración de pan.....	40
6.6	Pruebas físicas	41
6.6.1	Humedad:	41
6.6.2	Textura:	42
6.7	Evaluación Sensorial	43
7	<i>RESULTADOS</i>	45
7.1	Elaboración del producto	45
7.2	Selección de producto final	47
7.3	Humedad.....	49
7.4	Textura	50
7.5	Color:	51
7.6	Análisis Sensorial	53
8	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	55
8.1	Humedad.....	55
8.2	Color	56
8.3	Textura	58
8.4	Análisis Sensorial	63
9	<i>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	65
10	<i>CONCLUSIÓN</i>	66
11	<i>PROYECCIÓN Y CONSIDERACIONES</i>	67
12	<i>BIBLIOGRAFÍAS</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Fisiología de Solanum Tuberosum	15
Figura 2. Papas con Viruela	22
Figura 3. Papas con defectos vs papas sanas.....	23
Figura 4. Clasificación de papas de acuerdo con su categoría.....	25
Figura 5. Lote de papas fuera de categoría.....	26
Figura 6. 7 objetivos de Desarrollo Sostenible.....	29
Figura 7. Harina de Arroz.....	33
Figura 8. Pan con harina de trigo vs pan con harina de arroz.....	35
Figura 9. Diagrama de proceso	37
Figura 10. Plantilla para prueba hedónica de aceptación	44
Figura 11. Materia prima recolectada.....	45
Figura 12. Acondicionamiento del tubérculo de papa	45
Figura 13. Elaboración del puré	46
Figura 14. Elaboración del pan (Mezcla de ingredientes)	46
Figura 15. Elaboración de pan (Horneado).....	47
Figura 16. Pruebas preliminares	48
Figura 17. Determinación de humedad con termobalanza	49
Figura 18. Análisis de textura TPA.....	50
Figura 19. Análisis de color en colorímetro	51
Figura 20. Análisis de color en Analyzer Color.....	52
Figura 21. Muestras de pan presentadas para el análisis sensorial.....	55
Figura 22. Mapa de colorimetría CIELAB.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido nutrimental de la papa	16
Tabla 2. Límites de peso y diámetro	24
Tabla 3. Límites de tolerancia por defectos graves	25
Tabla 4. Composición química de la harina de arroz	33
Tabla 5. Formulaciones preliminares	38
Tabla 6. Calidad sensorial del pan	47
Tabla 7. Resultados obtenidos contenido de humedad por termobalanza	49
Tabla 8. Resultados obtenidos prueba TPA.....	50
Tabla 9. Resultados obtenidos a través del colorímetro HunterLab	51
Tabla 10. Resultados obtenidos a través de Analyzer Color	52
Tabla 11. Escala hedónica de aceptabilidad	53
Tabla 12. Resultados obtenidos análisis sensorial	54
Tabla 13. Cálculos CIELAB	57
Tabla 14. Media, desviación estándar y moda.....	63

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La papa (*Solanum tuberosum*) es un cultivo muy importante para el sector agrícola, en México, el cultivo de papa se produce en toda la república, siendo Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Veracruz, Puebla y el Edo.Mx los principales estados productores. En el año 2019, la producción de papa fue de más de un millón 783 mil toneladas, siendo Sonora el estado con mayor área de cosecha del tubérculo produciendo más de 469 mil toneladas (secretaría de Agricultura de Desarrollo Rural [SADER], 2020). Sin embargo, se estima que existe una pérdida post cosecha del 25% debido a la incidencia e interacción de diversos factores físicos, fisiológicos y patológicos. De la producción total del tubérculo, el 28% se destina a la industria de las frituras, 15% a la producción especializada de semilla y el 56% al mercado fresco toneladas (SADER, 2020).

Los agricultores tienen que satisfacer ciertos criterios de calidad establecidos por las exigencias del mercado, de acuerdo con la norma CXS 339-2020 del Codex Alimentarius (2020), las papas para consumo fresco deben ser tubérculos intactos, sanos, estar exentos de plagas y daños causados por ellas que afecten al aspecto del producto, no presentar brotes, estar exentas de defectos externos e internos que afecten al aspecto general del producto, su calidad y presentación. Para su venta como producto fresco en la central de abastos las papas deben ser lavadas, cepilladas y encontrarse libres de tierra. De no cumplir con estos criterios, el vendedor no puede vender o comercializar el producto de ninguna forma más que de conformidad con la presente norma (Codex Alimentarius, 2020).

Debido a la problemática que representa la papa al considerarse una merma en la central de abastos, este producto pierde valor agregado en el mercado al ser ofertado como un desecho, teniendo impacto en el ámbito social, económico y

ambiental. Este proyecto busca implementar la economía circular y la valorización de este producto a través del desarrollo de un subproducto panificado.

2 JUSTIFICACIÓN

Los subproductos de papa de la central de abastos pueden ser aprovechados para la elaboración de nuevos productos alimenticios, generando nuevas oportunidades comerciales y contribuyendo al desarrollo de la economía circular de este sector.

De acuerdo con informes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2010), la papa puede ser utilizada en forma de puré para la elaboración de pan debido a su contenido nutrimental, el cual favorece el desarrollo de la levadura y promueven una fermentación activa que ejerce un efecto acelerador en la fermentación de la masa al ser mezclado con otra harina. Estudios de Glanbia Nutritionals (2024) revelan que las categorías de pan preferidas en 2024 son los panes con sabores innovadores, fortificados, gluten-free, artesanales y orgánicos.

En los últimos años, la harina de arroz es de las harinas más populares en la industria panadera debido a diversas cualidades. Alvis, Pérez y Arrazola (2011), afirman que el arroz es un cereal apto para preparar alimentos para personas celiacas o sensibles al gluten, por lo que la harina de arroz es una alternativa para la harina de trigo en la industria panadera.

Por ello, se considera que un pan de papa y harina de arroz sería un producto potencial en el mercado; pues el producto no solo utiliza los subproductos de la

industria de la papa para producir un alimento de valor agregado, sino que es un producto libre de gluten y de sabor innovador potencial ante las exigencias de los consumidores.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Elaborar un pan de papa con harina de arroz como una solución al desperdicio de la merma de papa, además de fortalecer la economía circular en la industria alimentaria.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de la formulación elegida.
- Evaluar las características sensoriales

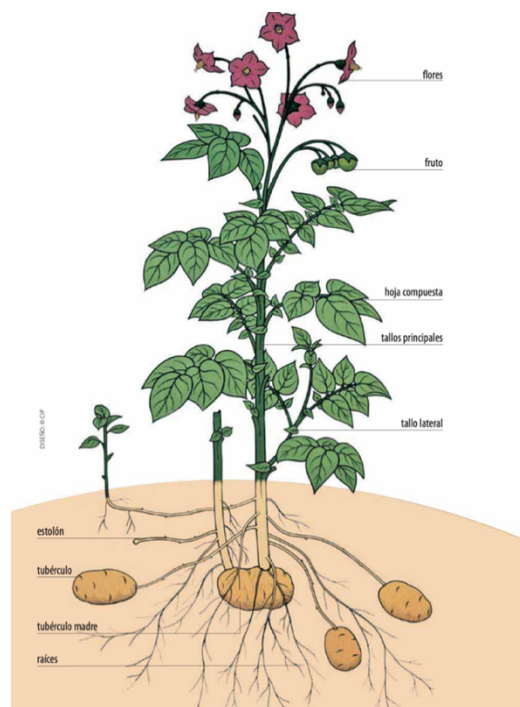
4 MARCO TEÓRICO

4.1 Generalidades de la papa

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta herbácea de la familia de floríferas solanáceas del género *Solanum*. Alcanza una altura de hasta un metro y produce el tubérculo conocido como papa, el cual es rico en almidón. Gracias a su alto contenido de almidón, la papa ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009).

A medida que crece, la planta de papa produce almidón en sus hojas, el cual se traslada hacia los estolones, los tallos subterráneos. Allí, estos tallos se engrosan y dan lugar a la formación de tubérculos cercanos a la superficie del suelo. La cantidad de tubérculos que logran madurar depende de factores como la humedad y los nutrientes disponibles en el suelo (FAO, 2009).

Figura 1 . Fisiología de *Solanum Tuberosum*



Nota: Fisiología y nombre de cada parte de la planta *Solanum Tuberosum* (FAO, 2009).

4.2 Contenido nutrimental de la papa

El tubérculo de papa está compuesto por aproximadamente 70%-75% de humedad y 25%-30% de materia seca, de la cual alrededor del 60-80% es almidón, específicamente amilosa y la amilopectina, además de celulosa, glucosa, sacarosa

y pectina, contiene de 1-2% de nitrógeno total en base seca, de este porcentaje, la mitad o un tercio está presente como proteína (Prada, 2012).

De acuerdo con Fígares (2022), en la actualidad la papa ha ganado una mala fama que se ha generado por su alto contenido en carbohidratos y su índice glucémico. Sin embargo, esto tiene muchos matices debido a que el aspecto más interesante en su alto contenido en carbohidratos es el almidón resistente, el cual ejerce una acción prebiótica dependiendo la forma de paración y consumo de la papa

Tabla 1. Contenido nutrimental de la papa

Cantidad por 100 gramos			
Calorías	85kcal	Vitamina C	16.0mg
Agua	76.7g	Zinc	0.30mg
Proteínas	2.0g	Sodio	2.0mg
Ácidos Grasos	0.1	Potasio	450.0mg
Carbohidratos	17.6	Calcio	5.0mg
Fibra	2.6g	Fósforo	50.0mg
Vitamina B1	0.11mg	Hierro	0.5mg
Vitamina B2	0.4mg	Magnesio	20.0mg
Vitamina B6	0.32mg	Cobre	0.20mg
Vitamina B11	20.0µg		

Nota: Contenido nutrimental de la papa basado en una cantidad de 100gr (Fígares, 2022).

4.2.1 Almidón resistente de la papa

El término almidón resistente, hace referencia a fracciones del almidón o a productos derivados de su degradación que no son absorbidos en el intestino delgado. En lugar de ser digeridos y absorbidos en esta región del aparato digestivo, estas partículas se trasladan hasta el intestino grueso, donde son sometidas a un proceso de fermentación por parte del microbiota intestinal. Esta fermentación genera, entre otros compuestos, ácidos grasos de cadena corta como el butirato, los cuales desempeñan un papel fundamental en la salud intestinal (Fígares, 2022).

Tipos de almidón resistente:

- **Almidón resistente tipo 1:** Físicamente inaccesible, presente en granos enteros y legumbres crudas.
- **Almidón resistente tipo 2:** Gránulos de almidón nativos, crudos, sin gelatinizar.
- **Almidón resistente tipo 3:** Almidón retrogradado.
- **Almidón resistente 4:** Almidón modificado sintéticamente (Fígares, 2022).

