

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Influencia de pectina de granadilla (*Passiflora ligularis juss*) en la reología
de masa y la calidad del pan de molde**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

Autora:

Bach. Vásquez Villacorta, Nelly Sofía

Asesor:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI N° 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Nuevo Chimbote – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N° 580-2022-CU-R-UNS) de acuerdo con la denominación siguiente:

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

INFLUENCIA DE PECTINA DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis juss*) EN LA
REOLOGÍA DE MASA Y LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE

AUTORA: Bach. Vásquez Villacorta, Nelly Sofía

ASESOR

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “**INFLUENCIA DE PECTINA DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis juss*) EN LA REOLOGÍA DE MASA Y LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la Bachiller **Vásquez Villacorta, Nelly Sofía**, que tiene como asesor al **Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino** designado mediante la Resolución Decanal N° 394-2022-UNS-FI ha sido revisado y aprobado el día 15 de abril del 2025, por el siguiente jurado evaluador designado mediante Resolución N° 086-2025-UNS-CFI.

Dr. Castillo Martínez, Williams Esteward

Presidente

DNI: 40169364

Código ORCID: 0000-0001-6917-1009

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

Secretario

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Dr. Sánchez Vaca, Daniel Ángel

Integrante

DNI: 18146173

Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10.00 horas del día 15 de abril del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N°086-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Williams Esteward Castillo Martínez** (Presidente)
- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** (Secretario)
- **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **"INFLUENCIA DE PECTINA DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis juss*) EN LA REOLOGÍA DE MASA Y LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE"**, elaborado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial:

• **VÁSQUEZ VILLACORTA NELLY SOFÍA**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados al estudio, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
NELLY SOFÍA VÁSQUEZ VILLACORTA	19	EXCELENTE

Siendo las 11:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 15 de abril de 2025



Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
Presidente



Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Secretario



Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Integrante

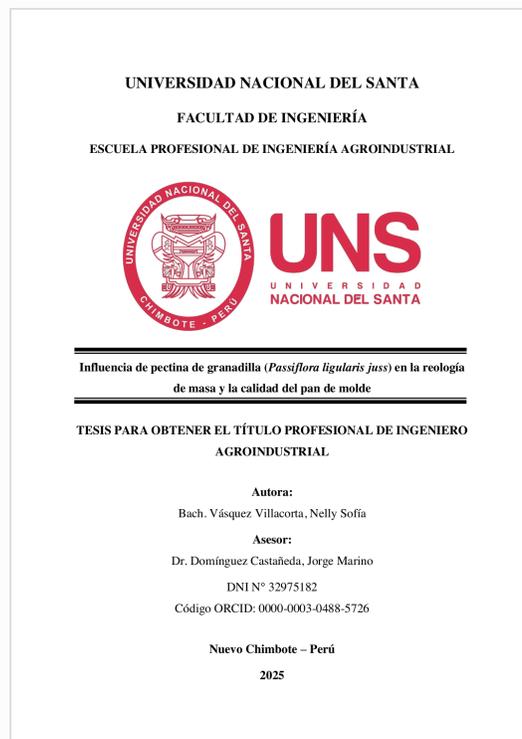


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user
Título del ejercicio: Influencia de pectina de granadilla (*Passiflora ligularis juss*) en ...
Título de la entrega: TESIS-NELLY-VÁSQUEZ-2025.pdf
Nombre del archivo: TESIS-NELLY-VÁSQUEZ-2025.pdf
Tamaño del archivo: 7.07M
Total páginas: 132
Total de palabras: 29,262
Total de caracteres: 159,268
Fecha de entrega: 21-abr.-2025 09:31p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2653026170



TESIS-NELLY-VÁSQUEZ-2025.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
4	news.dniproavia.com Fuente de Internet	1%
5	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	Submitted to 94839 Trabajo del estudiante	<1%
7	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
9	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1%
10	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Dedicado a **Dios**,
por su amor infinito.

A la **familia Vásquez** y a la **familia Villacorta**,
especialmente a mis abuelos **Nelly, Serapio** y **Carlos**,
a mi madre **Luz** y a mis hermanas **Gisela** y **Viviana**,
por ser el motor y pilar fundamental de mi vida.

A la memoria de mi padre **Joel**, mi tía **Verónica** y mi tío **Daniel**,
quienes siempre quisieron verme convertida en una gran profesional.

A **Justin**,
por ser mi inspiración.

Nelly Sofía

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por nunca dejarme sola, por iluminarme en todo momento, por permitirme realizar este trabajo de investigación y poder así culminar con éxito mi carrera profesional.

A mis familiares, por su apoyo económico y emocional, especialmente a mi madre Luz, a mis hermanas Gisela y Viviana, a mis abuelos Carlos, Serapio y Nelly, a mis tíos Freddy y Yanet, a mis primas Génesis, Camila, Evelyn y Olenka, quienes me brindaron los recursos necesarios para la realización de esta tesis y también a mi padre Joel, a mis tíos Daniel y Verónica, quienes en vida colaboraron conmigo. Sin ellos hubiera sido muy difícil lograrlo. Les agradezco por su amor, sacrificio, confianza, comprensión, paciencia, ánimo y motivación.

A mi asesor Dr. Jorge Domínguez, quien desde el inicio depositó su confianza en mí ofreciéndose a guiarme y me brindó su apoyo invaluable a lo largo de todo este proceso.

Al Dr. Wilson Símpalo, por aparecer justo en el momento indicado, por darme ese impulso que necesitaba, por sus consejos, sugerencias, motivación y ayuda constante.

Al Dr. Daniel Sánchez, cuyo apoyo y orientación fueron fundamentales para completar este proceso. Su predisposición por ayudarme en la recta final hizo una gran diferencia.

A todos los demás docentes de la EPIA, por sus enseñanzas y lecciones durante mi estadía en la universidad, por compartirme sus conocimientos y motivarme para ejercer la carrera.

A Ms. John Gonzales, Ing. Pedro Ayala, Ing. Darwin Morales, Vasty Alvarez y demás encargados de los laboratorios de la universidad por su colaboración en la parte experimental de la investigación brindándome todas las facilidades para realizar los procedimientos.

A mis amigos y demás seres queridos, por darme ánimos y confiar en que lo lograría.

Y a todos los que intervinieron de alguna u otra forma para el éxito de esta investigación.

¡Muchas gracias!

Nelly Sofía

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Marco conceptual	17
2.2.1. Granadilla	17
2.2.1.1. Generalidades	17
2.2.1.2. Composición del mesocarpio	20
2.2.1.3. Situación en Perú	21
2.2.2. Pectina	23
2.2.2.1. Estructura	24
2.2.2.2. Fuentes	27
2.2.2.3. Extracción	27
2.2.2.4. Calidad	29
2.2.2.4.1. Características fisicoquímicas	29
2.2.2.4.2. Propiedades funcionales	31
2.2.2.5. Aplicaciones	32
2.2.3. Pan de molde	32
2.2.3.1. Clasificación	32
2.2.3.2. Composición	33
2.2.3.3. Ingredientes	34
2.2.3.4. Elaboración	35
2.2.3.5. Condiciones generales	36
2.2.3.6. Requisitos	37
2.2.3.7. Reología de la masa	37
2.2.3.7.1. Farinógrafo	38
2.2.3.7.2. Extensógrafo	40
2.2.3.8. Calidad del pan	42
2.2.3.8.1. Volumen específico	42
2.2.3.8.2. Textura instrumental	43
2.2.3.8.3. Color instrumental	45
2.2.3.8.4. Atributos sensoriales	45

III. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. Lugar de ejecución.....	46
3.2. Materiales	46
3.2.1. Materia prima	46
3.2.2. Insumos.....	46
3.2.3. Reactivos	47
3.2.4. Equipos	48
3.2.5. Utensilios	49
3.2.6. Materiales de vidrio	49
3.2.7. Otros materiales	49
3.3. Procedimiento experimental	50
3.3.1. Obtención de pectina de mesocarpio de granadilla	50
3.3.2. Elaboración de pan de molde.....	56
3.4. Métodos de análisis.....	60
3.4.1. Cálculo del rendimiento de pectina extraída	60
3.4.2. Determinación de la calidad de la pectina	61
3.4.2.1. Análisis fisicoquímico	61
3.4.2.2. Análisis funcional	62
3.4.3. Evaluación de la reología de la masa.....	64
3.4.3.1. Análisis farinográfico.....	64
3.4.3.2. Análisis extensográfico	64
3.4.4. Evaluación de la calidad del pan de molde.....	64
3.4.4.1. Análisis tecnológico.....	64
3.4.4.2. Análisis sensorial	65
3.4.5. Análisis proximal del pan de molde	66
3.4.5.1. Determinación del porcentaje de humedad.....	66
3.4.5.2. Determinación del porcentaje de cenizas.....	66
3.4.5.3. Determinación del porcentaje de proteína	67
3.4.5.4. Determinación del porcentaje de grasa	67
3.4.5.5. Determinación del porcentaje de carbohidratos.....	67
3.5. Diseño de la investigación	67
3.5.1. Tratamientos y aleatorización.....	68
3.5.2. Modelo estadístico.....	69
3.5.3. Hipótesis estadística	69

3.5.4. Análisis de varianza.....	69
3.5.5. Esquema experimental.....	71
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1. Determinación del rendimiento de pectina de granadilla	72
4.2. Determinación de la calidad de la pectina de granadilla	73
4.3. Evaluación de la reología de la masa adicionada con pectina de granadilla	75
4.4. Evaluación de la calidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	88
4.5. Determinación de la composición proximal del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	103
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1. Conclusiones.....	104
5.2. Recomendaciones	105
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	106
VII. ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1	Macronutrientes del mesocarpio de granadilla	21
Cuadro 2	Características fisicoquímicas de la pectina de granadilla y la pectina comercial....	30
Cuadro 3	Propiedades funcionales de la pectina de granadilla	31
Cuadro 4	Energía y macronutrientes del pan de molde.....	33
Cuadro 5	Micronutrientes del pan de molde	34
Cuadro 6	Requisitos fisicoquímicos del pan de molde	37
Cuadro 7	Requisitos microbiológicos del pan de molde	37
Cuadro 8	Parámetros del análisis de perfil de textura	43
Cuadro 9	Formulación base para elaborar pan de molde	60
Cuadro 10	Escala hedónica para la evaluación sensorial del pan de molde.....	66
Cuadro 11	Codificación alfabética de las formulaciones del pan de molde	66
Cuadro 12	Tabla de tratamientos del DCA	68
Cuadro 13	Croquis de aleatorización de tratamientos del DCA	68
Cuadro 14	Análisis de varianza para la interacción de las variables.....	70
Cuadro 15	Análisis de varianza para el análisis sensorial	70
Cuadro 16	Rendimiento de pectina extraída del mesocarpio de granadilla	72
Cuadro 17	Atributos de calidad de la pectina de granadilla.....	73
Cuadro 18	Parámetros farinográficos de la masa adicionada con pectina de granadilla	75
Cuadro 19	Análisis de varianza para la consistencia de la masa adicionada con pectina de granadilla	76
Cuadro 20	Prueba HSD de Tukey para la consistencia de la masa adicionada con pectina de granadilla	77
Cuadro 21	Análisis de varianza para la absorción de agua de la masa adicionada con pectina de granadilla	77
Cuadro 22	Prueba HSD de Tukey para la absorción de agua de la masa adicionada con pectina de granadilla	78
Cuadro 23	Análisis de varianza para el tiempo de desarrollo de la masa adicionada con pectina de granadilla	79
Cuadro 24	Prueba HSD de Tukey para el tiempo de desarrollo de la masa adicionada con pectina de granadilla	79

Cuadro 25	Análisis de varianza para la estabilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla	80
Cuadro 26	Prueba HSD de Tukey para la estabilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla	81
Cuadro 27	Parámetros extensográficos de la masa adicionada con pectina de granadilla...	82
Cuadro 28	Análisis de varianza para la resistencia a la extensión de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo	84
Cuadro 29	Prueba HSD de Tukey para la resistencia a la extensión de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo	85
Cuadro 30	Análisis de varianza para la extensibilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo	85
Cuadro 31	Prueba HSD de Tukey para la extensibilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo.....	86
Cuadro 32	Análisis de varianza para la resistencia máxima de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo.....	87
Cuadro 33	Prueba HSD de Tukey para la resistencia máxima de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo	87
Cuadro 34	Volumen específico del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	88
Cuadro 35	Análisis de varianza para el volumen específico del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	89
Cuadro 36	Parámetros texturales del pan de molde adicionado con pectina de granadilla..	90
Cuadro 37	Análisis de varianza para la dureza del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	91
Cuadro 38	Prueba HSD de Tukey para la dureza del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	92
Cuadro 39	Análisis de varianza para el índice de elasticidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	92
Cuadro 40	Análisis de varianza para la masticabilidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	93
Cuadro 41	Prueba HSD de Tukey para la masticabilidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	94
Cuadro 42	Color instrumental de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	95