La papa en su estado crudo presenta gránulos de almidón en su forma nativa, en la cual las cadenas de amilosa y amilopectina están unidas mediante puentes de hidrógeno formando dobles hélices altamente organizadas. Aproximadamente el 75% del almidón se encuentra en esta forma resistente (almidón resistente tipo 2 o RS2), el cual a su vez no es digerible en este estado (Fígares, 2022).

No obstante, durante el proceso de cocción de la papa se produce la gelatinización del almidón, un fenómeno en el que el aumento de temperatura provoca la ruptura de los enlaces de hidrógeno que mantienen unidas las cadenas

de amilosa y amilopectina. Esta alteración estructural permite que las cadenas se asocien con el agua, formando un gel. Como resultado de la gelatinización, el almidón se vuelve más accesible para la digestión, eliminándose una parte significativa del almidón resistente y elevando su índice glucémico (Fígares, 2022).

Sin embargo, es posible aumentar nuevamente el contenido de almidón resistente mediante la refrigeración de la papa. Al enfriarse el almidón previamente gelatinizado, éste vuelve a reorganizarse y recuperar su estructura cristalina. Las cadenas de amilosa y amilopectina se unen nuevamente, formando puentes de hidrógeno entre ellas, lo que provoca la expulsión de agua de la red cristalina en un proceso denominado sinéresis. Este reordenamiento hace que el almidón se vuelva más difícil de digerir (resistente), lo que permite que llegue al intestino grueso, donde será fermentado (Fígares, 2022).

De esta manera, cuando la papa se cuece y luego se refrigera durante 24 horas, adquiere un alto contenido de almidón resistente tipo 3, aunque también presenta un porcentaje reducido de almidón resistente tipo 2 (Fígares, 2022).

4.3 Importancia socioeconómica de la producción de papa en México

Informes de SADER (2023) indican que México es uno de los principales productores de papa en América Latina, con una producción anual que supera los 2 millones de toneladas, se menciona que la papa se siembra en más de 60,000 hectáreas en varios estados del país, destacándose Chihuahua, Sonora, Sinaloa, y Guanajuato como los mayores productores. La papa es un cultivo clave para la seguridad alimentaria y la economía rural en estas regiones, además de ser una fuente importante de empleo en actividades como la cosecha, el empaque, y la comercialización (SADER, 2023).

Otros autores como Cabrera (2019), afirman que el cultivo de papa es uno de los más importantes en México, pues en el año 2022 la superficie cosechada fue de 60,102 hectáreas; con una producción de 1,878,976 toneladas, un rendimiento de 31.27 ton/ha. y un valor de la producción de \$16,172,975.00 miles de pesos.

Debido a las condiciones climáticas favorables, en México la papa se produce durante todo el año, desde zonas que se encuentran a nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2,500 msnm. Este suministro se obtiene a través de dos ciclos productivos: Primavera-Verano (abril a septiembre) y Otoño-Invierno (octubre a marzo), siendo el primero el más importante ya que produce el 60% de la producción total anual. Puede llevarse a cabo en condiciones de temporal o de riego, especialmente en estados como Puebla, Veracruz y el Estado de México, que producen durante todo el año (CONPAPA, 2023).

El cultivo de papa implica diversas labores, como siembra, cuidado, cosecha y comercialización, en las que el factor humano es crucial. Este cultivo tiene un fuerte impacto económico en las zonas rurales donde se produce, así como otras regiones del país debido a la migración temporal hacia los lugares de producción durante la época de cosecha, impulsada por la alta demanda de mano de obra. De acuerdo con informes de CONPAPA (2023), en el país existen alrededor de 8,700 agricultores productores de papa, de los cuales el 80-85% son pequeños productores, 5% son medianos y grandes productores y el resto es de subsistencia. Este sector sustenta a 77,800 familias y genera anualmente alrededor de 17,500 empleos directos, 51,600 indirectos y 7 millones de jornales la mayoría de los trabajadores son indígenas y jornaleros agrícolas de escasos recursos, de todas las edades y géneros.

De la producción nacional, el 29% de la producción se destina para la industria de las botanas, el 56% para el consumo en fresco y el 15% se producen bajo condiciones especiales para ser utilizada como semilla. (CONPAPA, 2023)

4.4 Indicadores de calidad de la papa para consumo fresco

4.4.1 Requisitos Mínimos de calidad de la papa

De acuerdo con la norma CXS 339-2020 del Codex Alimentarius (2017), en todas las categorías a reserva de disposiciones y las tolerancias permitidas, las papas de consumo fresco deben ser papas intactas, sanas, tener un aspecto fresco, tener consistencia firme, estar limpias y exentas de cualquier materia extraña visible, estar exentas de plagas y daños causados por ellas que afecten al aspecto general del producto, estar exentas de humedad externa anormal salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica, estar exentas de cualquier olor, exentas de daños causados por bajas y/o altas temperatura, no presentar ningún tipo de brote, es decir, brotes no mayores a 3 mm de largo, las papas deben estar exentas de defectos externos e internos que afecten al aspecto general del producto, su calidad y presentación (Codex Alimentarius, 2017).

4.4.2 Requisitos mínimos de madurez

Las papas maduras son aquellos tubérculos provenientes de plantas que han alcanzado su desarrollo fisiológico normal y cuya epidermis no se desprende fácilmente con los métodos ordinarios de manejo (Servicio Nacional de calidad y sanidad Vegetal y de Semillas [SENAVE], 2012). Las papas de consumo fresco deberán ser tubérculos maduros y suficientemente desarrollados, con formación de

piel sana teniendo en cuenta las características de la variedad y/o tipo comercial y la zona en que se producen (Codex Alimentarius, 2017).

4.4.3 Defectos

De acuerdo con la SENAVE (2012), se define como defecto a toda alteración causada por factores de naturaleza fisiológica, mecánica o biológica que compromete la calidad del producto. Por otra parte, define como defectos graves a aquellos cuya incidencia sobre el tubérculo comprometen seriamente la apariencia, conservación, calidad del producto, y por lo tanto restringiendo el uso de este. Los defectos graves son:

- Pudrición Húmeda o Blanda: Causada por bacterias (*Erwinia* sp). Los tejidos se vuelven húmedos, blandos, de un color entre crema y castaño y es fácil separar el tejido enfermo del sano (SENAVE, 2012).
- Pudrición Seca: Causado por hongos (*Fusarium* sp). En consecuencia, aparecen anillos concéntricos típicos en la superficie del tubérculo y el micelio externo es evidente. El tubérculo se seca y endurece (SENAVE, 2012).
- Corazón Negro: Se presenta ennegrecimiento en el centro del tubérculo a consecuencia de una deficiencia aguda de oxígeno, asociada con una temperatura baja en un almacén cerrado o con temperaturas altas del suelo en el campo (SENAVE, 2012).
- Corazón Hueco: Se origina a causa de la irregularidad en el suministro del agua y debido a ello el tubérculo presenta una zona hueca (SENAVE, 2012).

- Verdeo o Verdeamiento: El tubérculo adquiere una coloración verdosa por la acumulación de clorofila en la parte expuesta al sol. Es causado por la exposición del tubérculo al sol debido al aporque deficiente (SENAVE, 2012).
- Quemado: Lesión causada en el tubérculo que presenta área descolorida y/o necrosada, provocada por la acción del sol, y altas o bajas temperaturas (SENAVE, 2012).
- Deformación: Importante o severa desuniformidad del tubérculo durante su desarrollo, que puede generar formas con extremos pronunciados, curvaturas, protuberancias o puntas que afecten la apariencia o la calidad de este (SENAVE, 2012).
- Viruela: Manchas o lesiones parduscas que se convierten en costras.
- Rajadura: Es toda lesión continua sobre la epidermis del tubérculo de papa producido por causas fisiológicas, mecánicas o biológicas (SENAVE, 2012).
- Daño Superficial: Lesión de origen mecánico, fisiológico o causado por plagas no afectan seriamente al tubérculo y los tejidos en una profundidad menor de 0,5cm (SENAVE, 2012).

Figura 2. Papas con Viruela



Nota: Papa clasificada con defectos de viruela (Autoría propia, 2024)

Figura 3. Papas con defectos vs papas sanas



Nota: Comparación de papas con defectos como verdeamiento, viruela y quemado vs papas sanas (Autoría propia, 2024)

4.4.4 Clasificación

Las papas de consumo fresco pueden clasificarse o calibrarse por diámetro, peso, o de acuerdo con las prácticas comerciales existentes. Cuando se clasifican por diámetro ecuatorial o por peso, estas clasificaciones ayudan a asegurar que las papas se adapten a las expectativas del mercado y a las prácticas comerciales establecidas (Codex Alimentarius, 2017). De acuerdo con la Tabla 2. *Límites de peso y diámetro para cada categoría*, Las papas de consumo fresco se clasifican en las siguientes categorías: Categoría "extra", categoría I y categoría II (SENAVE, 2012).

Tabla 2. Límites de peso y diámetro

Categoría	Tamaño	Peso (gr)	Diámetro (mm)
Extra	Extragrande	+500	+100
I	Grande	300-500	75-80
II	Mediana	120-300	45-75

Nota: Clasificación del tubérculo de papa de acuerdo con el límite de peso, tamaño y diámetro establecidos (SENAVE, 2012).

- **Categoría Extra:**

Las papas clasificadas en esta categoría deberán ser de calidad superior. Deberán tener la pulpa firme y presentar la forma, el aspecto y el desarrollo característicos de la variedad, además de cumplir con los estándares establecidos (SENAVE, 2012).

- **Categoría I:**

Las papas clasificadas en esta categoría deberán ser de buena calidad, suficientemente firmes y presentar las características de la variedad. (SENAVE, 2012).

- **Categoría II:**

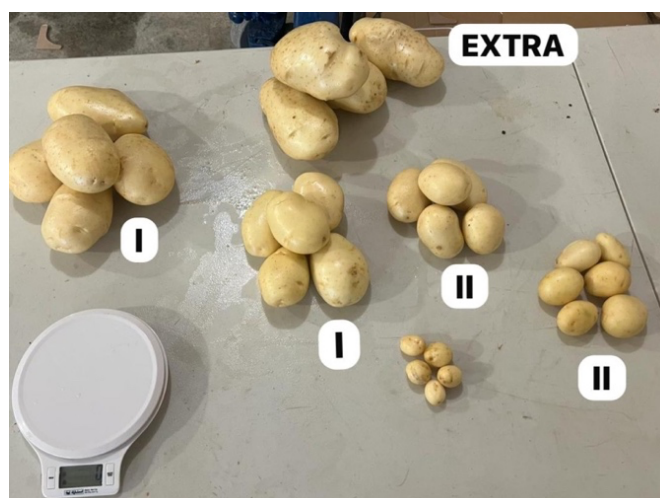
Esta categoría comprenderá las papas que no puedan clasificarse en las categorías Extra y I, pero que cumplan con los requisitos mínimos establecidos en la tabla No.3 (SENAVE, 2012).