Cuadro 43	Análisis de varianza para la luminosidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	95
Cuadro 44	Prueba HSD de Tukey para la luminosidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	96
Cuadro 45	Análisis de varianza para la cromacidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	97
Cuadro 46	Análisis de varianza para el ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	97
Cuadro 47	Prueba HSD de Tukey para el ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	98
Cuadro 48	Calidad sensorial del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	99
Cuadro 49	Análisis de varianza para el color del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	100
Cuadro 50	Análisis de varianza para el olor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.	100
Cuadro 51	Análisis de varianza para el sabor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.	101
Cuadro 52	Prueba HSD de Tukey para el sabor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	101
Cuadro 53	Análisis de varianza para la textura del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.	102
Cuadro 54	Análisis de varianza para la aceptabilidad general del pan de molde adicionado con pectina de granadilla	102
Cuadro 55	Composición proximal del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes del fruto de granadilla.	19
Figura 2: Modelo de región lisa y región pilosa de pectina.....	25
Figura 3: Modelo de columna vertebral RG-I de pectina.	26
Figura 4: Farinograma con valores indicados.....	40
Figura 5: Extensograma con valores indicados.	41
Figura 6: Esquema de fuerza-deformación del análisis de perfil de textura.	45
Figura 7: Diagrama de flujo del acondicionamiento del mesocarpio de granadilla.	51
Figura 8: Diagrama de flujo de la extracción de pectina del mesocarpio de granadilla.	54
Figura 9: Diagrama de flujo de la elaboración de pan de molde adicionado con pectina de granadilla.....	57
Figura 10: Esquema experimental de la investigación.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico del proceso de acondicionamiento del mesocarpio de granadilla	111
ANEXO 2: Panel fotográfico del proceso de extracción de pectina del mesocarpio acondicionado de granadilla	115
ANEXO 3: Panel fotográfico del proceso de elaboración de pan de molde adicionado con pectina de granadilla	118
ANEXO 4: Panel fotográfico de la determinación de la calidad de la pectina de granadilla.....	124
ANEXO 5: Panel fotográfico de la evaluación de la reología de la masa	126
ANEXO 6: Panel fotográfico de la evaluación de la calidad del pan de molde	128
ANEXO 7: Panel fotográfico del análisis proximal del pan de molde	130

RESUMEN

Este estudio evaluó la influencia de la pectina de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en la reología de la masa y la calidad del pan de molde. Se extrajo pectina del mesocarpio, determinando su rendimiento y calidad mediante análisis fisicoquímico y funcional. La pectina obtenida presentó características que la clasifican como de alta metoxilación y propiedades funcionales favorables, lo que permitió su aplicación en pan de molde. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0.05$) para comparar tratamientos (0-2 % de pectina). La estabilidad de la masa disminuyó con la adición de pectina, mientras que la absorción de agua y la resistencia a la extensión aumentaron. En el pan, la pectina no afectó el volumen específico ni el color, pero incrementó la dureza y la masticabilidad. Sensorialmente, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Se concluye que la pectina de granadilla puede utilizarse en pan de molde sin comprometer su aceptabilidad, aunque su efecto en la textura requiere mayor estudio.

Palabras clave: pectina, granadilla, reología, masa, calidad, pan de molde.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of granadilla pectin (*Passiflora ligularis* Juss.) on dough rheology and the quality of sandwich bread. Pectin was extracted from the mesocarp, and its yield and quality were determined through physicochemical and functional analyses. The obtained pectin exhibited characteristics classifying it as high-methoxyl and showed favorable functional properties, allowing its application in sandwich bread. A completely randomized design (CRD) was used, along with analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p < 0.05$) to compare treatments (0–2% pectin). Dough stability decreased with pectin addition, while water absorption and resistance to extension increased. In the final bread, pectin did not significantly affect specific volume or color but increased hardness and chewiness. Sensory analysis revealed no significant differences between treatments. It is concluded that granadilla pectin can be used in sandwich bread without compromising its acceptability, although its effect on texture requires further study.

Keywords: pectin, granadilla, rheology, dough, quality, sandwich bread.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos siempre ha generado grandes cantidades de residuos, tal es el caso del procesamiento de frutas tropicales como la granadilla. “La granadilla al ser un producto de agroexportación no tradicional emergente y con crecimiento sostenido” (J. C. León, 2024) ha estado originando descarte de fruta entera que no puede ser comercializada como fruta fresca.

Por otro lado, “la granadilla, es una fruta con grandes posibilidades de industrialización, para la producción de jugos, néctares, yogurt, licores, bebidas energizantes, mermeladas, entre otros” (J. C. León, 2024), lo que también viene generando residuos del procesamiento que son la cáscara y las semillas que representan alrededor del 50 % del peso del fruto, es decir más de la mitad de la fruta se desecha; sin embargo, estos residuos tienen componentes nutritivos, funcionales o de interés que pueden ser aprovechados, como por ejemplo la pectina, aditivo alimentario que tiene mucha demanda porque es ampliamente usado en distintas industrias, esto daría un valor agregado a la cáscara (específicamente a la parte blanca, correspondiente al mesocarpio) y se convertiría en un subproducto extraído mediante hidrólisis ácida.

En este contexto, se busca incorporar la pectina obtenida del mesocarpio de granadilla en un producto destinado al consumo humano. Dentro de los alimentos más consumidos se encuentran los productos de panificación, en los cuales se ha estado investigando la influencia de agregarle distintos aditivos, como es el caso de adicionar pectinas al pan de molde dado que “agregar pectina mejora la agregación macromolecular del gluten y mejora las propiedades reológicas de la masa al inducir una densa red de gluten” (Zhang y otros, 2021), obteniendo diferentes resultados que repercuten en la calidad del pan de molde, pero aún no están definidos los porcentajes de adición de pectina de granadilla debido a que en la mayoría de las investigaciones se usaron pectinas comerciales (de manzana).

Por esto surge la siguiente interrogante:

¿De qué manera influye la adición de pectina extraída del mesocarpio de granadilla en la reología de la masa y la calidad del pan de molde?

Para responder a dicha interrogante, el estudio planteó el objetivo de evaluar la influencia de adicionar pectina extraída del mesocarpio de granadilla en la reología de la masa y la calidad del pan de molde, el mismo que direccionó a definir los objetivos específicos siguientes:

- Determinar el rendimiento de pectina en el proceso de extracción a partir del mesocarpio de granadilla.
- Determinar la calidad de la pectina extraída del mesocarpio de granadilla mediante análisis fisicoquímico y funcional.
- Evaluar la reología de la masa usada para elaborar pan de molde con adición de pectina de mesocarpio de granadilla mediante análisis farinográfico y extensográfico.
- Evaluar la calidad de las diferentes formulaciones de los panes de molde con adición de pectina de mesocarpio de granadilla mediante análisis tecnológico y sensorial.
- Determinar la composición de las diferentes formulaciones de los panes de molde con adición de pectina de mesocarpio de granadilla mediante análisis proximal.

La industrialización de la granadilla en Perú está tomando fuerza en la actualidad gracias al apoyo del Estado y las empresas privadas. “En 2021, Perú produjo 62.000 toneladas de granadilla” (J. C. León, 2022b) de las cuales la región Áncash aportó 51 toneladas, según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, MIDAGRI (2022), y ese mismo año “en el caso de la granadilla, estas exportaron principalmente en su presentación fresco (US\$ 109.0 miles) y pulpa (US\$ 7.2 miles)” (Centro de Investigación de Economía y Negocios globales - Asociación de Exportadores, CIEN-ADEX, 2022); a su vez se viene utilizando su pulpa para la elaboración de productos agroindustriales en varias plantas procesadoras ubicadas en zonas estratégicas de las regiones productoras. Esto está generando residuos como la cáscara, dentro de la cual se encuentra el mesocarpio que aún tiene distintos componentes valiosos por lo que puede ser aprovechado para generar diferentes subproductos. Dicho mesocarpio tiene características idóneas para ser usado como fuente de pectina, que se puede incluir en productos de consumo diario, pero perecederos, como es el caso del pan de molde, con la finalidad de modificar propiedades a nivel interno (interactuando con las proteínas del gluten) sin alterar sus características organolépticas para que pueda ser aceptado por el consumidor.

Finalmente, para contrastar los resultados y orientar a la investigación hacia el logro de los objetivos, en base al marco teórico fue enunciada la hipótesis:

La adición de pectina extraída del mesocarpio de granadilla (0-2%) influye de manera positiva mejorando la reología de la masa y la calidad del pan de molde.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Moreno (2017) evaluó la influencia de la harina de cáscara de mango y el ácido ascórbico en el pan de molde, considerando características fisicoquímicas y sensoriales, concluyó que la adición de 5-15% de harina redujo el volumen específico (<4.6 ml/g); logró el mejor sabor con 7.6% de harina y 60 ppm de ácido ascórbico, mientras que las formulaciones óptimas para minimizar dureza y masticabilidad incluyeron 8.7-8.71% de harina de cáscara de mango y 60 ppm de ácido ascórbico.

Ajibade & Ijabadeniyi (2018) estudiaron el efecto de emulsionantes y pectina de manzana (1.0–2.0 g) en la reología de la masa y la calidad del pan elaborado con harina de trigo (50%), mijo (25%) y Bambara (25%), donde encontraron que la pectina aumentó la estabilidad de la masa en un 35.2% y los emulsionantes en un 18.2%, asimismo, el volumen y la composición proximal del pan mejoraron significativamente, con una aceptabilidad sensorial superior a la media de la investigación, de su evaluación, concluyeron que la adición de 1.5% de pectina optimizó la estabilidad de la masa, mientras que la mejor aceptación general se obtuvo con un 2% de pectina.

Díaz & Flores (2018) evaluaron la influencia de la harina de cáscara de maracuyá y el ácido ascórbico en pan de molde, analizando propiedades tecnológicas, fibra dietética total (FDT) y atributos sensoriales, determinando que niveles de 3.88-8.12% de harina y 88-100 ppm de ácido ascórbico favorecen un mayor volumen específico (4.6-4.7 mL/g), además, la adición de fibra mejoró la calidad del pan, superando el 3% de FDT, mientras que para optimizar color y sabor recomendaron concentraciones de 3-6% de harina y la mejor textura (menor dureza, firmeza y masticabilidad) se logró con 5.2-5.3% de harina y 60 ppm de ácido ascórbico, concluyeron que el mejor tratamiento (6% harina de cáscara de maracuyá y 20 ppm ácido ascórbico) obtuvo valores en su composición proximal superiores al pan de molde blanco.

Li y otros (2018) analizaron el impacto de diferentes tipos de pectina de manzana (alto metoxilo - HMAP, bajo metoxilo - LMAP y amidación - ALMAP) en la reología de la masa y la calidad del pan chino al vapor (CSB), encontrando que todas afectaban la red de gluten, especialmente LMAP y ALMAP, que debilitaron la masa, aunque en concentraciones adecuadas mejoraron la fermentación, la estabilidad de los poros y la

retención de gas, mientras que en el CSB dosis de 0.2%-0.6% de HMAP o LMAP aumentaron la elasticidad y redujeron dureza y masticabilidad, y 0.2%-1% de HMAP y otras combinaciones mejoraron el volumen específico y redujeron la pérdida de humedad, concluyendo que la HMAP es la más efectiva para optimizar la fermentación y la calidad del CSB.

Apolo (2019) determinó las condiciones óptimas para extraer pectina de las cáscaras de tres especies de *Passiflora*, incluida la granadilla, para ello, comparó tres tipos de hidrólisis ácida (con ácido clorhídrico, cítrico y láctico), separó la pectina mediante precipitación con alcohol etílico y posteriormente la caracterizó, concluyendo que presentaba una calidad adecuada.

Chero (2019) evaluó la viscosidad de la pectina de granadilla a distintas concentraciones y temperaturas; su estudio consistió en cuatro etapas: en la Etapa I determinó las características fisicoquímicas del albedo de granadilla; en la Etapa II extrajo la pectina mediante hidrólisis ácida bajo condiciones de pH 2, a 87°C por 90 minutos, alcanzando un rendimiento de 6.23%; en la Etapa III realizó la caracterización fisicoquímica de la pectina; por último, en la Etapa IV encontró el mejor tratamiento T5 (0.85% y 60°C) a viscosidad de 1.204 Pa.s.

Donchenko y otros (2020) estudiaron si la pectina de manzana puede utilizarse en la obtención de productos de panadería, por eso determinaron la importancia de las propiedades de la pectina como la solubilidad, el hinchamiento, la viscosidad, la susceptibilidad al ácido y la hidrólisis enzimática para el proceso tecnológico; presentaron los resultados del efecto de la pectina en el proceso de fermentación de la masa y en las propiedades de calidad y sorción del pan de trigo, también, aportaron la justificación experimental de la forma más racional de introducir la pectina en la masa, además, confirmaron el efecto de las sustancias pécticas en el proceso de acumulación de ácidos durante la fermentación de la masa; finalmente, concluyeron que la adición de pectina de manzana conduce a la intensificación de los procesos biotecnológicos y proporciona una alta calidad y propiedades de sorción de los productos terminados.

Jara & Mori (2021) evaluaron el efecto de la adición de hidrocoloides (pectina del 0.5 al 2% y harina de 1.5 a 6%) derivados de la cáscara de maracuyá sobre la textura, humedad y aceptación del pan de molde durante su almacenamiento; las formulaciones con 0.5 y 1% de pectina mostraron mayor aceptación a lo largo del almacenamiento,

mientras que los tratamientos con 1 y 1.5% de pectina presentaron la mayor vida útil (15 días), asimismo, adiciones del 1.5% y 2% de pectina manifestaron los menores datos para fracturabilidad, masticabilidad y dureza; concluyeron que agregados de 0.5, 1 y 1.5% de pectina mejoran la calidad y la vida útil del pan de molde.

Chuqui (2021) elaboró pan de molde sustituyendo entre un 2% y 8% de harina de trigo por harina de cáscara de maracuyá y agregando entre 50 y 250 ppm de ácido ascórbico, sus resultados mostraron que el volumen específico disminuyó por debajo de 4.6 mL/g cuando la sustitución superó el 5% y la adición de ácido ascórbico fue menor a 150 ppm, además, se optimizaron los valores más bajos de firmeza, dureza y masticabilidad, y los productos presentaron buena aceptabilidad.

Zhang y otros (2021) investigaron los cambios en la propiedad agregativa del gluten, sus propiedades reológicas y su estructura secundaria, así como en la red de gluten, cuando se complementa con pectina de manzana, donde demostraron que agregar pectina en un nivel bajo (por debajo del 1%) mejora la agregación macromolecular del gluten y mejora las propiedades reológicas de la masa al inducir una densa red de gluten; observaron que la presencia de pectina disminuyó el contenido de α -hélice, pero aumentó el contenido de hoja β y giro β en la estructura del gluten, lo que sugiere que la pectina afectó el nivel de hidratación del gluten, lo que condujo a la formación de estructuras β agregadas.

2.2.Marco conceptual

2.2.1. Granadilla

2.2.1.1. Generalidades

La granadilla, de nombre científico *Passiflora ligularis* Juss, es una de las principales especies del género *Passiflora* L. (Arias, 2015). Pertenecce a la familia *Passifloraceae* que reúne gran cantidad de especies, entre estas destacan el maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims), el tumbo (*P. quadrangularis* L.) y el poro poro (*P. tripartita* var. *mollissima*), que se extienden desde zonas cercanas al nivel del mar hasta altitudes mayores a 2000 m s. n. m. (Cerdas & Castro,

2003; Esquerre-Ibáñez y otros, 2014). Esta especie suele cultivarse en altitudes de 1400 a 2200 metros cerca del Ecuador, con extremos de 800 y 3000 metros; crece a temperaturas medias de 14 a 22°C y una humedad relativa del 70% (Coppens y otros, 2001). Es originaria de América Tropical y crece de manera silvestre desde México hasta Venezuela, así como en Perú y Bolivia (Cerdas & Castro, 2003). En Perú, su cultivo se remonta a la época precolombina, siendo considerada una fruta nativa. (J. C. León, 2024).

Debido a su polinización cruzada, la granadilla presenta una alta variabilidad genética, lo que impide definir variedades específicas, por lo que no existen variedades comerciales establecidas (Bernal, 1990 como se citó en Rivera y otros, 2002; Coppens y otros, 2001). Sin embargo, los cruzamientos naturales han dado lugar a distintos tipos que se comercializan en los mercados (Saldarriaga, 1989 como se citó en Rivera y otros, 2002).

De acuerdo con Rivera y otros (2002) los distintos tipos de granadilla se clasifican según el tamaño, la forma y la dureza de la corteza:

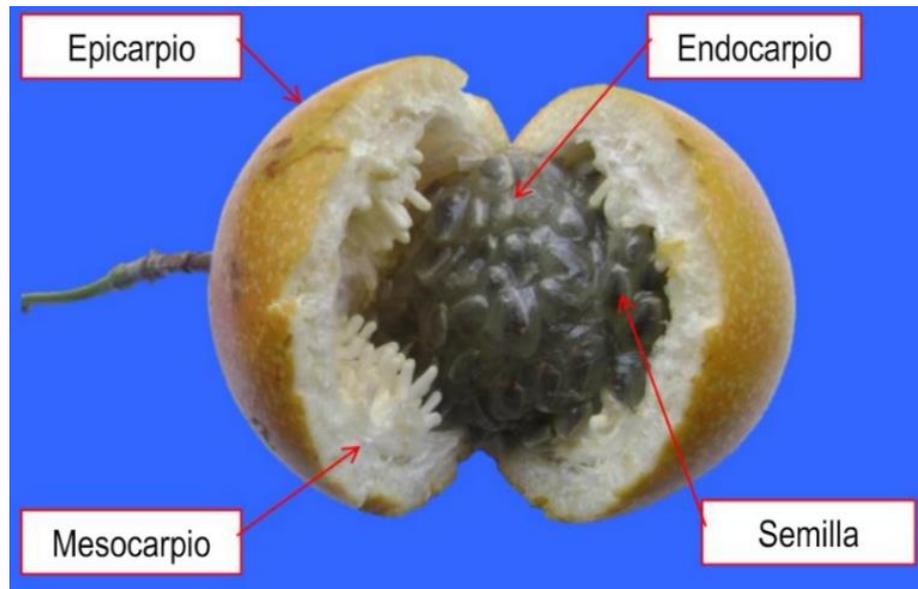
- Tamaño: grande (>100 g), mediana (70-100 g) y pequeña (<70 g).
- Forma: completamente redonda, redonda-achatada, alargada-oval y alargada-aperada.
- Corteza: gruesa, media y delgada.

El fruto de la granadilla es una baya de forma esférica u ovoide cuyas medidas son de 5 a 9 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho, estrechándose hacia el pedúnculo, y su peso varía entre 80-140 g (Arias, 2015; Coppens y otros, 2001; NTC 4101, 1997 como se citó en Carvajal-De Pabón y otros, 2014).

Las partes componentes del fruto son: exocarpio (corteza dura, también llamado epicarpio), mesocarpio (cubierta blanca y esponjosa), endocarpio (pulpa comestible) y semillas (Villamizar de Borrero y otros, 1992).

Figura 1

Partes del fruto de granadilla



Nota. Adaptado de *Granadilla - Morfología-Fisiología*, por F. Gonzales, 2012, (<https://es.calameo.com/books/0012534044c0d487eab0a>).

El epicarpio es duro, amarillo o anaranjado con puntos blancos, con seis líneas del ápice a la base de color amarillo o anaranjado uniforme, suele presentar máculas pálidas a rojizo en estado maduro, mide menos de 1 mm de espesor y le da una gran solidez al fruto (Esquerre-Ibáñez y otros, 2014; J. León, 1968).

El mesocarpio es blanco, esponjoso, seco, de 5 mm de grueso (J. León, 1968).

El fruto tiene cerca de doscientas semillas que son planas, elípticas y negras (Cerdas & Castro, 2003; J. León, 1968). Las semillas se agrupan en tres placentas longitudinales situadas en la pared del fruto que está representada por una fina membrana blanca (J. León, 1968).

Cada semilla está dentro de un envoltorio transparente, llamado arilo, que contiene la parte jugosa y comestible, conocida como pulpa (Cerdas & Castro, 2003). Los arilos están adheridos a la pared del fruto a través de funículos, desprendidos de la placentación parietal (Tillett, 1988 como se citó en Bonilla y otros, 2015).

En esta fruta, cerca del 50% es cáscara (exocarpio: 28.2% más mesocarpio: 17.6%), lo demás forma la parte comestible (endocarpio y semilla); el contenido promedio de pulpa y semilla representa entre el 30% y 68% del peso total del fruto, donde la pulpa aporta del 20% al 55%, y el resto corresponde a las semillas (Arias, 2015; Cerdas & Castro, 2003; Villamizar de Borrero y otros, 1992).

Dado que la granadilla es una fruta climatérica, puede ser cosechada incluso cuando su epicarpio ha desarrollado solo un 20-25% de color amarillo o anaranjado y después madura con normalidad (Cerdas & Castro, 2003).

Respecto a su valor nutricional, la granadilla es fuente de fibra, vitaminas y minerales (calcio, fósforo, hierro y potasio), con bajos contenidos de calorías (Arias, 2015).

Gracias a su sabor dulce y aroma característico, la granadilla es ampliamente aceptada para el consumo en fresco (Rivera y otros, 2002). Sin embargo, su procesamiento resulta complejo debido a la fragilidad de sus semillas, las cuales no se desprenden fácilmente de los arilos (Universidad de los Andes, 1994 como se citó en Rivera y otros, 2002). Sin embargo, se reconoce que de ella se pueden preparar jugos, néctares, refrescos, jaleas, mermeladas, jarabes, cócteles y helados (Rivera y otros, 2002).

2.2.1.2. Composición del mesocarpio

El Cuadro 1 presenta la composición proximal del mesocarpio de granadilla reportada por Chasquibol-Silva y otros (2008) y Chero (2019). Se detallan los macronutrientes en porcentaje, incluyendo humedad, cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos. Se observa que los valores de humedad son similares en ambos estudios, mientras que las proteínas se calcularon con factores distintos de conversión ($N \times 5.71$ y $N \times 6.25$).

Cuadro 1

Macronutrientes del mesocarpio de granadilla

Componentes	Chasquibol-Silva y otros (2008)	Chero (2019)
Humedad (%)	87.74	88.93
Cenizas (%)	1.96	1.97
Proteínas (%)	0.54 (N*5.71)	0.92 (N*6.25)
Grasas (%)	0.61	-
Carbohidratos (%)	6.05	6.03

Nota. Chero (2019) no determinó el porcentaje de grasas.

2.2.1.3. Situación en Perú

Sobre la granadilla en Perú que se produce y que tiene mejor oportunidad comercial no existe una variedad definida como tal; se trata de una granadilla cultivada a partir de semilla colombiana, un material mejorado que no está catalogado dentro de una lista de variedades, sino que se distingue únicamente por sus biotipos; por lo tanto, a la granadilla que se comercializa en el país se le denomina del tipo colombiana (Sierra y Selva Exportadora (SSE), 2019).

En el Perú esta fruta ha sido reportada en los departamentos de Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Junín, Lambayeque, La Libertad, Lima, Madre de Dios y Pasco (Esquerre-Ibáñez y otros, 2014), entre otros. Pasco es la principal región productora de granadilla, participando con el 51% del total producido en 2021, le sigue Junín que concentró el 17% de la producción nacional, luego vienen Lima (7%), Cajamarca (6%), Huánuco (4%), La Libertad (4%) y otros (11%), de acuerdo con lo mencionado por Viviana Mendoza, especialista de la Unidad de Inteligencia Comercial de SSE (J. C. León, 2022b). En Pasco, se resalta a la provincia de Oxapampa, que ha captado el mayor volumen de producción y área cosechada de granadillas durante el 2017, seguido de la misma provincia de Pasco y Daniel Alcides Carrión, destacan estos lugares debido a su altitud y clima lluvioso; el

nicho de producción de la granadilla se encuentra generalmente entre los 1 800 y 2 400 m s.n.m., cultivándose principalmente en la sierra, aunque también en zonas de ceja de selva como Oxapampa, esto quiere decir que varias áreas cumplen con dichas condiciones altitudinales (SSE, 2019).

Pérez Solf y otros (2006) mencionan que, en el ciclo vegetativo anual de la granadilla, se observa de forma natural un período de aparente inactividad a finales de otoño o invierno; sin embargo, en muchas zonas, la planta continúa creciendo y produciendo durante todo el año. Además, señalan que, sin poda, la producción es estacional, mientras que con podas mensuales se mantiene de manera continua.

Según Mendoza, en 2021 Perú produjo casi 62 000 toneladas de granadilla, mostrando una ligera caída de -1.6% frente a las más de 63 000 toneladas producidas en 2020, mientras que en 2019 la producción de dicha fruta fue de casi 53 000 toneladas y en 2018 estuvo cerca de 55 000 toneladas (J. C. León, 2022b). Mendoza detalló que el rendimiento productivo de granadilla en 2021 logró las 10.13 toneladas por hectárea en promedio (J. C. León, 2022b).