Tabla 3. Límites de tolerancia por defectos graves

Categoría	DEFECTOS GRAVES					
	Pudrición	Corazón Negro	Pudrición Seca	Corazón Hueco	Verdeo	Daño profundo
Extra	0%	1%	0%	1%	2%	1%
I	0%	2%	0%	2%	3%	1%
II	0%	3%	0.5%	3%	5%	2%

Nota: Límites máximos de tolerancia de defectos por categoría expresado en porcentaje (%) (SENAVE, 2012).

Figura 4. Clasificación de papas de acuerdo con su categoría



Nota: Clasificación de la papa de acuerdo con los datos establecidos por la SENAVE (2012), (Autoría propia, 2024).

4.4.5 Reclasificación

Se considera **Fuera de Categoría** al lote de papas que excede los límites máximos establecidos para la Categoría II, debiendo ser reclasificado y encuadrado en una de las tres categorías correspondientes o, en su defecto, clasificado

nuevamente como fuera de categoría. No obstante, no se permitirá la reclasificación ni la comercialización para consumo fresco los lotes de papas catalogado como Fuera de Categoría si presenta más del 10% de podredumbre o más del 20% de verdeo (Codex Alimentarius, 2017).

Figura 5. Lote de papas fuera de categoría



Nota: Lote de papas clasificado como fuera de categoría debido al alto porcentaje de defectos graves (Autoría propia, 2024).

4.5 Economía circular

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021), la economía circular (EC) es un modelo de producción y consumo que implica reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido.

La procuraduría federal del consumidor (PROFECO, 2021) indica que la economía circular busca limitar la generación de residuos y aprovecharlos como

recursos, plantea un enfoque que permite estimular el crecimiento económico revolucionando la forma en que diseñamos, producimos y consumimos sin comprometer al medio ambiente. Las oportunidades de creación de valor en el marco de la economía circular se clasifican en los ciclos técnicos y biológicos (PROFECO, 2021). En el ciclo técnico, se pretende que los materiales y productos fabricados por el humano permanezcan el mayor tiempo posible en uso. Por otro lado, en el ciclo biológico después de haber pasado por múltiples usos, se pretende que los materiales regresen a la naturaleza de forma segura devolviendo así los nutrientes a la tierra y a los ecosistemas naturales (ONU, 2021).

Actualmente, la industria alimentaria en México está enfocada en la economía circular como una estrategia clave para lograr una producción más sostenible. Este enfoque busca implementar sistemas más eficientes que fomenten:

- Aprovechamiento de las materias primas
- Eficiencia en los procesos
- Reducción de desperdicios
- Impacto positivo al medio ambiente (García, 2023).

Informes de García (2023), afirman que, de acuerdo con el Clúster Agroalimentario de Nuevo León, en la industria alimentaria existe un "mundo de residuos" que incluye desde frutas y verduras hasta tarimas, cartón, cofias, plásticos y residuos de empaques. La especialista señala que, al abordar la economía circular en este sector, es fundamental tener en cuenta todos estos residuos, los cuales no son estrictamente desechos alimentarios.

Sin embargo, México aún no cuenta con un marco de ley general o paquete de políticas públicas de alcance nacional, orientadas a facilitar la transición hacia una EC como modelo de desarrollo sustentable (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2024).

4.6 Sustentabilidad y Sostenibilidad

La sustentabilidad se entiende como un proceso cuyo propósito busca alcanzar un equilibrio entre el medio ambiente y la utilización de los recursos naturales. El concepto de sostenibilidad reconoce que el medio ambiente no es un recurso ilimitado, a lo largo de los años en el planeta la humanidad ha deteriorado los recursos naturales de manera significativa, por lo que en la actualidad se busca conscientizar el consumo de éstos mismos de manera responsable para asegurar su disponibilidad en el futuro. (Leduc, 2022)

National Geographic (2023) señala que el objetivo del desarrollo sostenible es atender las necesidades del presente sin comprometer las oportunidades futuras, manteniendo un equilibrio entre el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente. No obstante, a pesar de los beneficios que puede traer el desarrollo, una gran parte del crecimiento actual sigue siendo insostenible. Ante esta situación, los miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se reunieron en 2015 y transformaron su visión de futuro en un plan concreto para alcanzarlo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda comprende 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con 169 metas que abarcan las dimensiones económica, social y ambiental, además de una serie de acciones específicas destinadas a ofrecer soluciones a los problemas

identificados, destacando la economía circular como una herramienta clave para lograr dichos objetivos (Fundación del Empresariado Chihuahuense, 2024).

4.7 Desarrollo sostenible en la Industria Alimentaria y ODS12

National Geographic (2023) señala que el objetivo del desarrollo sostenible es atender las necesidades del presente sin comprometer las oportunidades futuras, manteniendo un equilibrio entre el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente. No obstante, a pesar de los beneficios que puede traer el desarrollo sostenible, una gran parte del crecimiento actual sigue siendo insostenible, ante esta situación, los miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se reunieron en 2015 y transformaron su visión de futuro en un plan concreto para alcanzarlo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda comprende 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con 169 metas que abarcan las dimensiones económica, social y ambiental, además de una serie de acciones específicas destinadas a ofrecer soluciones a los problemas identificados, destacando la economía circular como una herramienta clave para lograr dichos objetivos (Fundación del Empresariado Chihuahuense, 2024).

Figura 6. 7 objetivos de Desarrollo Sostenible



Nota: 17 Objetivos del Del Desarrollo Sostenible con imágenes ilustrativas (ONU,2015).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 tiene como propósito fomentar patrones de consumo y producción sostenibles. Esto implica asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente y que los desechos sean reducidos, promoviendo el uso de tecnologías limpias y prácticas sostenibles en todas las etapas de la producción y el consumo. Además, busca mejorar la gestión de los recursos naturales y disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente, favoreciendo la sostenibilidad económica y social a largo plazo (ONU, 2015).

Actualmente, la industria alimentaria está centrando sus esfuerzos en prácticas más sostenibles, desde la producción hasta el embalaje, con el fin de reducir la huella de carbono y disminuir el desperdicio de alimentos. Esta tendencia está llevando a los fabricantes de alimentos a priorizar la ecoeficiencia, especialmente en la reducción de los desechos de alimentos y plásticos. La utilización de materiales biodegradables en el empaquetado y la implementación de estrategias para reducir el desperdicio en la cadena alimentaria son ejemplos claros de cómo la sostenibilidad está remodelando y estableciendo mejores prácticas en el sector alimentario. Además, los consumidores están cada vez más interesados en que las empresas inviertan en sustentabilidad, y ahora se espera que no solo utilicen envases reciclables, sino que también garanticen que todo el ciclo de vida del producto sea sostenible. Esto implica que el proceso sustentable comience desde las prácticas agrícolas hasta las fábricas eficientes en el uso de

recursos, abarcando el desperdicio de alimentos y la reducción del desperdicio de envases (Vega, 2024).

4.8 Valor agregado

El valor agregado se refiere al valor económico que adquiere un bien cuando es modificado en su marco de proceso productivo, o bien, es el valor económico que el proceso de producción le suma a un bien (Pérez y Garde, 2021).

En el sector Agropecuario se relaciona con la transformación de la materia prima en un producto, dando un mayor valor comercial sin perder de vista la calidad de su origen. Comúnmente para agregar valor a los productos agropecuarios éstos se someten a procesos relacionados con la conservación y transformación, lo cual significa que el producto fresco es sometido a operaciones simples de postcosecha. FIRCO (2017).

4.9 Tendencias de consumo en productos panificados

El sector de alimentos y panificación se enfrenta a un panorama en constante evolución, marcado por tendencias globales y regionales que están transformando la forma en que las empresas gestionan la producción, distribución y comercialización de sus productos (Cubas, 2025).

Estudios de Glanbia Nutritionals (2024) revelan que los consumidores cada vez muestran un mayor interés por productos artesanales y naturales, impulsados por una mayor conciencia sobre la calidad de los ingredientes, su impacto ambiental, la sostenibilidad y su procedencia, consumidores que buscan experiencias únicas y personalizadas. Las categorías de pan preferidas son los panes con sabores innovadores, fortificados, gluten-free, artesanales y orgánicos. Entre los componentes más deseados se encuentran las harinas alternativas a la

harina de trigo, que brinden diferentes texturas, promuevan sabores diferentes o con mejor contenido nutrimental (Glanbia Nutritionals, 2024).

Cubas (2025), destaca que la creciente presión por reducir el impacto ambiental está impulsando a la industria a adoptar prácticas más sostenibles como el uso de envases biodegradables, la gestión eficiente de residuos y la reducción del desperdicio alimentario. Lo que antes se consideraba un beneficio adicional, ahora se ha convertido en un factor esencial, con un peso creciente en la percepción de los consumidores y en las políticas gubernamentales.

Frente a esta situación, la industria de alimentos y panificación ha adoptado prácticas de sostenibilidad y economía circular para enfrentar los desafíos ambientales y responder a las demandas de consumidores conscientes. Siguiendo los principios de la economía circular que promueven la reutilización de residuos alimentarios para crear nuevos productos, varios subproductos se han transformado en ingredientes funcionales e innovadores. Algunos de ellos incluyen residuos del procesamiento de granos, como el salvado de trigo o avena que se reutilizan para enriquecer productos de panificación con fibra y nutrientes, así como pulpa de frutas y vegetales sobrante de jugos o purés (Cubas, 2025).

Estas prácticas no solo contribuyen a reducir el desperdicio, sino que también añaden valor a los productos finales, mejorando sus propiedades funcionales y generando innovación entre los consumidores (Cubas, 2025).

4.10 Harina de Arroz

La harina de arroz se obtiene al moler granos de arroz, obteniendo como resultado un producto con las mismas características nutricionales que las del arroz del que se obtiene, ya sea blanco, integral o glutinoso. Es especialmente popular en Japón,

donde se llama mochiko, así como en India y otros países asiáticos. Se utiliza eficazmente en la preparación de tempuras, fideos, rebozados y para espesar salsas y estofados, gracias a su alto contenido de almidón. Al ser naturalmente libre de gluten, es una harina adecuada para celíacos o para dietas libres gluten (Pérez, 2023).