En la actualidad, 6,158 productores se dedican al cultivo de granadilla en el país; el costo promedio para instalar una hectárea de este cultivo oscila entre S/ 20,000 y S/ 25,000, representando una inversión considerable para la agricultura familiar (J. C. León, 2022b).

En 2023, las exportaciones peruanas de granadilla alcanzaron los US\$ 759.000, lo que representó un incremento de +5% frente a los US\$ 738.000 reportados el año anterior (J. C. León, 2024).

La granadilla es exportada principalmente como fruta fresca y refrescos, los que son enviados a Alemania, Chile, España, Francia, Guatemala, Italia, Países Bajos, Reino Unido, Suiza, etc. (J. C. León, 2024).

Algunas empresas exportadoras de granadilla procedente de Perú son: Agrokaru, Agroindustrias AIB S.A., Agromania, Multiservicios Romero's & Moreno's, Nitho's Company, Noval Company, Olla de Barro Food, Organic Peruvian Foods, Reanpeza y Blossom International Perú (J. C. León, 2024).

Cada 26 de abril se celebra el “Día Nacional de la Granadilla”, establecido mediante Resolución Ministerial N° 0328-2020-MIDAGRI, esta iniciativa fomenta la realización de festivales, concursos, ferias y otros eventos a nivel nacional, regional y local, con el objetivo de impulsar la economía, fortalecer el posicionamiento comercial de la granadilla peruana en mercados nacionales e internacionales y promover su exportación (J. C. León, 2024).

Es fundamental continuar con iniciativas para potenciar la productividad de la granadilla, incluyendo el desarrollo de variedades comerciales, la certificación de semillas y la optimización de los sistemas de cultivo; además, es necesario implementar estrategias de promoción comercial que permitan maximizar los beneficios para los agricultores y sus familias (J. C. León, 2024).

Con el objetivo de agregar valor a la granadilla mediante la producción de derivados como néctar, pulpa, jalea y mermelada, el Estado peruano ha promovido la instalación de plantas procesadoras en diversas zonas productoras del país, un ejemplo de ello es la inauguración, en agosto de 2021, de la quinta planta procesadora en Pachachupán, distrito de Chinchao, Huánuco, por parte del Gobierno Regional a través de la Dirección Regional de Agricultura; esta planta, equipada con almacén, pulpeadora, envasadora al vacío, congeladora y otros equipos, busca fortalecer la economía de los beneficiarios del proyecto de granadilla (Ofic. Regional de Comunicaciones, Imagen y Protocolo, 2021).

2.2.2. Pectina

Para Ferguson (2020), las pectinas son fibras solubles naturales presentes en las plantas y están compuestas por ácidos galacturónicos enlazados o carbohidratos, además señala que se trata de un carbohidrato fibroso que contribuye a mantener la estructura de las frutas y otras partes de la planta ya que fortalece las paredes celulares y une las células, también destaca que la pectina se adhiere a las moléculas de agua y posee propiedades elásticas que permiten a las plantas doblarse con flexibilidad en climas ventosos.

La pectina es un polvo blanco, amarillento, gris claro o marrón claro, que funciona como agente gelificante, espesante, emulsificante y estabilizante (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2019).

2.2.2.1. Estructura

Al respecto, hoy en día, es ampliamente aceptado que la pectina es una macromolécula heterogénea compuesta de dominios distintos interconectados, cuya cantidad relativa y estructura varían según el origen botánico, los tipos de células y órganos considerados, las etapas de desarrollo celular y la ubicación precisa dentro de la pared celular (Voragen y otros, 2009 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020). Además de esta diversidad biológica, la estructura de la pectina varía ampliamente según el método de extracción utilizado (Ropartz & Ralet, 2020). Coexisten diferentes poblaciones de pectina que están más o menos fuertemente ancladas en la pared celular y se necesita una gran cantidad de pasos de extracción para extraer toda la pectina (Broxterman, 2018 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020).

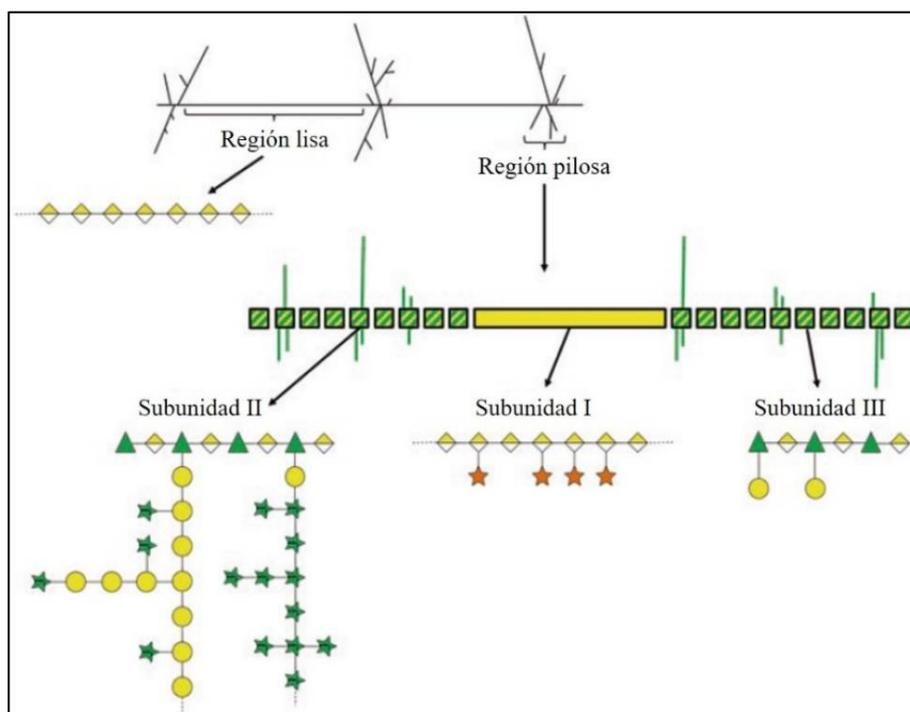
Ropartz & Ralet (2020) dicen que se suelen considerar dos familias principales de elementos estructurales de pectina: los galacturonanos y el ramnogalacturonano I (RG-I). Los galacturonanos están formados por una espina dorsal de residuos de ácido D-galacturónico (GalA) vinculados con enlace α -(1,4). Esta columna vertebral del galacturonano puede no estar ramificada (homogalacturonano) o estar decorada con cadenas laterales más o menos complejas. La columna vertebral de la RG-I está formada por la unidad de repetición diglicosilada [2- α -L-Rha-(1,4)- α -D-GalA-(1)] (Lau y otros, 1985 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020). Los residuos de ramnosa (Rha) están ramificados en las posiciones *O*-4 (principalmente) y *O*-3 (escasamente) con cadenas laterales de azúcares neutros simples o poliméricos que incluyen residuos de arabinosa (Ara) y galactosa (Gal) en varias combinaciones (Lau y otros, 1985; Colquhoun y otros, 1990 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020).

Se suelen prever cuatro tipos principales de cadenas laterales poliméricas: arabinanos, galactanos, arabinogalactanos de tipo I (AG-I) y arabinogalactanos de tipo II (AG-II) (Yapo, 2011 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020). (pág. 17-18)

Según Ropartz & Ralet (2020) actualmente, dos modelos de la estructura de la pectina están en debate: (1) el modelo de regiones lisas y pilosas establecido por de Vries y otros (1981) y actualizado por Schols & Voragen (1996) (Figura 2) y (2) el modelo de columna vertebral RG-I propuesto por Vincken y otros (2003) (Figura 3).

Figura 2

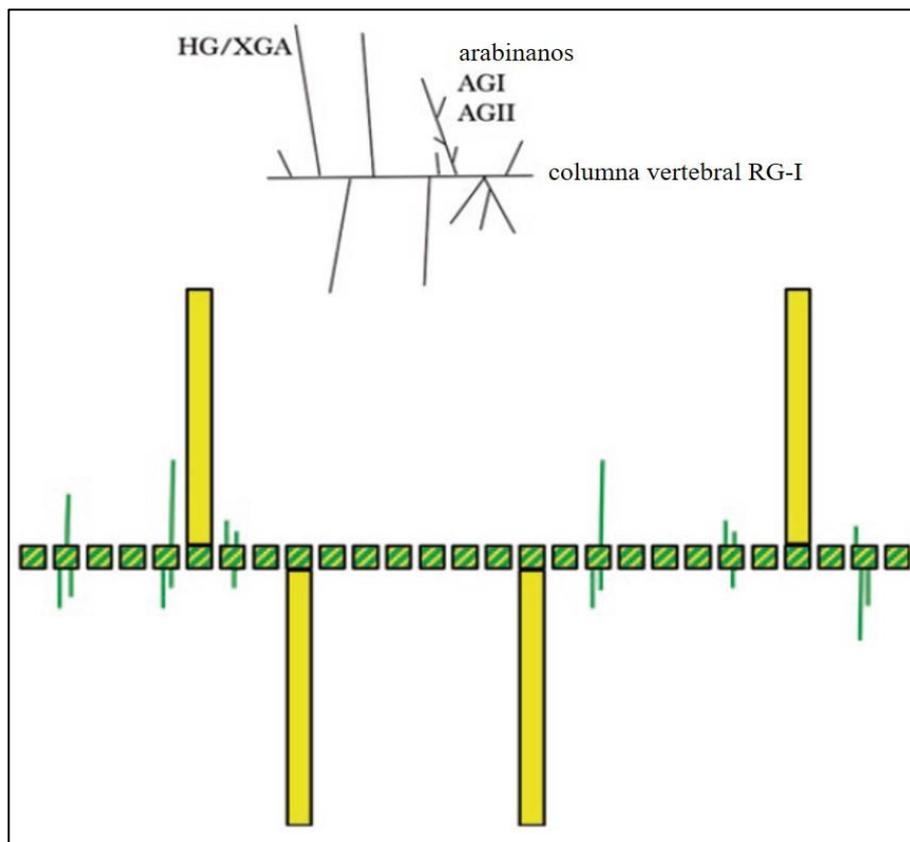
Modelo de región lisa y región pilosa de pectina



Nota. La región lisa consiste en homogalacturonano. La región pilosa consta de tres tipos de subunidades: la subunidad I formada por xilogalacturonano, la subunidad II formada por RG-I rico en arabinano y arabinogalactano tipo II y la subunidad III formada por tramos cortos de RG-I poco sustituidos. Adaptado de *Pectin smooth and hairy region model*, por Schols y Voragen (1996) como se citó en Ropartz & Ralet (2020) en *Pectin Structure*. En V. Kontogiorgos (Ed.), *Pectin: Technological and Physiological Properties*, Springer Cham, pág. 29, (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9>).

Figura 3

Modelo de columna vertebral RG-I de pectina



Nota. El homogalacturonano y el xilogalacturonano (amarillo) junto con los arabinanos y arabinogalactanos (verde) son cadenas laterales de la columna vertebral RG-I. Adaptado de *Pectin RG-I backbone model*, por Ropartz & Ralet (2020) en *Pectin Structure*. En V. Kontogiorgos (Ed.), *Pectin: Technological and Physiological Properties*, Springer Cham, pág. 30, (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9>).

El modelo de regiones lisas y pilosas propone que los dominios de homogalacturonano (HG) se alternan con regiones “peludas”, estas últimas incluyen tres subunidades: subunidad I: (xilogalacturonano) XGA; subunidad II: trozos del esqueleto RG-I sustituidos por cadenas laterales arabinanas (o AG-II, Sun y otros, 2019 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020); y subunidad III: tramos de RG-I más bien cortos (cuatro o seis residuos) que no están sustituidos o están sustituidos por unidades individuales de Gal (Schols & Voragen, 1996 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020). Por el contrario, el modelo de columna vertebral RG-I posiciona a HG y XGA como cadenas laterales de RG-I (Vincken y otros, 2003 como se citó en Ropartz & Ralet, 2020). (pág. 28)

2.2.2.2. Fuentes

Ferguson (2020) afirma lo siguiente:

La pectina se encuentra en las áreas de rápido crecimiento de las plantas, particularmente en los núcleos y cáscaras de las frutas. Disponible comercialmente en formas naturales y sintéticas, la pectina se encuentra en todas las plantas y frutas hasta cierto punto. A medida que las frutas maduran, la pectina se desarrolla. Las frutas poco maduras tienen pectosa, o protopectina, que eventualmente se convierte en pectina. Algunas frutas tienen un alto contenido de pectina, mientras que otras son bajas en pectina. Por ejemplo, la mora, el membrillo, la manzana verde, la uva Concord, el arándano y los cítricos maduros tienen altos niveles de pectina. Las frutas con poca pectina son la cereza, el higo, la pera, el melocotón, la piña, el albaricoque y el kiwi. Cuando no están maduras, todas las frutas tienen pectina. Sin embargo, cuando maduran, muchos conservan algo de pectina, mientras que otros pierden casi toda su pectina. Aunque la pectina no es digerible en su forma natural, es modificable.

Cabe mencionar que el mesocarpio de granadilla presenta un porcentaje de pectato de calcio de 8.00 %, el cual es uno de los valores más altos dentro de los porcentajes determinados en catorce frutas y un tubérculo andino cultivados en Perú (Chasquibol-Silva y otros, 2008).

2.2.2.3. Extracción

Según Ferguson (2020):

El proceso de producción comercial de pectina varía según la empresa. Generalmente, los productores de jugo envían a la fábrica de pectina la materia prima, como el orujo o la cáscara de los cítricos. La materia prima se lava y se seca para que pueda enviarse y almacenarse sin estropearse. El orujo o la cáscara de los cítricos se mezcla con un agente de procesamiento, como ácido mineral o enzimas, ya que el agua por sí sola no extrae

suficiente pectina. Una vez extraída la pectina, los sólidos sobrantes se separan y la solución se clarifica y concentra eliminando parte del agua. A continuación, la pectina se precipita -es decir, forma un sólido insoluble- combinando alcohol, normalmente isopropanol o etanol, con el líquido concentrado. Después de que el precipitado se ha separado, se usa más alcohol para eliminar las impurezas. Cuando la pectina se seca, se muele hasta convertirla en polvo, se analiza y se mezcla con azúcar en un agente gelificante o estabilizador estándar.

La mejor manera de extraer la pectina es mediante el calentamiento. En este caso, la pectina se activa cuando se mezcla con azúcar en un brebaje ácido a fuego alto, generando un conjunto de gel para jaleas y mermeladas. Cuando la pectina se extrae a través del calentamiento, la propia pectina se puede degustar. Si bien no tiene sabor, tiene una sensación mucilaginoso o gomoso en la lengua y cubre el paladar.

Comercialmente, la pectina se extrae de plantas con niveles más altos de pectina, como los cítricos y la manzana, y sirve como espesante, agente gelificante, estabilizador, emulsionante y vehículo de medicamentos en las industrias alimentaria y farmacéutica. La pectina se usa principalmente como espesante para mermeladas y jaleas, pero también se puede encontrar en yogur, bebidas comerciales, otros alimentos, medicamentos y suplementos. Las moléculas de pectina provocan un espesamiento porque son largas y se entrelazan fácilmente entre sí, lo que hace que la pectina sea muy útil para mejorar la textura de las bebidas bajas en azúcar.

La pectina es una macromolécula altamente compleja que exhibe un alto grado de heterogeneidad intra e intermolecular. Cuando se extrae pectina de una muestra de planta dada, se extraen y mezclan diferentes poblaciones que estaban ubicadas en tejidos específicos o incluso en puntos específicos dentro de una sola pared celular. (Ropartz & Ralet, 2020, pág. 30)

2.2.2.4. Calidad

Ferreira (2007) señala que la calidad y la cantidad de pectina útil que poseen las frutas dependen de la especie, del tipo y de la parte de la fruta, de su estado de maduración al momento de ser cosechada, de las circunstancias de manipulación, de la actividad enzimática luego de la recolección y al ser extraída, y de la tecnología utilizada en el proceso de extracción.

En la fruta inmadura la mayor cantidad de material péctico es insoluble en agua, la cantidad y la solubilidad incrementan con la madurez (Graham, 1997 como se citó en Ferreira, 2007).

2.2.2.4.1. Características fisicoquímicas

a. Humedad (%)

Representa la cantidad de agua contenida en la pectina (Cabarcas y otros, 2012 como se citó en Chero, 2019). Rango ideal: 8-12%.

b. Cenizas (%)

Son las impurezas inorgánicas luego de incinerar la muestra (Barazarte, 2006 como se citó en Chero, 2019). Entre 1 y 2%.

c. Alcalinidad de las cenizas (%AC)

Es la cantidad de carbonatos alcalinos presentes en la pectina (Gómez y otros, 2001 como se citó en Chero, 2019). De 1 a 3%.

d. Peso equivalente

Es el número de gramos de ácido poligalacturónico puro por equivalente de grupos carboxilos libres (Nizama, 2015 como se citó en Chero, 2019). Se encuentra en rango de 600 a 1500 g/eq.

e. Contenido de metoxilo (%Me)

Es el total de grupos carboxílicos en forma de éster metílicos en la molécula de la pectina (-OCH₃) (Galeas, 2015 como se citó en Chero, 2019). Un contenido de metoxilo alto (más del 7%) indica que se trata de pectina de alto metoxilo (HM), mientras que un valor bajo (<7%) indica pectina de bajo metoxilo (LM). La HM se gelifica en presencia de azúcar y ácido, mientras que la LM se gelifica en presencia de calcio.

f. Contenido de ácido galacturónico (%AG)

Sirve para comprobar la pureza de la pectina (Nizama, 2015 como se citó en Chero, 2019). Para que una sustancia sea considerada pectina debe contener al menos un 65% de ácido galacturónico, pero varía entre 65 y 80% en pectinas comerciales.

g. Grado de esterificación (%GE)

Es el porcentaje de grupos carboxilo esterificados (Correa, 2012). Un GE superior al 50% indica pectina de alto grado de esterificación (AG), mientras que un GE inferior al 50% indica pectina de bajo grado de esterificación (BG).

Las características fisicoquímicas de la pectina en polvo extraída del mesocarpio de granadilla y pectina comercial evaluadas por Chero (2019) se enumeran en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Características fisicoquímicas de la pectina de granadilla y la pectina comercial

Características fisicoquímicas	Pectina de granadilla	Pectina comercial
Humedad (%)	9.15±0.01	9.26±0.01
Cenizas (%)	1.74±0.01	1.79±0.01
Alcalinidad de cenizas (%)	1.64±0.01	1.74±0.01
Peso equivalente (g/eq)	1309.52±0.14	1578.7±0.16
Contenido de metoxilo (%)	8.06±0.05	8.15±0.08
Ácido galacturónico (%)	67.1±0.07	59.74±0.09
Grado de esterificación (%)	74.82±0.04	77.42±0.06

Nota. Adaptado de *Evaluación de la viscosidad de la pectina de granadilla (Passiflora Ligularis Juss) a diferentes concentraciones y temperaturas* [Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”], por Y. Chero, 2019, pág. 71, (<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4296>).

2.2.2.4.2. Propiedades funcionales

a. Capacidad de hinchamiento (CH)

Es la capacidad que tiene la muestra para acrecentar su volumen en circunstancias de un exceso de agua (Tamayo y Bermúdez, 1998 como se citó en Rondan, 2010).

b. Capacidad de retención de agua (CRA)

Expresa la máxima cantidad de agua que puede retener una muestra seca, en circunstancias de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza patrón (Tamayo y Bermúdez, 1998 como se citó en Rondan, 2010).

c. Capacidad de retención de aceite (CRO)

Expresa la máxima cantidad de aceite, que puede ser retenida por un material seco en circunstancias de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza (Scheeman, como se citó en Zúñiga 2005 como se citó en Matos-Chamorro & Chambilla-Mamani, 2010).

Las propiedades funcionales de la pectina extraída del mesocarpio de granadilla evaluadas por Quintero (2016) se enumeran en el Cuadro 3.

Cuadro 3

Propiedades funcionales de la pectina de granadilla

Propiedades funcionales	Pectina de mesocarpio blanco de granadilla
Capacidad de hinchamiento	9.70±0.20 mL agua/g pectina
Capacidad de retención de agua	8.03±0.09 g agua/g pectina
Capacidad de retención de aceite	2.94±0.04 g aceite/g pectina

Nota. Adaptado de *Obtención y caracterización de hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola* [Universidad Nacional de Colombia"], por M. Quintero, 2016, pág. 72, 74, 76, (<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59559>).

2.2.2.5. Aplicaciones

En la industria alimentaria las pectinas poseen un extenso rango de aplicación como aditivos alimentarios ya que pueden funcionar como agentes gelificantes, espesantes, estabilizantes y emulsificantes.

Su utilización primordial es en las mermeladas, con 60-70 % de sólidos solubles totales y pH 3.0-3.3, donde las PAM gelifican, mientras que las PBM se aplican en mermeladas y jaleas bajas en calorías (Correa, 2012).

También se ha observado que la pectina ayuda a retener el gas en la masa, aumentar el volumen de la masa, retener la estructura y ralentizar el proceso de envejecimiento del pan (Kenijz y Sokol, 2013 como se citó en Ajibade & Ijabadeniyi, 2018).

2.2.3. Pan de molde

“Es el producto obtenido por la cocción en moldes, de una masa fermentada hecha básicamente con harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura y manteca, pudiendo tener otros ingredientes y aditivos permitidos por el Codex Alimentario” (INACAL, 2021).

2.2.3.1. Clasificación

INACAL (2021) dispone que:

Según el tipo de harina de trigo y los ingredientes empleados, el pan de molde se clasificará en:

- Pan de molde blanco: Es el pan de molde elaborado con harina de trigo.
- Pan de molde integral: Es el pan de molde elaborado con 100% harina de trigo integral.
- Pan de molde otras variedades: Es el pan de molde elaborado con harina de trigo o harina de trigo integral al que se le ha adicionado otros ingredientes como harinas sucedáneas, granos, semillas, frutos secos o similares. Las harinas

sucedáneas pueden ser de otros cereales diferentes al trigo, tubérculos, oleaginosas, raíces y otras aptas para panificación cuyos componentes sean inocuos y que cumplan con las NTP correspondientes.

EJEMPLO: pan de molde con/de arándanos, pan de molde con/de frutos secos y kiwicha, pan de molde otras variedades con harina de camote, etc.

2.2.3.2. Composición

El Cuadro 4 muestra la composición energética y los macronutrientes del pan de molde, según datos adaptados de las Tablas peruanas de composición de alimentos (Reyes García y otros, 2017). Se incluyen valores de energía (317 kcal), agua, proteínas, grasa total, carbohidratos totales y disponibles, así como fibra dietaria, expresados en gramos. Destaca que la mayor proporción corresponde a los carbohidratos totales (69.2 g), mientras que el contenido de fibra dietaria es 2.4 g.

Cuadro 4

Energía y macronutrientes del pan de molde

Energía	317	kcal
Agua	20.8	g
Proteínas	6.8	g
Grasa total	2.5	g
Carbohidratos totales	69.2	g
Carbohidratos disponibles	66.8	g
Fibra dietaria	2.4	g

Nota. Adaptado de *Tablas peruanas de composición de alimentos* (edición n° 10, pág. 14), por M. Reyes García y otros, 2017, Instituto Nacional de Salud, (<https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>).

El Cuadro 5 presenta la composición de micronutrientes del pan de molde, de acuerdo con datos adaptados de las Tablas peruanas de composición de alimentos (Reyes García y otros, 2017). Se reportan

valores de cenizas (0.7 g), minerales como calcio, fósforo, zinc y hierro, así como vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina y niacina). Destaca el contenido de fósforo (60 mg) y niacina (1.22 mg), siendo estos los micronutrientes con mayor concentración dentro del pan.

Cuadro 5

Micronutrientes del pan de molde

Cenizas	0.7	g
Calcio	13	mg
Fósforo	60	mg
Zinc	0.74	mg
Hierro	0.40	mg
Tiamina	0.08	mg
Riboflavina	0.16	mg
Niacina	1.22	mg

Nota. Adaptado de *Tablas peruanas de composición de alimentos* (edición n° 10, pág. 15), por M. Reyes García y otros, 2017, Instituto Nacional de Salud, (<https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>).

2.2.3.3. Ingredientes

Khatkar (2011) explica que:

Las recetas básicas para hacer pan incluyen harina de trigo, levadura, sal y agua. Si falta alguno de estos ingredientes básicos, no se puede preparar el producto aceptable. Otros ingredientes se conocen como opcionales, por ejemplo, grasa, azúcar, leche y productos lácteos, malta y productos de malta, oxidantes (tales como ácido ascórbico y bromato de potasio), tensioactivos y agentes antimicrobianos. Cada uno de estos ingredientes tiene un papel específico que desempeñar en la elaboración del pan. La harina de trigo es el ingrediente principal en la producción de pan. Es el principal responsable de la estructura del pan y de las características de mordida. El agua transforma la harina en una masa viscoelástica que retiene el gas producido durante la

fermentación y el agua también proporciona el medio para que se produzcan todas las reacciones químicas. La levadura fermenta azúcares y produce dióxido de carbono y etanol. Nos da así un pan poroso y leudado. El azúcar es la fuente de carbohidratos fermentables para la levadura y también proporciona un sabor dulce. La sal realza el sabor de todos los demás ingredientes y añade sabor al pan. También fortalece la red de gluten en la masa. La grasa suaviza la textura del pan y mejora su frescura y vida útil. Los agentes oxidantes como el ácido ascórbico, bromato de potasio, yodato de potasio y azodicarbonamida se utilizan en niveles de partes por millón para mejorar la resistencia de la masa, el volumen y la suavidad. Los tensioactivos se utilizan como agentes antienviejamiento. El propionato de calcio se utiliza para prevenir el crecimiento de moho.