Figura 7. Harina de Arroz



Nota: Imagen ilustrativa de la harina de arroz (Leal, 2023)

4.10.1 Contenido nutrimental de la harina de arroz

De acuerdo con la U.S Department of Agriculture (USDA, 2018), por cada 100 gramos de arroz blanco el contenido nutrimental es el siguiente:

Tabla 4. Composición química de la harina de arroz

Cantidad por 100 gramos					
Calorías	348kcal	Zinc	0.8mg	Vitamina E	0.11mg

Grasas totales	1.4g	Hierro	0.4mg	Tiamina	0.138mg
Ácidos grasos saturados	0.4g	Selenio	15.1 µg	Riboflavina	0.021mg
Colesterol	0g	Magnesio	35mg	Niacina	2.59mg
Carbohidratos	80g	Calcio	10mg	Ácido Pantoténico	0.819mg
Proteínas	6g	Fósforo	98mg	Folato total	4µg
Sodio	0g	Cobre	0.13mg	Ácido fólico	0µg
Fibra	2.4g	Manganeso	1.2mg	Colina	5.8mg
Potasio	6g	Vitamina B6	0.4mg		

Nota: Contenido nutrimental en 100gr de harina de arroz (USDA, 2018).

4.10.2 Harina de arroz en panadería

La harina de arroz tiene diversas propiedades que la hacen apta para la elaboración de pan en sustitución de la harina de trigo. Desde el punto de vista tecnológico, debido a su alto contenido en almidón, el almidón de arroz ayuda a afinar cualquier tipo de textura en productos horneados (dureza, crujido, fragilidad, suavidad). Mejora el carácter crujiente de los productos horneados finos como las galletas, además, también mejora la suavidad de la miga y la frescura de los productos horneados blandos como pasteles y muffins. Controla la migración de la humedad en el relleno de productos horneados a base de agua, y en los rellenos de nata estabiliza la grasa, entre otros usos, las proteínas presentes en la harina de arroz están compuestas mayoritariamente por albúminas y globulinas, y de una proporción insignificante de prolaminas, las cuales están implicadas en la formación

del gluten. Por tanto, al ser una harina libre de gluten, es adecuada para la dieta de personas celíacas o sensibles al gluten (Braz, 2016).

La harina de arroz se perfila como una alternativa prometedora en panadería sin gluten, destinada a personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten. Su bajo contenido de proteínas formadoras de gluten permite obtener panes con buena calidad sensorial, aunque requiere mejoradores tecnológicos o mezclas adicionales para compensar la falta de red glutínica (Rosell, 2008). Estos panes suelen presentar menor volumen y una miga más densa comparados con los de trigo, motivo por el cual investigaciones recientes buscan optimizar sus propiedades mediante agentes leudantes (Sciarini, 2010). Por lo tanto, la panificación con harina de arroz constituye una estrategia innovadora y saludable para ampliar la oferta de productos aptos para consumidores con restricciones alimentarias.

Figura 8. Pan con harina de trigo vs pan con harina de arroz



Nota: Comparación entre pan elaborado con harina de trigo y pan elaborado con harina de arroz. El pan con harina de trigo presenta mayor volumen, elasticidad y alveolos más desarrollados, mientras que el pan con harina de arroz exhibe una miga más densa y compacta debido a la ausencia de gluten (Bosch, 2023).

5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el diseño experimental de pan a base de puré de papa y harina de arroz se adoptó un enfoque sistemático con el objetivo de lograr resultados precisos, eficientes y coherentes aprovechando las ideas de la investigación existente sobre formulaciones de pan sin gluten.

El diseño se centró en la variación de las proporciones entre puré de papa y harina de arroz, con el objetivo de seleccionar un prototipo final mediante pruebas preliminares. Las formulaciones evaluadas incluyeron proporciones de 50:50 y 60:40, lo que permitió analizar el efecto de dichas variaciones en las características del producto final. Cada formulación fue replicada tres veces para garantizar la confiabilidad de los resultados, obteniéndose un total de seis unidades experimentales preliminares.

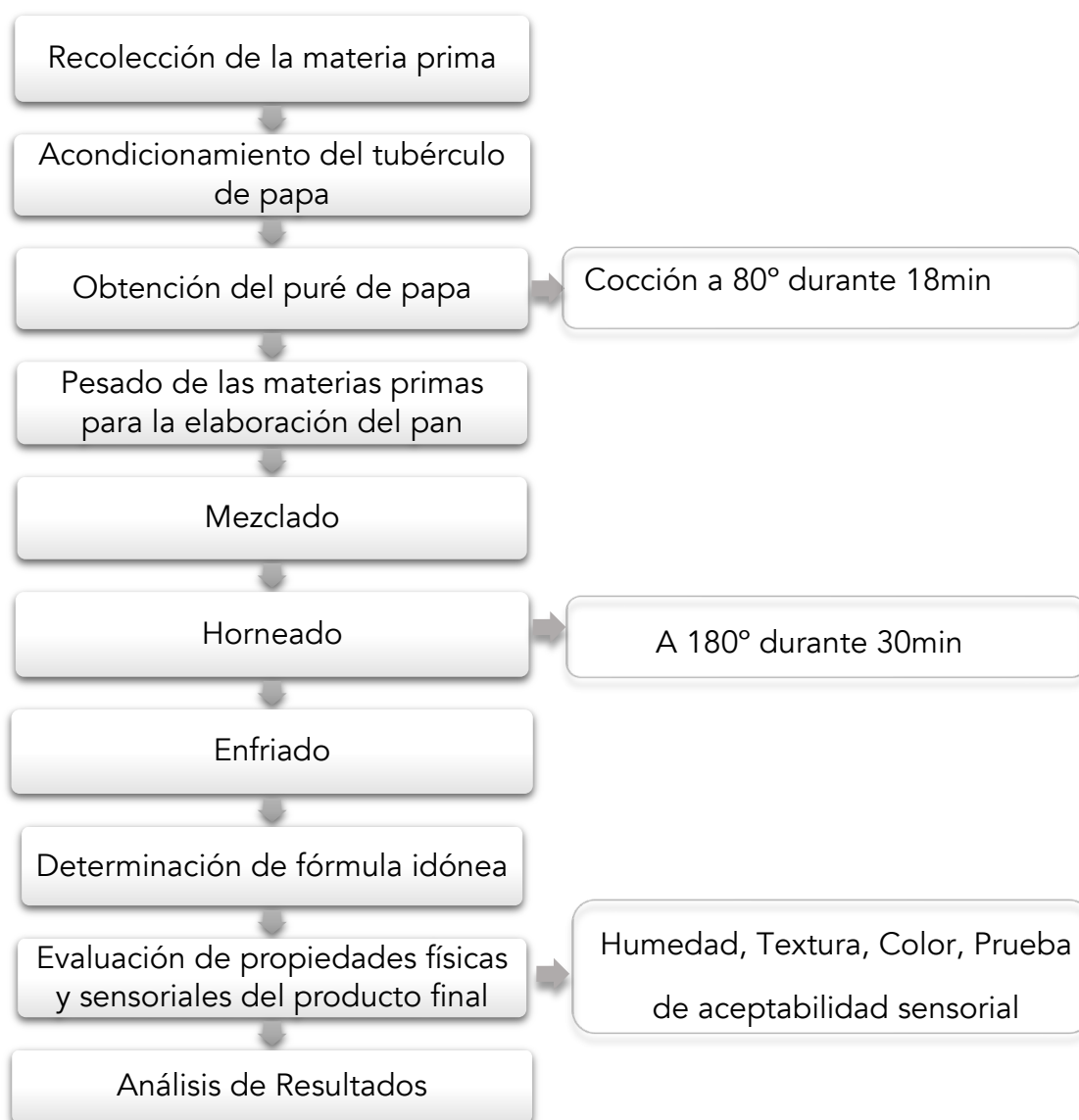
A partir de las repeticiones, se determinó que la formulación óptima correspondía a la proporción 50:50. Sobre esta base, se procedió a realizar las siguientes evaluaciones por duplicado:

- Propiedades físicas: Se evaluó el volumen del pan, la textura, el color y el contenido de humedad para determinar las propiedades físicas del producto.
- Evaluación sensorial: Se aplicó una prueba hedónica de aceptabilidad de 5 puntos con el objetivo de evaluar la aceptabilidad del consumidor en función del olor, sabor y textura del producto.

6 METODOLOGÍA

6.1 Plan de trabajo

Figura 9. Diagrama de proceso



Nota: El diagrama de proceso corresponde a la metodología que se ejecutó a lo largo de todo el proceso (Autoría propia, 2025).

6.2 Formulaciones preliminares

La formulación del pan a base de puré de papa se desarrolló planteando dos formulaciones preliminares con base a de diferentes porcentajes de puré de papa, harina de arroz y otros constituyentes. A continuación, la tabla 5 muestra las formulaciones propuestas:

Tabla 5. *Formulaciones preliminares*

Formulaciones Preliminares			
Formulación A (50/50)		Formulación B (60/40)	
Componente:	%	Componente:	%
Puré de papa	32.5%	Puré de papa	39.02%
Harina de arroz	32.5%	Harina de Arroz	26.01%
Sal	0.9%	Sal	0.9%
P. para hornear	1.6%	P. para hornear	1.6%
Goma Xantana	0.6%	Goma Xantana	0.6%
Azúcar	4.8%	Azúcar	4.8%
Aceite de olivo	3.2%	Aceite de olivo	3.2%
Huevo	9.7%	Huevo	9.7%
Leche	13%	Leche	13%
Vinagre de mzna	0.8%	Vinagre de mzna	0.8%

Nota: En la columna izquierda se encuentra la formulación preliminar A en proporción 50:50, mientras que en la columna derecha se encuentra la formulación preliminar B en proporción 60:40 (Autoría propia, 2025).

6.3 Recolección de la materia prima y acondicionamiento de la papa:

La materia prima papa (*Solanum tuberosum*), se recolectó en el local 23 de la Central de Abastos de la ciudad de Puebla un día previo al desarrollo de los prototipos y pruebas experimentales. Dado que el lote recolectado no cumplía con los estándares establecidos para venta de productos frescos, se llevó a cabo una selección manual. En esta etapa se eliminaron aquellas papas que presentaban defectos severos, tales como signos evidentes de podredumbre o un grado de verdeamiento superior al 40 % de la superficie.

Posteriormente, se realizó un lavado por inmersión empleando detergente neutro, con el objetivo de eliminar residuos e impurezas físicas externas, asegurando así una materia prima en condiciones higiénico-sanitarias adecuadas para su posterior procesamiento.

6.4 Obtención del puré

Una vez seleccionadas, las papas fueron sometidas a un proceso de preparación adicional, en el cual se eliminaron manualmente las impurezas y lesiones visibles que pudieran comprometer la integridad física del tubérculo. La pulpa considerada apta para su procesamiento fue cortada en cubos de aproximadamente 2 cm × 2 cm, con el fin de facilitar una cocción homogénea.

El material troceado fue cocido en agua en ebullición a una temperatura controlada de 80 °C durante un periodo de 18 minutos. Al concluir la cocción, el producto fue escurrido mediante un colador, eliminando completamente el exceso de agua.

Para la elaboración del puré, se empleó un procesador de alimentos marca NINJA, modelo BL710WM, con una potencia de 1000 W. La materia prima cocida

fue procesada hasta obtener un puré de consistencia uniforme y textura pastosa, adecuado para su incorporación en las formulaciones panificadas.