2.2.3.4. Elaboración

Cauvain (2021) refiere que:

Hay algunos pasos básicos que constituyen la base de todo proceso de elaboración de pan. Se pueden enumerar así:

- La mezcla de harina de trigo y agua, junto con levadura y sal, y otros ingredientes específicos en proporciones apropiadas.
- El desarrollo de una estructura de gluten en la masa mediante la aplicación de energía durante el mezclado.
- La incorporación de burbujas de aire dentro de la masa durante el amasado.
- El “desarrollo” continuo de la estructura del gluten creada inicialmente para modificar las propiedades reológicas de la masa y mejorar su capacidad de expandirse cuando la presión del gas aumenta durante la fermentación.

- La creación y modificación de determinados compuestos de sabor en la masa, que permanecen en el producto horneado.
- La subdivisión de la masa en piezas unitarias.
- Una modificación previa de la forma de la pieza dividida.
- Un breve retraso en el procesamiento para modificar aún más las propiedades físicas y reológicas de las piezas de masa.
- El moldeado de las piezas hasta su forma final requerida.
- La fermentación y expansión de las piezas de masa moldeadas durante la fermentación.
- Mayor expansión de las piezas de masa y fijación de la estructura final del pan durante el horneado.
- Enfriamiento y almacenamiento del producto final antes de su consumo.

2.2.3.5. Condiciones generales

INACAL (2021) fija las siguientes condiciones del pan de molde:

- Los diversos ingredientes utilizados en la elaboración del producto deberán ser suministrados cumpliendo con sus Normas Técnicas Peruanas correspondientes.
- El producto deberá estar exento de materias extrañas, manchas, roturas, así como de olores, colores y sabores desagradables.
- El producto deberá presentar uniformidad en sus dimensiones, forma, volumen y apariencia en general.
- El pan de molde deberá tener una miga de textura esponjosa, de cocción homogénea, color uniforme y buena sensación de suavidad.
- El pan de molde blanco, integral o de otras variedades fortificado deberá regirse por lo establecido en la normatividad peruana vigente y el Codex Alimentario.

2.2.3.6. Requisitos

Los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos del pan de molde se enumeran en los Cuadros 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 6

Requisitos fisicoquímicos del pan de molde

Requisitos	Unidades	Valores		Métodos de ensayo recomendados
		Mínimo	Máximo	
Para cualquier tipo de pan de molde	%	--	40 (base húmeda)	NTP 206.011 AACC 44-15.02
Acidez (expresada como ácido sulfúrico)	%	--	0.5 (base seca)	NTP 205.039 NTP 206.008
Cenizas	%	--	4.0 (base seca)	NTP 206.007 NTP 206.012

Nota. Se podrán utilizar otros métodos de ensayo validados o normalizados. Adaptado de NTP 206.004:2021 PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETERÍA. Pan de molde. Requisitos. 2ª Edición, INACAL, por INACAL, 2021, pág. 6.

Cuadro 7

Requisitos microbiológicos del pan de molde

Característica	N	c	m	M	Métodos de ensayo recomendados
Recuento de Mohos (UFC/g)	5	2	10 ²	10 ³	ISO 21527-2 FDA/BAM, Cap. 18 AOAC 997.02
Recuento de <i>Bacillus cereus</i> (*) (UFC/g)	5	1	10 ²	10 ⁴	FDA/BAM, Cap. 14 AOAC 980.31

(*) Para aquellos elaborados con arroz, maíz y sus derivados.

Nota. Se podrán utilizar otros métodos de ensayo validados o normalizados. Donde: n=número de unidades de muestra aleatorias de un lote; m=límite que separa la calidad aceptable de la rechazable, un valor menor o igual a “m” significa un producto aceptable; M=los valores de recuentos microbianos superiores a “M” son inaceptables; y c=número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos situados entre “m” y “M”, mayor a “c” se rechaza el lote. Adaptado de NTP 206.004:2021 PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETERÍA. Pan de molde. Requisitos. 2ª Edición, INACAL, por INACAL, 2021, pág. 7.

2.2.3.7. Reología de la masa

“Las propiedades reológicas de la masa de pan muestran el comportamiento durante la manipulación mecánica” (Stojceska y otros, 2008 como se citó en Chuqui, 2021, pág. 34).

Para estudiar las propiedades reológicas de las masas panarias se usan, entre otros, los siguientes instrumentos:

2.2.3.7.1. Farinógrafo

Wheat Marketing Center (2008) detalla que:

La prueba del farinógrafo mide y registra la resistencia de una masa al amasado con paletas.

Los resultados se utilizan como parámetros en la formulación para estimar la cantidad de agua necesaria para hacer una masa, evaluar los efectos de los ingredientes en las propiedades de mezcla, evaluar los requisitos de mezcla de la harina y comprobar la uniformidad de la harina. Los resultados también se utilizan para predecir los efectos del procesamiento, incluidos los requisitos de mezclado para el desarrollo de la masa, la tolerancia al mezclado excesivo y la consistencia de la masa durante la producción. Los resultados del farinógrafo también son útiles para predecir las características de textura del producto terminado. Por ejemplo, las fuertes propiedades de mezclado de masa están relacionadas con una textura firme del producto.

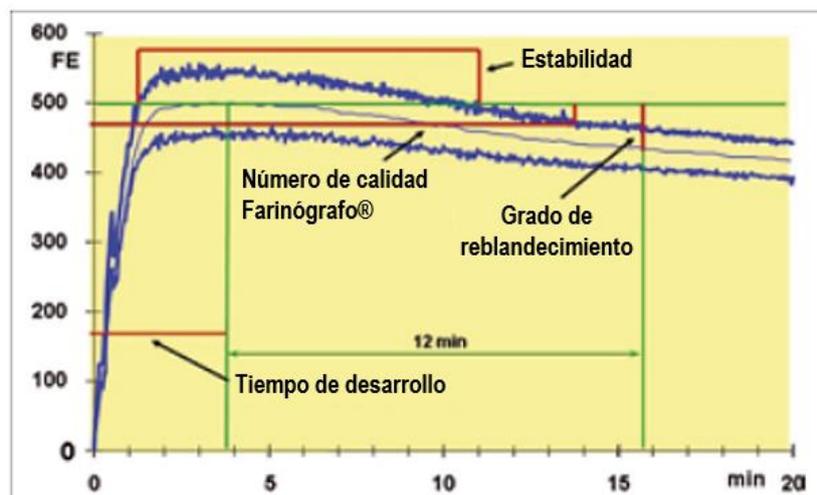
Los resultados del farinógrafo incluyen absorción, tiempo de llegada, tiempo de estabilidad, tiempo de desarrollo, tiempo de salida e índice de tolerancia a la mezcla.

- **La absorción** es la cantidad de agua necesaria para centrar la curva del farinógrafo en la línea de 500 unidades Brabender (UB). Esto se relaciona con la cantidad de agua necesaria para que una harina se procese de manera óptima hasta obtener productos finales. La absorción se expresa como porcentaje.

- **El tiempo de desarrollo de la masa**, comienza en el momento en que se agrega agua hasta que la masa alcanza la máxima consistencia. Esto da una indicación del tiempo de mezclado óptimo en condiciones estandarizadas. El tiempo de desarrollo se expresa en minutos.
- **El tiempo de llegada** es el momento en que la parte superior de la curva toca la línea de 500 UB. Esto indica la tasa de hidratación de la harina (la velocidad a la que la harina absorbe el agua). El tiempo de llegada se expresa en minutos.
- **El tiempo de salida** es la hora en que la parte superior de la curva sale de la línea de 500 UB. Esto indica el momento en que la masa comienza a descomponerse y es una indicación de la consistencia de la masa durante el procesamiento. El tiempo de salida se expresa en minutos.
- **El Tiempo de Estabilidad** es la diferencia horaria entre el tiempo de llegada y el tiempo de salida. Esto indica el tiempo que la masa mantiene la máxima consistencia y es una buena indicación de la fuerza de la masa. El tiempo de estabilidad se expresa en minutos.
- **El índice de tolerancia de mezcla (ITM)** es la diferencia entre el valor de UB en la parte superior de la curva en el momento pico y el valor en la parte superior de la curva 5 minutos después del pico. Esto indica el grado de reblandecimiento durante la mezcla. El índice de tolerancia de mezcla se expresa en unidades Brabender (UB).

Figura 4

Farinograma con valores indicados



Nota. Adaptado de *Farinograph®-AT*, por Brabender® GmbH & Co. KG (2011), (https://www.atimesa.com.ar/files/Farinograph_AT.pdf).

2.2.3.7.2. Extensógrafo

Wheat Marketing Center (2008) describe que:

El extensógrafo determina la resistencia y extensibilidad de una masa midiendo la fuerza necesaria para estirar la masa con un gancho hasta que se rompa.

Los resultados de la prueba del extensógrafo son útiles para determinar la fuerza del gluten y las características de panificación de la harina. También se puede evaluar el efecto del tiempo de fermentación y de los aditivos en el rendimiento de la masa.

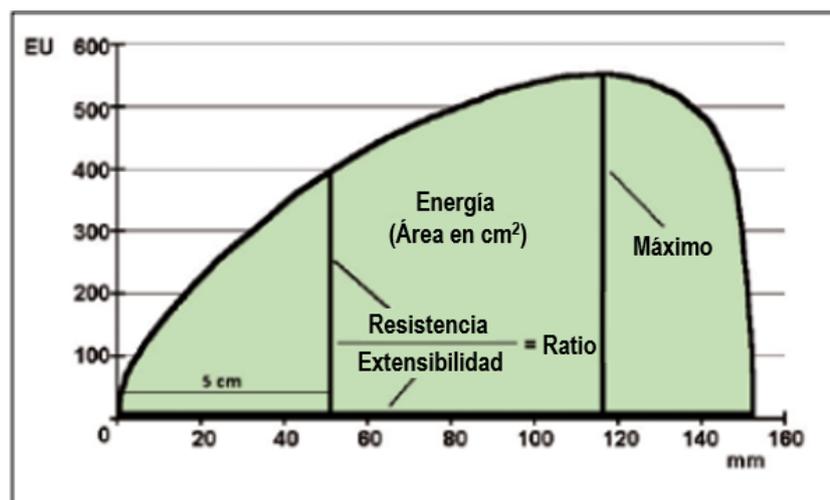
Los resultados del extensógrafo incluyen la resistencia a la extensión, la extensibilidad y el área bajo la curva. La resistencia a la extensión es una medida de la fuerza de la masa. Una mayor resistencia a la extensión requiere más fuerza para estirar la masa. La extensibilidad indica la cantidad de elasticidad de la masa y su capacidad para estirarse sin romperse. La prueba del extensógrafo mide y registra la resistencia de una masa al estiramiento.

- **La Resistencia a la Extensión** es el valor R y está indicado por la altura máxima de la curva. Se expresa en centímetros (cm), unidades de Brabender (BU) o unidades de extensógrafo (EU).
- **La Extensibilidad** es el valor E y está indicada por la longitud de la curva. Se expresa en milímetros (mm) o centímetros (cm).
- **La relación R/E** indica el equilibrio entre la fuerza de la masa (resistencia a la extensión) y el grado en que la masa se puede estirar antes de romperse (extensibilidad).
- **El Área bajo la curva** es una combinación de resistencia y extensibilidad. Se expresa en centímetros cuadrados (cm²).

La harina con gluten débil tiene una menor resistencia a la extensión (valor R) que la harina con gluten fuerte.

Figura 5

Extensograma con valores indicados



Nota. Adaptado de *Extensógrafo®-E*, por Brabender® GmbH & Co. KG (2018), (<https://www.brabender.com/typo3conf/ext/cokcb2web/Resources/Public/Files/d1ea7f6c523d2d081e2153d1901f7d59.pdf?d=1&p=WkRGbFRkbU5NMU1qa01tUU9ERmxqRTFNUXhPVHhaamROVGs9X1ltTndNMkFr.pdf>).