6.5 Elaboración de pan

Conforme a lo establecido en la *Tabla 5. Formulaciones preliminares*, se pesaron todos los ingredientes de manera individual, posteriormente, en un contenedor se mezclaron los ingredientes húmedos (leche, vinagre de manzana, huevo, aceite de olivo, puré de papa) hasta obtener una mezcla homogénea, mientras que en otro contenedor se mezclaron todos los ingredientes secos. Una vez preparadas ambas mezclas, los ingredientes secos se incorporaron gradualmente a la mezcla húmeda, y se mezclaron durante aproximadamente un minuto, hasta obtener una pasta de consistencia uniforme.

Para el proceso de horneado, se precalentó el horno a una temperatura de 185 °C (360 °F). Se utilizó un molde de aluminio previamente engrasado con aceite en aerosol, en el cual se vertió la mezcla. El horneado se realizó durante un periodo de 30 minutos. Al finalizar la cocción, el pan fue retirado del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 20 minutos. Finalmente, se procedió al desmolde del producto.

La selección de la formulación idónea se determinó de acuerdo con los siguientes atributos:

- Color: Se tomó en cuenta el pan que tuviera una corteza con color uniforme, dorado y de apariencia agradable.
- Olor: Se valoró el pan que presentó mejor aroma, con notas harinosas y no terrosos o de humedad.

- Sabor: Se consideró el pan que presentó mejor sabor, con características neutras, así como una buena adhesividad en la boca
- Textura: Se contempló el pan que presentó óptimas características de textura, con corteza y miga uniformes, además de una humedad aceptable

Una vez que se eligió la formulación idónea (50:50), se procedió a realizar las pruebas físicas anteriormente planteadas, así como una prueba hedónica de aceptabilidad sensorial.

6.6 Pruebas físicas

6.6.1 Humedad:

Se determinó la humedad a través de la termobalanza modelo DSH-50-10. De acuerdo con Toledo M. (2015), la termobalanza funciona conforme al principio de análisis termogravimétrico, lo que implica que el equipo primero registra el peso inicial de la muestra, y posteriormente mediante una lámpara halógena lleva a cabo el secado. Durante este procedimiento, una balanza integrada mide de forma continua la variación de peso. La disminución total del peso se interpreta como el contenido de humedad de la muestra. A diferencia del método convencional de secado en estufa, en el cual el calentamiento se produce por convección y requiere un tiempo prolongado, en este sistema la muestra absorbe directamente el calor emitido por la lámpara halógena, lo que permite un calentamiento significativamente más rápido Toledo M, (2015).

Para llevar a cabo el procedimiento, se calibró previamente la termobalanza a una temperatura de 120 °C. A continuación, se pesó una porción de muestra de

1 gramo, la cual fue colocada en la charola del equipo. Una vez cerrada la tapa de la termobalanza, se registró el peso inicial de la muestra para dar inicio al análisis.

Dado que no se contaba con información previa sobre el tiempo requerido para alcanzar un peso constante, se procedió a monitorear el proceso en intervalos de 5 minutos con el fin de observar la evolución del peso hasta estabilizarse. Una vez que sonó la alarma de finalización de la termobalanza se hizo la lectura de los resultados, finalmente, se realizaron dos repeticiones del proceso, ambas por duplicado.

6.6.2 Textura:

El Análisis de Perfil de Textura (TPA) es utilizado en la ciencia de los alimentos para evaluar las propiedades texturales. El ensayo consiste en un ciclo de compresión doble sobre una muestra de tamaño similar a un bocado, utilizando una sonda de compresión que simula la acción de morder. Los datos se extraen de la curva de fuerza-tiempo resultante para proporcionar una serie de parámetros texturales que correlacionan de manera efectiva con la evaluación sensorial de dichos parámetros, en el pan se realiza para evaluar su textura y esponjosidad utilizando un texturómetro (Universidad autónoma de valencia, 2017).

La prueba se realizó a través del analizador de textura (TA. XT plus). Para obtener resultados confiables, lo primero que se realizó fue asegurarse que el texturómetro se encontraba calibrado correctamente antes de realizar la prueba.

Se cortó una porción de pan de tamaño uniforme de aproximadamente 2-5cm de lado, posteriormente, se colocó la muestra en la base del texturómetro y éste se configuró para realizar la prueba de compresión, se seleccionó el tipo de

prueba y la velocidad de compresión. El dispositivo aplicó una fuerza de compresión a la muestra hasta que se deformó, evitando que esta se rompiera, posteriormente, la computadora arrojó los valores obtenidos. Se realizaron pruebas por duplicado para obtener resultados más representativos. Color:

El color se evaluó para determinar la uniformidad y atractivo del pan. Se midió mediante un colorímetro de laboratorio ColorFlex EZ- Hunter Lab y a través de la aplicación Analyzer color. Para la prueba en colorímetro se colocó la muestra de pan en la plataforma de medición del colorímetro. Posteriormente se cerró la tapa del dispositivo para evitar la interferencia de la luz del ambiente, se realizó la medición y se registraron los valores, posteriormente se realizó la prueba por duplicado.

Para la prueba realizada con la aplicación Analyzer Color se cortó una muestra significativa de pan y se colocó en un área blanca e iluminada para que la aplicación pudiera interpretar los datos de la muestra, posteriormente, se realizó por duplicado el mismo proceso para obtener resultados más confiables.

6.7 Evaluación Sensorial

Se llevó a cabo una prueba hedónica de aceptabilidad aplicada a 30 jueces no entrenados, pero consumidores habituales de pan, con el objetivo de evaluar las percepciones de los consumidores sobre el producto y determinar su nivel de aceptación en función del aroma, sabor y textura. El pan fue cortado en porciones de aproximadamente 1.5 cm x 1.5 cm y se presentó con una pequeña cantidad de mantequilla sobre cada pieza, colocadas en capacillos blancos identificados con el código A01.

A cada juez se le proporcionó una papeleta correspondiente a la prueba, junto con un vaso de agua para neutralizar el paladar previamente a realizar el análisis. La prueba se evaluó a través de una escala de nivel de agrado las variables de olor, sabor y textura, aplicando una escala hedónica de 5 puntos (1=disgusta mucho; 2=disgusta; 3= ni gusta ni disgusta; 4= gusta y 5= gusta mucho) (Calvo M. et.al, 2020).


Figura 10. Plantilla para prueba hedónica de aceptación

PRUEBA HEDÓNICA DE ACEPTACIÓN DE 5 PUNTOS

Nombre: _____

Edad: _____

Fecha: _____



Instrucciones:

Frente a usted se presenta una muestras de pan. Por favor, observe y antes de iniciar la prueba tome un sorbo de agua para limpiar su paladar y evitar que los sabores se mezclen. Mientras prueba la muestra, califique qué tan agradable o desagradable le parece cada atributo según la escala que se encuentra en la tabla de la izquierda. Después, anote el número que corresponda en la línea del código de la muestra, según lo indicado en la tabla de la derecha.

Puntaje	Nivel de agrado
1	Disgusta Mucho
2	Disgusta
3	Ni gusta ni disgusta
4	Gusta
5	Gusta Mucho

Muestra	Calificación para cada atributo		
	Olor	Sabor	Textura
A01			

¡¡Muchas gracias por tu participación!!

Nota: Planilla utilizada en la prueba de aceptabilidad sensorial (Autoría propia, 2025).

7 RESULTADOS

7.1 Elaboración del producto

Figura 11. *Materia prima recolectada*



Nota: Materia prima recolectada en el local 2 de la central de abastos de la ciudad de Puebla (Autoría propia, 2025).

Figura 12. *Acondicionamiento del tubérculo de papa*



Nota: Las papas se lavaron y posteriormente se eliminaron las zonas con lesiones significativas (Autoría propia, 2025).

Figura 13. *Elaboración del puré*



Nota: Las papas se cortaron y se sometieron a cocción durante 18min, posteriormente se filtraron y se procesaron hasta obtener un puré con textura pastosa (Autoría propia, 2025).

Figura 14. *Elaboración del pan (Mezcla de ingredientes)*



Nota: A) Mezcla de ingredientes húmedos, B) Mezcla de ingredientes secos, C) Mezcla homogénea con textura pastosa (Autoría propia, 2025).

Figura 15. Elaboración de pan (Horneado)



Nota: D) Mezcla en los moldes, E) Horneado a 180° x 30min, F) Producto en enfriamiento (Autoría propia, 2025).

7.2 Selección de producto final

Se llevaron a cabo pruebas preliminares con el objetivo de evaluar los atributos sensoriales de color, olor, sabor y textura de ambos prototipos. Con base a las características organolépticas de cada producto descritas en la *Tabla 6. Calidad sensorial del pan*, se consideró que la formulación con proporción 50:50 cumplía con mejores propiedades, por lo que fue utilizada como producto final en las pruebas físicas y de aceptabilidad sensorial.

Tabla 6. Calidad sensorial del pan

Formulación:	A) 50:50	B) 60:40
Atributos de color	<ul style="list-style-type: none"> • Color de la corteza marrón claro regular • Miga color beige claro 	<ul style="list-style-type: none"> • Color de la corteza marrón-beige irregular • Miga color beige-amarillo
Atributos de olor	<ul style="list-style-type: none"> • Olor harinoso y a malta 	<ul style="list-style-type: none"> • Olor terroso
Atributos de sabor	<ul style="list-style-type: none"> • Sabor neutro 	<ul style="list-style-type: none"> • Sabor dulce

	• Buena adhesividad en la boca	• Alta adhesividad en la boca
Atributos de textura	<ul style="list-style-type: none"> • Corteza con textura homogénea • Miga con poca humedad • Miga con textura uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> • Corteza con textura irregular y agrietada • Exceso de humedad en la miga • Miga con textura pastosa

Nota: En la columna izquierda se encuentra la formulación preliminar A en proporción 50:50, mientras que en la columna derecha se encuentra la formulación preliminar B en proporción 60:40, así como las características sensoriales percibidas y descritas de cada una (Autoría propia, 2025).

Figura 16. Pruebas preliminares



Nota: A) Pan con proporción 50:50, B) Pan con proporción 60:40 (Autoría propia, 2025)

7.3 Humedad

Conforme a la lectura de resultados obtenidos en la termobalanza se registraron los siguientes datos:

Tabla 7. Resultados obtenidos contenido de humedad por termobalanza

REP	% HUMEDAD	%Mat. Seca
Y1	59.00	41
Y2	58.58	41.42
Y3	58.72	41.28
Z2	58.95	41.05
Prom	58.81	41.18750
Des.Est	0.197210	0.1972097

Nota: Se realizaron cuatro repeticiones del proceso, posteriormente se promediaron los resultados y se obtuvo la desviación estándar (Autoría propia, 2025)

Figura 17. Determinación de humedad con termobalanza



Nota: A) Pesaje de la muestra, B) Calibración de termobal. (Autoría propia, 2025).

7.4 Textura

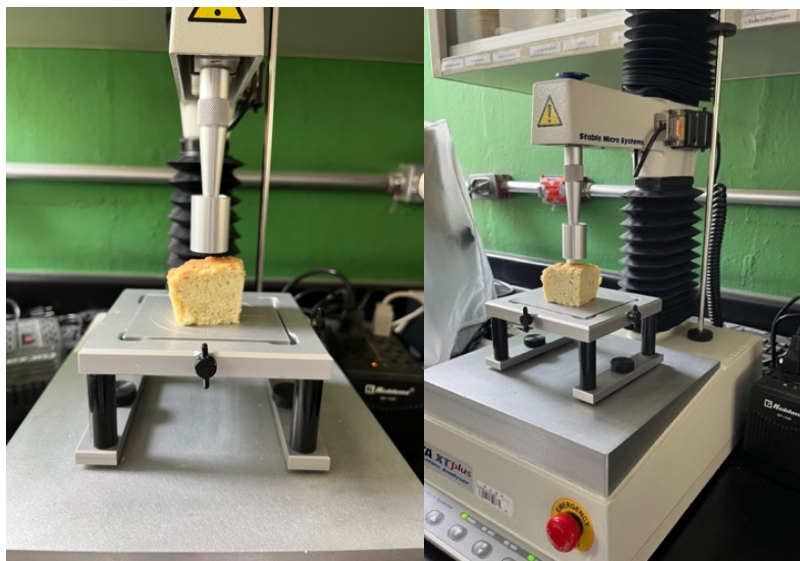
La prueba de textura TPA se replicó 4 veces y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8. Resultados obtenidos prueba TPA

	Y1	Y2	Y3	Y4	PROM	DES.EST
Dureza (g)	2112.319	2372.92	3479.126	3818.218	2945.64575	830.347671
Fracturabilidad	0	0	0	0	0	0
Adhesividad (g_sec)	-0.118	0	0	0	-0.0295	0.059
Elasticidad	0.857	0.921	0.862	0.872	0.878	0.02933712
Cohesividad	0.735	0.772	0.592	0.579	0.6695	0.09830734
Gomosidad	1552.4	1832.06	2060.503	2210.241	1913.801	286.757984
Masticabilidad	1330.629	1686.658	1775.539	1928.082	1680.227	253.493325
Resiliencia	0.471	0.499	0.333	0.314	0.4035	0.09502456

Nota: Se realizaron 4 repeticiones del proceso, posteriormente se promediaron los resultados y se obtuvo la desviación estándar (Autoría propia, 2025)

Figura 18. Análisis de textura TPA



Nota: Imagen ilustrativa de la sonda ejerciendo presión en el producto (Autoría propia, 2025)

7.5 Color:

Para la lectura del color se realizaron dos pruebas, la primera fue a través del colorímetro en donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 9. Resultados obtenidos a través del colorímetro HunterLab

Réplica	L*	a*	b*
Y1	72.43	0.83	23.82
Y2	64.03	4.83	29.5
Y3	65.02	3.87	27.02
Y4	63.07	5.01	29.1
Peomedio	66.1375	3.64	28.26
Des.Est	4.27	1.94	1.75

Nota: Se realizaron cuatro repeticiones del proceso de lectura en colorímetro HunterLab, posteriormente se promediaron los resultados y se obtuvo la desviación estándar (Autoría propia, 2025)

Figura 19. Análisis de color en colorímetro



Nota: Imagen ilustrativa de lectura de resultados por medio de colorímetro HunterLab (Autoría propia, 2025)

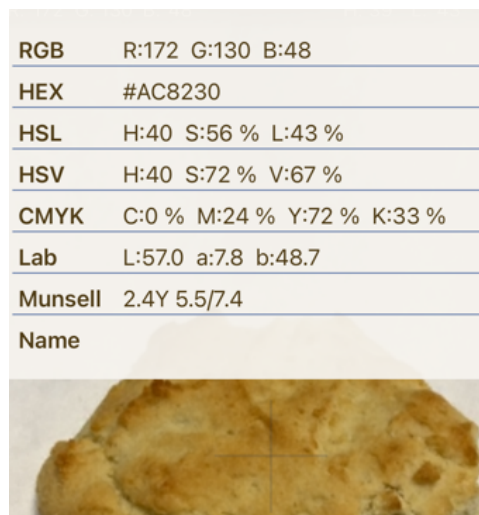
A continuación, se analizó el color mediante la aplicación Analyzer Color, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados obtenidos a través de Analyzer Color

Réplica	L*	a*	b*
Y1	62.79	4.39	17.32
Y2	60.64	4.32	13.41
Y3	67.11	1.64	13.85
Y4	64.58	3.77	16.58
Promedio	63.78	3.53	15.29
Des.Est	2.74278447	1.29014211	1.94876029

Nota: Se realizaron cuatro repeticiones del proceso de lectura en Analyzer Color, posteriormente se promediaron los resultados y se obtuvo la desviación estándar (Autoría propia, 2025)

Figura 20. Análisis de color en Analyzer Color



Nota: Imagen ilustrativa de lectura de resultados por medio de aplicación en Analyzer Color (Autoría propia, 2025)

7.6 Análisis Sensorial

A continuación, se presentan los datos obtenidos en la prueba hedónica de aceptabilidad. En la *Tabla 11 Escala hedónica de aceptabilidad* se muestra la escala utilizada en la prueba, por otra parte, *La Tabla 12 Resultados obtenidos análisis sensorial*, detalla los resultados obtenidos por cada participante.

Tabla 11. Escala hedónica de aceptabilidad

Escala:	Nivel de agrado:
1	Disgusta Mucho
2	Disgusta
3	Ni gusta ni disgusta
4	Gusta
5	Gusta Mucho

Nota: La escala hedónica de aceptabilidad utilizada fue de 5 puntos, donde 1 = Disgusta mucho, 2 =Disgusta, 3 = Ni gusta ni disgusta, 4 = Gusta, y 5 = Gusta mucho (Autoría propia, 2025).

Tabla 12. Resultados obtenidos análisis sensorial

Juez	Olor	Sabor	Textura
1	4	3	5
2	4	4	4
3	3	5	4
4	4	5	4
5	4	4	5
6	3	4	4
7	4	5	5
8	4	5	4
9	4	5	5
10	4	3	4
11	3	4	2
12	5	5	5
13	4	3	3
14	5	3	4
15	4	4	5
16	4	3	4
17	5	4	5
18	4	5	3
19	4	2	3
20	5	5	4
21	5	5	5
22	4	5	5
23	5	4	5
24	4	3	4
25	4	4	2
26	5	5	4
27	3	5	4
28	4	4	5
29	5	4	3
30	4	3	5

Nota: Resultados obtenidos de la prueba hedónica de aceptabilidad aplicada a 30 jueces, en la que se evaluaron los parámetros de olor, sabor y textura mediante una escala hedónica de 5 puntos (Autoría propia, 2025).

Figura 21. Muestras de pan presentadas para el análisis sensorial



Nota: Las muestras de pan se presentaron en porciones de aproximadamente 1.5×1.5 cm, acompañadas de una pequeña porción de mantequilla y presentadas en capacillos blancos identificados con el código correspondiente a la muestra (Autoría propia, 2025).

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Humedad

De acuerdo con los resultados obtenidos y plasmados en la *Tabla 7. Resultados obtenidos contenido de humedad por termobalanza*; un contenido de humedad del 58.81% es esperado y normal para la mayoría de los panes tipo blanco o de miga blanda de acuerdo con Lirola (2022), ya que estos suelen tener entre 35% y 45% de materia seca, lo que equivale a 55%–65% de humedad, dependiendo del tipo, fórmula y proceso de horneado.

Es por ello por lo que los valores obtenidos indican que el pan tiene una miga húmeda y tierna, lo que es deseable para la aceptabilidad sensorial del consumidor, además de que esta característica ayuda a mantener una buena textura y elasticidad de la miga, lo cual es coherente con un producto fresco y bien formulado. El contenido de humedad también influye en la vida útil del producto: un valor superior al 59% de humedad, el pan es susceptible al crecimiento microbiano si no se conserva adecuadamente, por lo que se requiere un empaque adecuado o conservadores si se desea una mayor durabilidad (AACC International, 2000).

8.2 Color

Informes de Minolta (2025), sugieren que el color de un alimento influye en la decisión de compra de la persona consumidora.

De acuerdo con los resultados obtenidos en en el *colorímetro HunterLab*, se realizó el análisis de los siguientes datos:

- **$L^* = 66.14$** : Indica que el pan tiene una miga clara con una luminosidad intermedia-alta. Valores en este rango son comunes en panes blancos, artesanales o semi-integrales, en los que se busca una apariencia atractiva sin llegar a ser muy pálida ($L^* > 80$) ni muy oscura ($L^* < 50$).
- **$a^* = 3.64$** : El valor positivo indica una ligera coloración rojiza atribuida a la reacción de Maillard y caramelización de azúcares durante el horneado, especialmente en la corteza. Esto es típico y deseable para lograr un aspecto de pan bien cocido o dorado.
- **$b^* = 27.36$** : Valor elevado, muestra una coloración amarilla intensa, lo cual también es característico de una corteza bien desarrollada o

una miga con buena gelatinización del almidón. Este valor puede estar influido por el tipo de harina, la presencia de azúcar o grasa, y la intensidad del horneado.

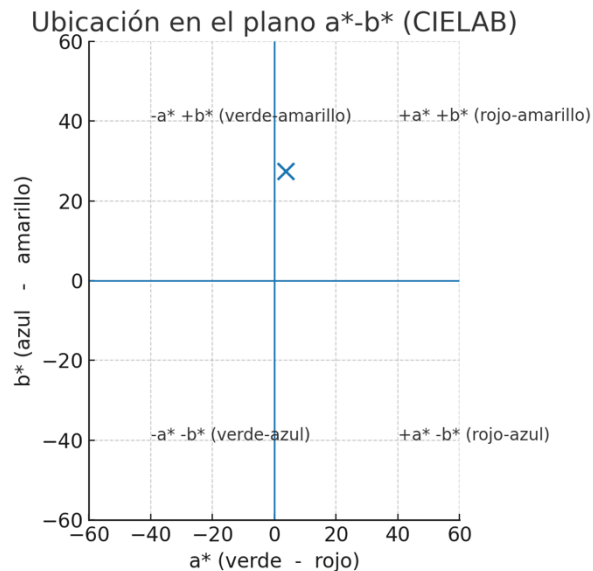
Finalmente, tras realizar los cálculos correspondientes para ubicar los resultados en el espacio de colorimetría CIELAB, se obtuvieron los valores presentados en la *Tabla 13 Cálculos CIELAB*. Posteriormente, estos fueron representados gráficamente en el mapa de Colorimetría CIELAB mostrado en la *Figura 22*.