2.2.3.8. Calidad del pan

Diversos autores expresan que:

La calidad del pan se puede determinar por medio de tres categorías, la primera es la calidad externa (volumen, apariencia, crocantez y color de la corteza), la segunda es la calidad interna (número, tamaño y distribución de los alvéolos de la miga y su color) y la tercera es la calidad textural (masticabilidad, elasticidad y dureza de la miga) (Cauvain 1998 como se citó en Linlaud, 2014).

Los rasgos texturales y visuales de la miga del pan son los atributos claves que establecen la calidad global del producto (Pylar 1978 como se citó en Linlaud, 2014).

El envejecimiento del pan comprende los cambios ocasionados en la calidad del pan durante el enfriamiento y el almacenamiento, los cuales se traducen en una disminución gradual de la aceptación del producto por parte de los consumidores y limitan su vida útil, en este proceso la miga se torna más seca, dura y desmenuzable, la corteza se ablanda y se pierde el aroma y el sabor. (Gray y Bemiller, 2003; He y Hosenev, 1990; Pateras, 1998 como se citó en Linlaud, 2014).

Los hidrocoloides suelen ser empleados como agentes mejoradores en la panificación por tener la característica de retener humedad y prolongar ligeramente la vida útil del pan (Stauffer, 1990 como se citó en Linlaud, 2014).

2.2.3.8.1. Volumen específico

El pan de molde se pesa y se mide su volumen; los resultados se expresan en gramos para el peso y en centímetros cúbicos (cc) para el volumen; el volumen específico es la relación entre el volumen y el peso (Wheat Marketing Center, 2008). Pero también puede expresarse en mL/g, con valores de 3.5 a 5.5 mL/g para panes de molde de buena calidad.

Cauvain (2015) menciona que:

El método más común para evaluar el volumen total del producto es mediante un método adecuado de desplazamiento de semillas. El aparato en cuestión suele estar formado por un recipiente de volumen conocido, que se ha calibrado previamente con una semilla adecuada (Cogswell 2008 como se citó en Cauvain, 2015), en el que se introduce el producto. La semilla se vuelve a introducir y el producto desplaza un volumen de semilla equivalente a su propio volumen.

2.2.3.8.2. Textura instrumental

La textura es el conjunto de características geométricas, mecánicas y de composición, primarias o secundarias, las cuales están relacionadas a la manera de reaccionar un alimento a un tipo de fuerza (Bello, 2000 como se citó en Chuqui, 2021).

El análisis de perfil de textura (TPA) es la caracterización de la textura del alimento, se realiza con un Texturómetro y es una prueba que simula la acción de una mandíbula al morder un alimento, esta simulación se produce al comprimir la muestra en dos momentos: durante el primer ciclo la muestra se comprime hasta cierta deformación, luego se libera la presión y seguidamente se comprime la muestra por segunda vez (Sánchez, Borroso y Careche, 2011 como se citó en Chuqui, 2021).

Cuadro 8

Parámetros del análisis de perfil de textura

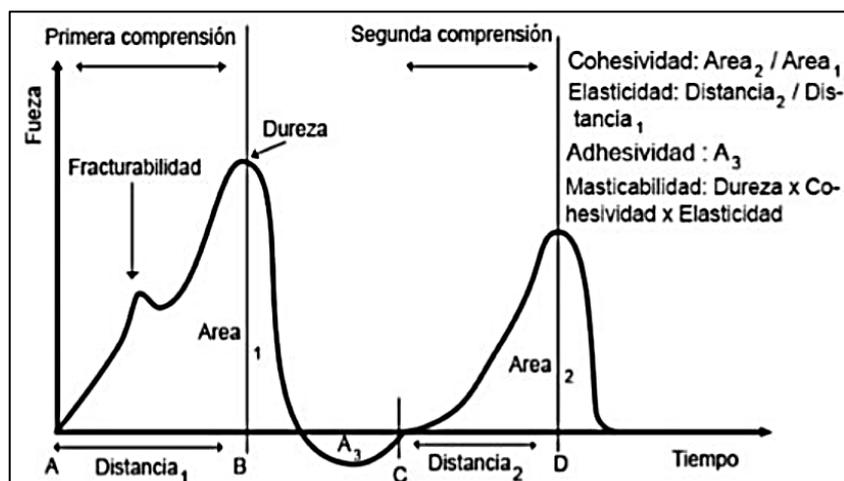
Parámetro	Definición	Determinación	Unidades
Fracturabilidad	Fuerza necesaria para fracturar la muestra	Fuerza en la primera ruptura	Newton (N)
Dureza	Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada	Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión	Newton (N)
Adhesividad	Trabajo necesario para vencer la	Área negativa después del	miliJoule (mJ)

	fuerza de atracción entre la muestra y una superficie	primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y muestra	
Cohesividad	“Fuerza” de los enlaces internos que mantiene la estructura de una muestra. Representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a cómo este se comportó en un primer ciclo de deformación	Relación entre el área positiva del segundo ciclo de compresión (A_2) y el área positiva del primer ciclo (A_1). Excluyendo la porción de áreas durante la descompresión de la muestra	Adimensional
Elasticidad	Capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza ha impactado en ella	El cociente L_2/L_1	Milímetro (mm)
Gomosidad	Fuerza necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado tal que facilite su ingesta	Producto de la dureza y la cohesividad	Newton (N)
Masticabilidad	Fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta	Producto de la dureza, cohesividad y elasticidad	miliJoule (mJ)

Nota. Adaptado de *Obtención de productos saludables de panificación utilizando harina de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis SIMS), variedad amarilla y ácido ascórbico* [Universidad Nacional del Santa], por Szczesniak (1963); Bourne (1978) como se citó en Acevedo, Gonzáles y Torres (2014) como se citó en S. Chuqui, 2021, p. 40, (<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3796>).

Figura 6

Esquema de fuerza-deformación del análisis de perfil de textura



Nota. Adaptado de *Obtención de productos saludables de panificación utilizando harina de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis SIMS), variedad amarilla y ácido ascórbico* [Universidad Nacional del Santa], por Hleap y Velasco (2010) como se citó en S. Chuqui, 2021, p. 39, (<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3796>).

2.2.3.8.3. Color instrumental

La evaluación del color de la miga puede ser subjetiva y descriptiva o realizarse por medios objetivos utilizando colorímetros triestímulo (Cauvain, 2015).

2.2.3.8.4. Atributos sensoriales

Cauvain (2021) señala que, según Lambert y otros (2009), el 62% de los consumidores europeos considera que la calidad organoléptica es el principal criterio para elegir un pan. En consecuencia, los nuevos productos panificados deben igualar, al menos, las propiedades sensoriales de los tradicionales. Dentro de estos atributos, el sabor juega un papel fundamental en la aceptación del producto, siendo influenciado por factores como el aroma, el gusto, la textura y la sensación en boca (Taylor, 1996, citado en Cauvain, 2021). En particular, el olor y el aroma resultan esenciales para la percepción y aceptación del alimento, ya que dependen de la detección de compuestos volátiles que interactúan con los receptores olfativos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Planta Piloto Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa (UNS).
- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la UNS.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) de la UNS.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Se utilizó 200 kg de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) adquirida en el mercado mayorista 2 de mayo de la ciudad de Chimbote, fruta proveniente del distrito Huacho, provincia Huaura, departamento Lima.

3.2.2. Insumos

- Harina de trigo especial, marca Don Lucciano, componentes: harina de trigo fortificada (hierro 55 mg/kg, niacina 48 mg/kg, tiamina 5 mg/kg, riboflavina 4 mg/kg y ácido fólico 1.2 mg/kg), agentes de tratamiento de la harina (ácido ascórbico, SIN 1100(i)), enzimas (xilanasas, glucosa oxidasa, fosfolipasa, celulasa).
- Azúcar rubia, marca Agroindustrias San Jacinto, componente: caña de azúcar.
- Levadura seca activa instantánea para masas ricas en azúcar, marca Bakels, componentes: levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), monoestearato sórbico (E491), aceite vegetal (soja), ácido ascórbico (E300), goma de acacia (E414).
- Mejorador de masas para panificación, marca Fleischmann, componentes: agente antiapelmazante (carbonato de calcio SIN 170i), harina de trigo fortificada según DS 012-2006-SA, agentes para tratamiento de harinas (sulfato de calcio SIN 516, azodicarbonamida SIN 927a, ácido ascórbico

SIN 300), enzimas (xilanasa fúngica, xilanasa bacteriana, alfa amilasa fúngica SIN 1100i y lipasas SIN 1104).

- Sal de mar para cocina, marca Marina Emsal, componentes: Cloruro de sodio, dióxido de silicio amorfo (antiaglutinante), fluoruro de potasio y yodato de potasio.
- Antimoho, marca Mohosan SD, componentes: propionato de calcio 98-100.5%.
- Manteca vegetal, marca Gordito, componentes: aceite vegetal y sus fracciones de palma y/o mezcla de aceite vegetal de palma, fracciones de palma y aceite de palma completamente hidrogenado.
- Emulsificante en pasta para productos de panadería y pastelería, marca Mixo, componentes: agua, emulsionantes (monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos, propilenglicol y ésteres de propilenglicol de ácidos grasos), ácido esteárico y regulador de la acidez (soda cáustica).
- Agua para consumo humano.

3.2.3. Reactivos

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio (0.1 N y 0.25 N, 40%).
- Ácido clorhídrico (0.1 N y 0.25 N).
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido bórico al 4% p/v.
- Alcohol etílico (70% y 96%).
- Hipoclorito de sodio (4.0%).
- Rojo fenol.
- Fenolftaleína.
- Rojo de metilo.
- Verde de bromocresol.
- Kjeltabs.
- Éter de petróleo.
- Cloruro de sodio.
- Ácido cítrico.

3.2.4. Equipos

- Potenciómetro digital, marca ORION STAR, modelo A214.
- Balanza analítica, marca Precisa, modelo LX 220A.
- Balanza analítica, marca Precisa, modelo LX 320A.
- Balanza de precisión, marca Precisa, modelo LX 4200C.
- Balanza de precisión, marca Precisa, modelo XB 4200C.
- Balanza de precisión, marca RADWAG, modelo WLC 1/A2.
- Báscula de cocina digital, marca B-Max, modelo SF-400.
- Báscula de mesa, marca Ohaus Ranger, modelo R31P30.
- Analizador de humedad, marca Precisa, modelo XM 50.
- Estufa, marca POL-EKO, modelo SLW 115 STD.
- Secadora de bandejas, marca JARCON DEL PERÚ, modelo SBT-10X10.
- Módulo de molienda y tamizado, marca JARCON DEL PERÚ, modelo MDMT-45X-200X.
- Amasadora - sobadora, marca NOVA, modelo K23.
- Farinógrafo, marca BRABENDER, modelo SQ810161.
- Cámara de fermentación, marca NOVA, modelo MAX 1000.
- Mufla, marca Barnstead Thermolyne, modelo FB1410M.
- Molino ultracentrífugo, marca Retsch, modelo ZM 200.
- Extensógrafo, marca BRABENDER, modelo 860723.
- Rebanadora de pan, marca NOVA, modelo Estándar.
- Centrífuga refrigerada, marca SIGMA, modelo 4-16KS.
- Colorímetro, marca KONICA MINOLTA, modelo CR-400.
- Texturómetro, marca BROOKFIELD, modelo CT3-4500.
- Horno rotatorio por convección, marca NOVA, modelo MAX 1000.
- Selladora de bolsas manual con sistema de sellado de impulso, marca TEW, modelo TISH-200.
- Equipo Kjeldahl: Digestor, marca FOSS, modelo DT 208 (incluye SR 210 Scrubber); Destilador, marca FOSS, modelo Kjeltec 8100.
- Sistema extractor de grasa, marca FOSS, modelo Soxtec 2043.
- Cocina eléctrica 1 hornilla, marca IMACO, modelo HP1000.
- Cocina industrial 4 hornillas, marca D'ACERO.

3.2.5. Utensilios

- Cuchillos y cucharas de acero inoxidable.
- Ollas de acero inoxidable (15, 20, 30, 50 L).
- Escurridor de acero inoxidable y coladores de plástico.
- Tablas de picar de plástico.
- Jarras de plástico (1, 2, 3 L).
- Embudos de plástico.
- Recipientes de plástico y de metal.
- Espátulas de silicona y de metal.
- Moldes de pan de acero inoxidable 30x10x10.
- Rodillo de panificación, raspa de panadería y bandejas de panadería.
- Manopla de cocina y tijera de cocina.

3.2.6. Materiales de vidrio

- Vasos precipitados (250, 500, 1000 y 3000 mL).
- Probetas graduadas (25, 50, 100, 500 y 1000 mL).
- Matraces Erlenmeyer graduados (100, 250 y 500 mL).
- Pipetas graduadas (1, 2, 5 y 10 mL).
- Buretas graduadas (25 y 50 mL).
- Fiolas (500 y 1000 mL).
- Varilla de vidrio.
- Placas de Petri.
- Desecador.