Tabla 13. Cálculos CIELAB

Parámetro	Ecuación	Sustitución	Resultado
Croma (C*)	(Ec. 1) $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$	$C^* = \sqrt{(3.64^2 + 27.36^2)}$	27.6
Ángulo (h°)	(Ec. 2) $h^\circ = \arctan\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$	$h^\circ = \arctan\left(\frac{27.36}{3.64}\right)$	83.4°
Luminosidad (L*)	Valor directo	$L^* = 66.14$	66.14

Nota: Ecuaciones aplicadas para el Croma (C*), el ángulo de tono (h°) y la Luminosidad (L*) a partir de los datos obtenidos en el colorímetro HunterLab (Autoría propia, 2025).

Figura 22. Mapa de colorimetría CIELAB



Nota: El Cromo indica saturación moderada (color perceptible pero no intenso), el ángulo se ubica cerca de 90°, correspondiente a un tono amarillo cálido, mientras que luminosidad muestra que el color es claro, por encima del gris medio (Autoría propia, 2025)

Por lo que se considera que el pan muestra una coloración atractiva, cálida y dorada, lo cual sugiere que hubo una buena cocción, posible desarrollo de la reacción de Maillard y por ende una alta aceptabilidad visual.

8.3 Textura

- Dureza: 2945.65

La dureza en panes frescos refleja cómo se organizan las proteínas y los almidones después del horneado. En panes con suficiente desarrollo de gluten u otros formadores de red, la miga resulta más elástica y menos dura. Por el contrario, panes libres de gluten, así como con limitaciones de agua, fermentación o aditivos provocan un incremento de firmeza (Gumul, 2017).

De acuerdo con los resultados obtenidos, este indicador muestra que el pan presenta valores altos de dureza, lo que evidencia una miga firme y compacta, asociada a una textura densa tanto en la corteza como en el interior. Esto probablemente se deba a la elevada proporción de almidón y a la ausencia de gluten, factores que limitan la elasticidad y reducen la aireación de la masa.

- Fracturabilidad: 0

La fracturabilidad en panes indica su propensión a quebrarse o ceder de forma crujiente bajo presión, lo que habla de su estructura rígida y poca cohesión interna, algo que instrumentales registran como el primer pico de ruptura (Villalobos, et.al, 2024).

La ausencia de un valor de fracturabilidad indica que el pan no mostró un punto definido de ruptura en la primera compresión. Esto probablemente se debe a una miga más plástica o cohesiva, que se deforma sin quebrarse abruptamente.

- Adhesividad: -0.0295

La adhesividad se define como la fuerza necesaria para vencer la atracción entre la superficie de un alimento y otra superficie de contacto, como la sonda de un texturómetro o el paladar durante la masticación. En términos simples, describe qué tan “pegajosa” queda la miga del pan al ser comprimida (Bourne, 2002).

En un análisis de perfil de textura (TPA), la adhesividad se representa como un área negativa bajo la curva fuerza–tiempo, registrada cuando la sonda se despega de la muestra. Valores cercanos a cero o ligeramente negativos indican que la muestra no se adhiere, o lo hace de manera mínima. En la práctica, esto significa que la miga del pan no es pegajosa (Nishinari & Fang, 2018).

Por lo tanto, el valor bajo y negativo de adhesividad reflejan que el pan no presenta pegajosidad, lo cual suele considerarse favorable, ya que evita que la miga se adhiera a los dientes o al paladar durante el consumo.

- Elasticidad: 0.878

La elasticidad en pan se define como la capacidad de la miga para recuperar su forma original después de ser comprimida. Este parámetro es fundamental en el análisis de textura (TPA), pues está estrechamente relacionado con la sensación de frescura y esponjosidad del producto (Bourne, 2002).

En panes con gluten, la elasticidad proviene principalmente de la red proteica formada por el gluten, que otorga flexibilidad y aireación a la masa. En panes sin gluten, en cambio, este atributo depende de la incorporación de almidones, proteínas alternativas e hidrocoloides que buscan imitar dicha red (Lazaridou et.al., 2007).

Según Gray & Bemiller (2003), una mayor elasticidad se asocia con una miga fresca y agradable para el consumidor, mientras que valores bajos se relacionan con panes más secos, rígidos o envejecidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el pan evaluado recupera el 87.8% de su forma original tras la compresión, lo que evidencia una miga elástica y fresca. Valores superiores a 0.8 suelen considerarse óptimos en términos de percepción al masticar. En el caso de panes sin gluten, este comportamiento se logra generalmente gracias a la acción de almidones gelificados y agentes estructurantes, como la papa.

- Cohesividad: 0.6695

La cohesividad en panes se define como la capacidad de la miga para resistir la desintegración interna cuando es comprimida, reflejando la fuerza de las uniones entre sus componentes (Bourne, 2002).

En panes con gluten, este atributo está asociado a la red proteica que mantiene unida la estructura, mientras que en panes sin gluten depende del uso de almidones, hidrocoloides o proteínas alternativas, que contribuyen a mejorar la retención de gas y la unión de la miga (Sciarini et al., 2010).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el pan analizado muestra una cohesión interna moderada. Valores entre 0.5 y 0.7 son comunes en panes con buena integridad estructural, lo que significa que la miga mantiene cierta firmeza al ser comprimida, aunque sin alcanzar los niveles característicos de los panes elaborados con gluten.

- Gomosidad: 1913.80

De acuerdo con Bourne (2002), la gomosidad se define como la energía necesaria para desintegrar un alimento sólido hasta que esté listo para ser deglutido. En un análisis TPA, se calcula como:

(EC.3)

$$Gomosidad = Dureza \times Cohesividad$$

En el caso del pan, este parámetro refleja el grado de densidad y compacidad de la miga: valores altos indican que se requiere un mayor esfuerzo de masticación, mientras que valores bajos se asocian con panes más ligeros y esponjosos (Gómez et al., 2008).

En panes con gluten, la gomosidad suele estar equilibrada gracias a la red proteica que aporta elasticidad y aireación. Por el contrario, en panes sin gluten, la ausencia de esta red genera estructuras más compactas, lo que incrementa la gomosidad (Sciarini et al., 2010).

En el pan analizado, la gomosidad fue relativamente alta, relacionado a la combinación entre dureza y cohesividad, que evidencia una textura densa y compacta. Este valor señala que el producto requiere una cantidad considerable de energía para ser desintegrado durante la masticación.

- Masticabilidad: 1680.227

De acuerdo con Bourne (2002), la masticabilidad se define como la energía necesaria para masticar un alimento sólido hasta que esté listo para ser deglutido.

En una prueba TPA, se calcula con la fórmula:

(Ec.4)

$$\textit{Masticabilidad} = \textit{Gomosidad} \times \textit{Elasticidad}$$

Mientras que la gomosidad representa la energía total necesaria para desintegrar la miga, la masticabilidad añade el componente de recuperación elástica de la miga (Bourne, 2002).

En el pan analizado, los resultados muestran que la energía necesaria para desintegrar la miga es elevada, lo que indica que el producto puede resultar algo difícil de masticar. Esta característica está asociada con la dureza y gomosidad, rasgos propios de los panes libres de gluten. En consecuencia, se confirma que se trata de un pan relativamente denso y menos ligero en comparación con un pan elaborado con trigo.

- Resiliencia: 0.4035

La resiliencia es la capacidad de un alimento para recuperar energía después de ser deformado, es decir, cuánto rebota o vuelve a su estado inicial tras una compresión rápida. En el análisis TPA, se mide como la relación entre el trabajo recuperado en la primera compresión y el trabajo aplicado (Bourne, 2002).

Aunque no existe un valor “ideal” universalmente establecido para la resiliencia del pan, en los panes de caja (tipo pan de molde) suele reportarse un rango de 0.30 a 0.45, lo que refleja una miga fresca, elástica y con buena capacidad de recuperación (Gómez et al., 2008). En los panes con gluten, esta propiedad se debe a la red proteica que permite una rápida recuperación tras la deformación, mientras que en panes sin gluten depende de la combinación de almidones y agentes estructurantes que buscan imitar dicho efecto (Sciarini et al. 2010).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el pan analizado recupera rápidamente su forma tras una compresión parcial, lo que evidencia una miga fresca, elástica y de buena calidad.

8.4 Análisis Sensorial

La *Tabla 14 Media, desviación estándar y moda*, resume el promedio, la desviación estándar y la moda de los datos obtenidos en los resultados.

Tabla 14. *Media, desviación estándar y moda*

	OLOR	SABOR	TEXTURA
MEDIA	4.13333333	4.1	4.13333333
DES.EST	0.62881022	0.88473647	0.89955289
MODA	4	5	5

Nota: Promedio, desviación estándar y moda obtenidos a partir de la prueba hedónica de aceptabilidad aplicada a 30 jueces, quienes evaluaron los parámetros de olor, sabor y textura utilizando una escala hedónica de 5 puntos (Autoría propia, 2025).

- Nivel de agrado:

Los tres atributos evaluados (olor, sabor y textura) se ubican en promedio en 4 (Gusta) dentro de la escala, con una ligera tendencia hacia el 5 (Gusta mucho) en el caso del sabor y la textura. Esto indica una alta aceptabilidad sensorial del producto.

- Homogeneidad de opiniones:

El olor es el atributo con menor dispersión ($\sigma = 0.63$), lo que sugiere que los jueces coincidieron más en sus percepciones.

En contraste, textura y sabor tienen mayor variabilidad ($\sigma \approx 0.88-0.89$), lo que significa que hubo un rango más amplio de valoraciones en estos aspectos.

- Moda (valor más frecuente):

Olor: la moda fue 4 (Gusta).

Sabor y textura: la moda fue 5 (Gusta mucho), lo que revela que este atributo fue el más apreciado por la mayoría.

9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los resultados permitió identificar que el pan evaluado presentó una coloración atractiva, cálida y dorada, lo cual refleja una cocción adecuada y sugiere el desarrollo de la reacción de Maillard, responsable de aportar tanto el tono característico como una alta aceptabilidad visual del producto.

En la prueba TPA (Texture Profile Analysis), el pan mostró buena elasticidad, cohesividad y resiliencia, atributos asociados a una miga fresca, uniforme y bien estructurada. Sin embargo, los valores elevados de dureza, gomosidad y masticabilidad evidencian la presencia de una miga más densa de lo esperado, sobre todo si se busca una textura ligera. Asimismo, la baja adhesividad y fracturabilidad resultan poco favorables para la manipulación y la percepción sensorial. No obstante, estos hallazgos se vinculan con los resultados de la prueba de humedad, donde se determinó que el pan posee una miga húmeda, condición deseable desde el punto de vista del consumidor, ya que contribuye a mantener la textura y la elasticidad de la miga, además de que es símbolo de un producto fresco.

Finalmente, el análisis de aceptabilidad sensorial mostró que el producto fue bien aceptado por los jueces en los tres atributos evaluados: olor, sabor y textura. Entre ellos, el sabor y la textura destacaron como los aspectos mejor valorados. No obstante, la dispersión observada en estas categorías sugiere cierta variabilidad en las percepciones individuales. En términos generales, los resultados reflejan una aceptabilidad positiva, con una clara tendencia hacia el nivel de "Gusta mucho" dentro de la escala utilizada.

10 CONCLUSIÓN

El desarrollo del pan de papa con harina de arroz cumplió con el objetivo general planteado, al demostrar que es posible elaborar un producto panificado como alternativa viable para el aprovechamiento de la merma de papa, aportando a la reducción del desperdicio alimentario y contribuyendo al fortalecimiento de la economía circular en la industria alimentaria.

En relación con los objetivos específicos, los análisis físicos mostraron que el producto alcanzó una coloración dorada y atractiva, asociada al desarrollo de la reacción de Maillard, y que presentó buena elasticidad, cohesividad y resiliencia en la miga. Sin embargo, los valores elevados de dureza, gomosidad y masticabilidad evidencian la necesidad de posibles ajustes en la formulación para mejorar su ligereza. Por otra parte, en términos sensoriales, el pan obtuvo una alta aceptabilidad por parte de los jueces, quienes destacaron el sabor y la textura como los atributos más favorables. Aunque existió variabilidad en las percepciones individuales, los resultados se ubicaron mayormente en el nivel de "Gusta mucho", lo que confirma su potencial de aceptación en el mercado.

En conjunto, los resultados obtenidos no solo validan la viabilidad tecnológica y sensorial del pan elaborado, sino que también refuerzan su pertinencia como una propuesta innovadora con impacto en la sostenibilidad, al promover el uso responsable de materias primas y ofrecer una alternativa alimentaria con valor agregado, consolidándose como una propuesta innovadora alineada con los principios de la economía circular.

11 PROYECCIÓN Y CONSIDERACIONES

En relación con el contenido de humedad, los resultados mostraron un valor elevado, lo cual puede afectar de manera directa la vida de anaquel del producto. Por ello, se sugiere considerar una reformulación que permita alcanzar un rango de humedad más adecuado, idealmente entre 45–50% (AACC International, 2000).

De manera complementaria, con miras a establecer líneas de investigación futuras, se recomienda estudiar el efecto de aditivos, conservadores o agentes emulgentes que contribuyan a mejorar las propiedades menos favorables detectadas en la prueba TPA, así como extender la vida útil del producto. Incluso podría contemplarse el uso de otras harinas o mezclas que favorezcan las características físicas y tecnológicas del pan.

Asimismo, se identifica un espacio de investigación más amplio que incluya la realización de análisis bromatológicos, indispensables en caso de requerir una etiqueta nutrimental, así como el desarrollo de un diseño de empaque adecuado, factores que complementarían la caracterización integral del producto.

Finalmente, la revalorización de la materia prima y la aceptabilidad del producto obtenido representan solo el inicio de una cadena con impacto positivo. En este sentido, se sugiere ampliar la investigación hacia el ámbito ambiental, considerando el impacto por reducción de pérdidas y el potencial aporte a prácticas de producción más sostenibles.

12 BIBLIOGRAFÍAS

1. AACC International. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). AACC International.
2. Alvis, A., Pérez, L., & Arrazola, G. (2011). Elaboración de panes con agregado de harina de arroz integral y modelación de sus atributos sensoriales a través de la metodología de superficie de respuesta. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 182–192.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000500005
3. AOAC. (1980). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists.
4. Bourne, M. C. (2002). Food texture and viscosity: Concept and measurement (2nd ed.). Academic Press.
5. Bosch. (2023). Harina de arroz Vs harina de trigo sarraceno.
<https://mamafermenta.com/ingredientes/harina-de-arroz-vs-harina-de-trigo-sarraceno/>
6. Braz, J. (2016). Evaluation of the technological, nutritional and sensory qualities of bakery products produced with partial substitution of the wheat flour by whole rice flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19(2).
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.0216>
7. Cabrera, M. F. (2019, enero 24). Oportunidades para el sector productivo de papa (I). *El Economista*.
<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Oportunidades-para-el-sector-productivo-de-papa-I-20190123-0115.html>

8. Calvo, M., López, O., Carranco, M. E., & Marines, J. (2021). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp.*) y chícharo (*Pisum sativum L.*). *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(3), 1–15. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562020000300116
9. Chancha, H., et al. (2024). Usos de los subproductos de la papa en la industria alimentaria. *Revista Taya*, 3(2), 45–61. <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/219/205>
10. Codex Alimentarius. (2020). Norma para la patata (papa) de consumo (CXS 339-2020). FAO. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B339-2020%252FCXS_339s.pdf
11. CONPAPA. (2023). Acerca del sector papa. <https://www.conpapa.org.mx/index.php/conpapa/acerca-del-sector-papa>
12. División de Producción y Protección Vegetal de la FAO. (2008). La papa. FAO. <https://www.fao.org/3/i0500s/i0500s02.pdf>
13. Duarte, Y. (2019). Desarrollo de un producto fortificado y deshidratado como alternativa para la generación de valor agregado a la papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15990/1/DuarteYudy_2019_PapaDeshidratadaFortificada.pdf
14. Fígares, M. (2022). Valor nutricional de la patata y almidón resistente. <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/valor-nutricional-patata>

15. Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). (2017, enero 17). Valor agregado en el sector agropecuario. <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/valor-agregado-en-el-sector-agropecuario?idiom=es>
16. Fundación del Empresariado Chihuahuense (FECHAC). (2024). FECHAC y los ODS. https://fechac.org.mx/app_fechac/_repo/012821-160142_rf-1-03compromisodefechaconlosodsrev1.pdf
17. Gallagher, E. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *Food Quality and Preference*, 14(5–6), 449–458.
18. García, G. (2023). Cómo impacta la economía circular en la industria de alimentos y bebidas. *The Food Tech*. <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/como-impacta-la-economia-circular-en-la-industria-de-alimentos-y-bebidas/>
19. Glanbia Nutritionals. (2024, febrero 27). Tendencias para panadería en 2024. <https://www.glanbianutritionals.com/es-mx/nutri-knowledge-center/insights/trends-bakery>
20. Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2008). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 226, 1343–1350. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0655-y>
21. González Céspedes, A. (2023, mayo 5). Valorización de subproductos en la industria hortofrutícola, materia prima para nuevos procesos productivos. Plataforma Tierra. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/subproductos-industria-hortofruticola-materia-prima-nuevos-procesos-productivos>

22. Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>
23. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality of gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
24. Leduc. (2022, octubre 19). ¿Qué es la sustentabilidad y por qué me debería importar? GQ México. <https://www.gq.com.mx/sustentabilidad/articulo/que-es-la-sustentabilidad-y-por-que-es-importante>
25. Leal. (2023). Harina de arroz: 8 beneficios y cómo hacer (con recetas). Tuasaude. <https://www.tuasaude.com/es/harina-de-arroz/>
26. Lirola. (2022). Hornear el pan: ¿Cómo, cuándo y por qué? Conasi. <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/hornear-el-pan>
27. Minolta. (2025). Soluciones para la medida del color en la industria alimentaria (II). Aqua Teknica. <https://www.aquatecnica.com/soluciones-para-la-medida-del-color-en-la-industria-alimentaria-2/>
28. Nishinari, K., & Fang, Y. (2018). Adhesiveness in food texture: Measurement and applications. *Food Hydrocolloids*, 77, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.003>
29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). Año Internacional de la Papa 2008: Nueva luz sobre un tesoro enterrado. FAO. <https://www.fao.org/4/i0500s/i0500s.pdf>

30. Pérez, J. (2023). Harina de arroz: Propiedades, usos, elaboración y recetas. Conasi. <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/harina-arroz-usos-recetas/>
31. Pérez Porto, J., & Garde, A. (2021, agosto 31). Valor agregado – Qué es, competencia, definición y concepto. Definición.de. <https://definicion.de/valor-agregado/>
32. Ponce-Fernández, J., et al. (2019, febrero 15). Composición química, características funcionales y capacidad antioxidante de formulaciones de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Blanco Sinaloa 92. *Agrociencia*, 53(2), 123–134. <https://agrocienciacolpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1749>
33. Prada Ospina, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: El caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (72), 182–192. <https://www.redalyc.org/pdf/206/20626818005.pdf>
34. Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO). (2023, agosto 23). Economía circular. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/economia-circular?idiom=es>
35. Redacción National Geographic. (2023). ¿Qué es el desarrollo sostenible y por qué es importante? National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/12/que-es-el-desarrollo-sostenible-y-por-que-es-importante>
36. Rosell, C. M. (2008). Effect of different bread improvers on gluten-free breads quality. *Food Hydrocolloids*, 22(3), 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.12.009>

37. Rosell, C. M., & Marco, C. (2008). Phytase activity in breadmaking: Effect on bread quality and nutritional properties. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.001>
38. Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2010). Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 577–585. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0098-2>
39. Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 24(2–3), 196–202.
40. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019, agosto 31). La papa, un alimento con historia y cultura. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-papa-un-alimento-con-historia-y-cultura>
41. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2020, julio 4). La papa como alimento básico. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-papa-como-alimento-basico>
42. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2024). Bases para la elaboración de un diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México. SEMARNAT. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2024/BAS_ES_ELABORACION_DIAGNOSTICO_PARA_ENEC.pdf
43. Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE). (2012). Reglamento técnico para la fijación de identidad y calidad de la papa (*Solanum tuberosum*). SENAVE.

https://www.senave.gov.py/docs/resoluciones/senave/2012_RES%20468_RT%20PAPA.pdf

44. Toledo, M. (2015). Determinación de la humedad mediante el analizador halógeno de humedad. Mettler Toledo. https://www.mt.com/dam/P5/labtec/05_Moisture_Analyzer/00_Family/05_Documents/01_Broschures/Guide_To_Moisture_Analysis_ES.pdf
45. Universidad Nacional Agraria La Molina. (2010). El Papapan. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/cproduccion/panificacion/papapan.htm>
46. Vega, G. (2024, febrero 2). ¿Cómo han impulsado la demanda y los nuevos hábitos de consumo a la producción sustentable de alimentos? The Food Tech. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/como-han-impulsado-la-demanda-y-los-nuevos-habitos-de-consumo-la-produccion-sustentable-de-alimentos/>
47. Villalobos, R., et al. (2024). Efecto en las propiedades reológicas y texturales de pan elaborado a base de harina de trigo y harina de mijo tratada térmicamente. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 13(1), 1–15. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562024000100139&script=sci_arttext