3.2.7. Otros materiales

- Mesas de acero inoxidable.
- Baldes de plástico con tapa (4, 20 L).
- Termómetro de mercurio (-10°C a 150°C).
- Bolsas transparentes de polietileno 7x10 y 10x15.
- Bolsas blancas de polietileno 20x30.
- Bolsas transparentes de polipropileno 7x10 y 9x20.

- Papel aluminio, papel toalla y papel filtro.
- Tela tul, tela organza y tela tocuyo.
- Guantes resistentes al calor, guantes de nitrilo y guantes de jebe.
- Carros para bandejas de panadería.
- Soporte universal.
- Bandeja perforada metálica.
- Pinzas metálicas para crisoles y crisoles de porcelana.
- Tubos cónicos para centrífuga (15 mL) y gradilla para tubos.
- Pipeteador de plástico y peras de seguridad para pipetas.
- Paños absorbentes.
- Material para limpieza: Detergente, lavavajillas líquido y en pasta.
- Plastinudos.
- Regla de 50 cm.
- Alpiste.
- Tijeras.
- Cinta de embalaje.
- Plumón indeleble delgado.
- Brochas.
- Combustibles: Gas, Petróleo.
- Fósforos.
- Material para prueba sensorial: cabinas de degustación, lapiceros, platos y vasos descartables.

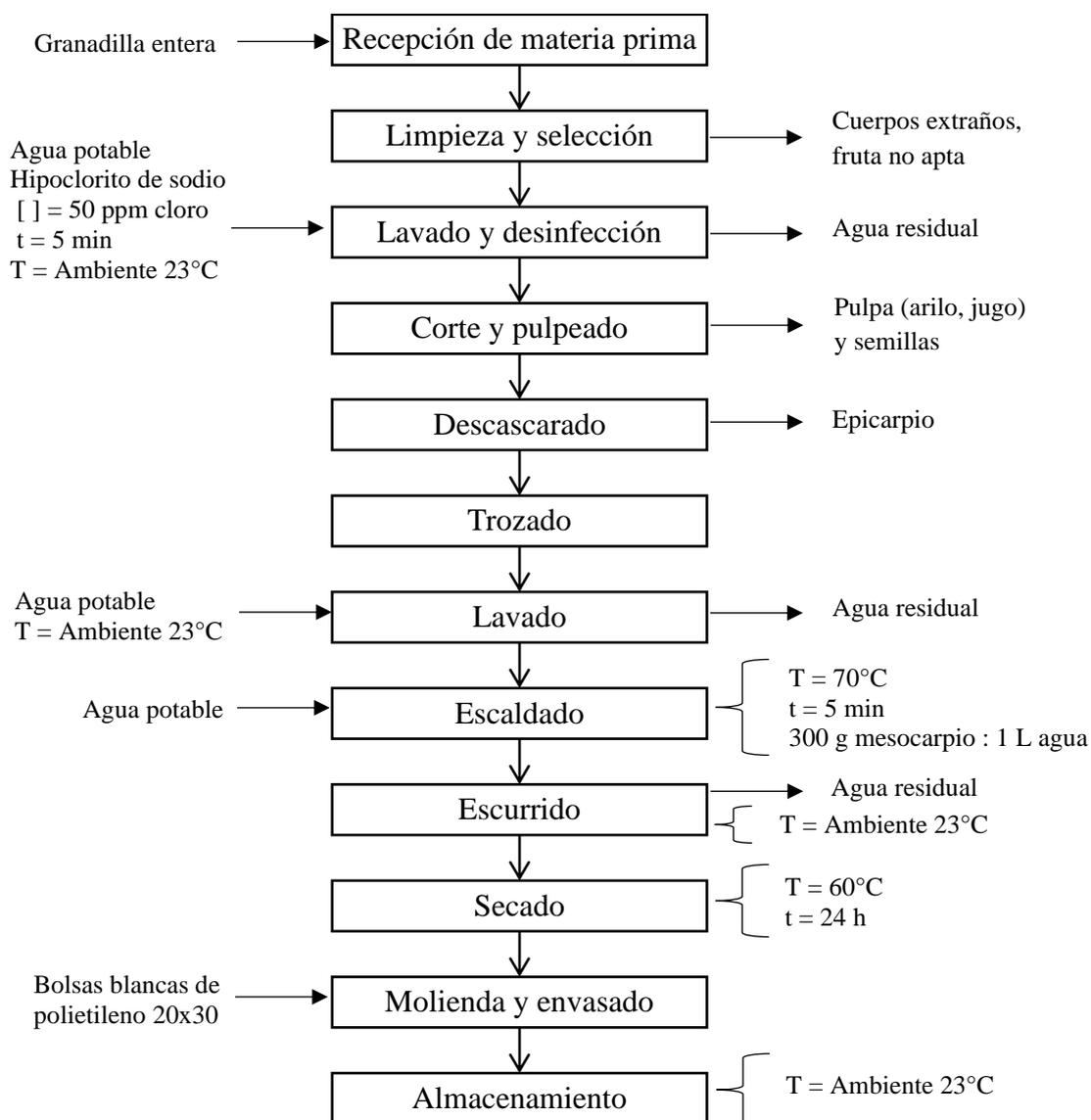
3.3.Procedimiento experimental

3.3.1. Obtención de pectina de mesocarpio de granadilla

A continuación, se representa mediante dos diagramas de flujo las diferentes etapas que forman parte del proceso de obtención de pectina de mesocarpio de granadilla. Consiste en dos fases, en la primera (ANEXO 1) se realiza el acondicionamiento del mesocarpio cuya finalidad es tener un mesocarpio en polvo para facilitar la siguiente fase (ANEXO 2) que es la extracción de pectina propiamente dicha mediante hidrólisis con ácido cítrico, cuyo producto es pectina seca en polvo.

Figura 7

Diagrama de flujo del acondicionamiento del mesocarpio de granadilla



Nota. Adaptado de *Evaluación de la viscosidad de la pectina de granadilla (Passiflora Ligularis Juss) a diferentes concentraciones y temperaturas* [Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”], por León y Riveros (2014) como se citó en Y. Chero, 2019, pág. 40, (<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4296>).

Primero se realizó el proceso de acondicionamiento del mesocarpio de granadilla adaptando los procedimientos descritos por Jara & Mori (2021) y Chero (2019):

- **Recepción de materia prima**

Se pesó en una báscula la fruta recibida en cajas, previa limpieza y desinfección de la zona de trabajo y superficies de contacto directo.
- **Limpieza y selección**

Manualmente se eliminaron los cuerpos extraños (piedras, insectos, pedúnculos, brácteas, etc.) y se realizó una revisión donde se escogió los frutos en óptimo estado y se descartó los ejemplares no aptos (signos de deterioro, daño mecánico grave, coloración extraña, etc.).
- **Lavado y desinfección**

Se lavó la fruta con agua potable a temperatura ambiente 23°C con el fin de retirar la tierra o cualquier partícula adherida a la superficie del fruto, luego se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio (23°C) con una concentración de 50 ppm de cloro por un tiempo de 5 minutos, acto seguido se enjuagó con más agua potable y se escurrió, estando listo para pasar a la siguiente operación.
- **Corte y pulpeado**

Se usó cuchillo para corte manual transversal y luego se retiró todo el contenido (endocarpio y semillas) utilizando cuchara, dejando solo cáscara (epicarpio y mesocarpio).
- **Descascarado**

Se separó manualmente el mesocarpio del epicarpio empleando cuchara, se tuvo especial cuidado para impedir cambios que perjudiquen la presentación de la pectina o disminuyan el rendimiento, logrando así tener únicamente el mesocarpio.
- **Trozado**

Se redujo el tamaño del mesocarpio con el fin de aumentar la superficie expuesta en la fase de secado, para lo cual se cortó manualmente en trozos amorfos usando cuchillo y/o tijera de cocina. Se tuvo mucho cuidado al realizar esta operación por ser más esponjoso que el mesocarpio de las otras pasifloras.

- **Lavado**

Se sometió el mesocarpio a lavados sucesivos (3) con agua potable (23°C) para remover los contaminantes macroscópicos y los restos de pulpa que puedan haber quedado, haciendo uso de escurridor y colador para poder escurrir el agua rápidamente.
- **Escaldado**

Se realizó para poder inactivar enzimas pécticas y carga microbiana, para el escaldado se emplearon ollas donde se agregó un litro de agua potable por cada 300 g de mesocarpio de granadilla, después se llevó a la cocina industrial donde se calentó hasta 70°C por 5 minutos.
- **Escurreido**

Pasado dicho tiempo, la muestra se escurrió usando colador y escurridor para quitar el exceso de agua y se dejó reposando hasta llegar a temperatura ambiente 23°C.
- **Secado**

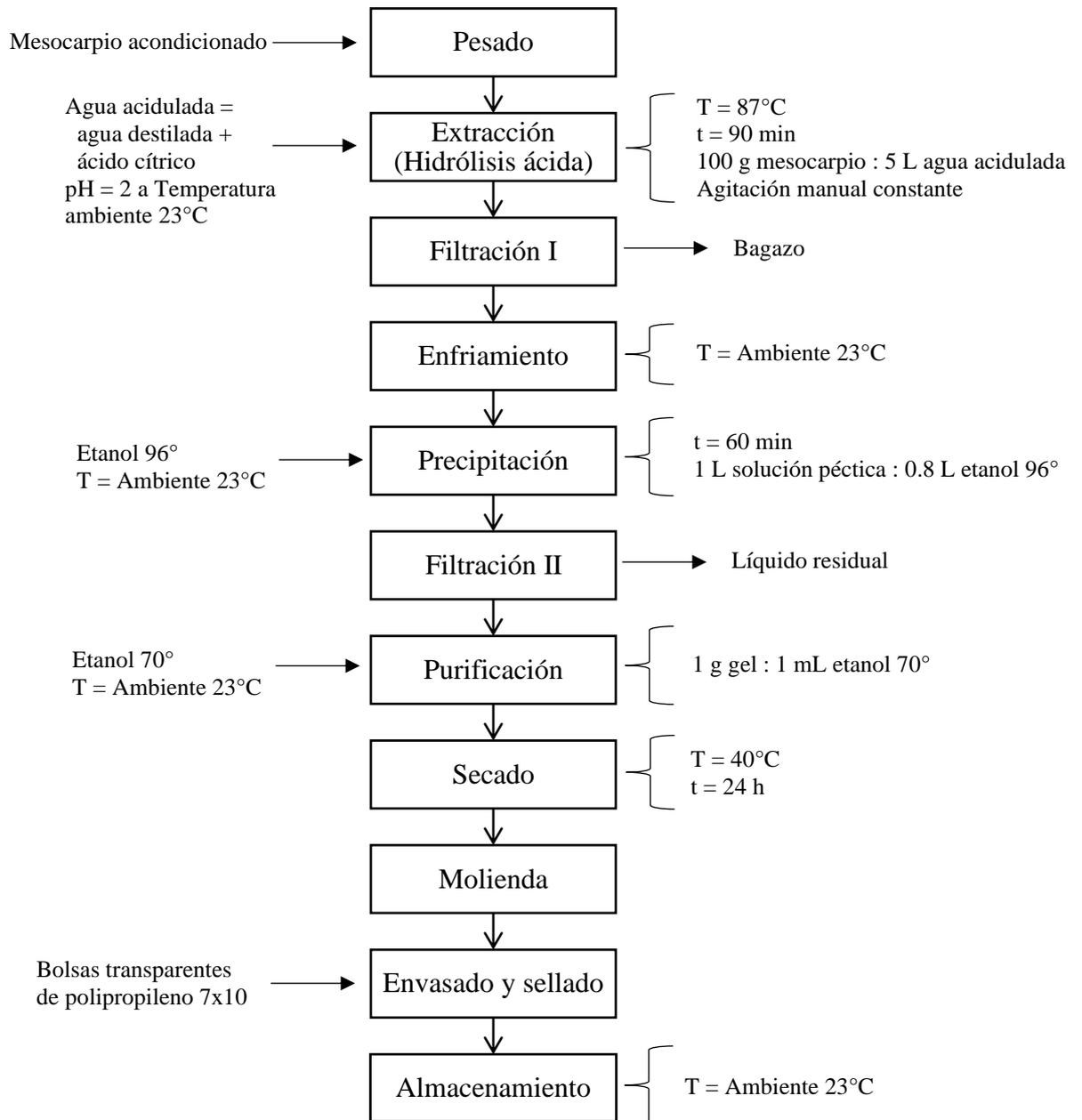
Se realizó para reducir el peso de la muestra hasta peso constante, para facilitar el secado la muestra se colocó en unas bandejas forradas con tela tul esparciéndose una fina capa de muestra por bandeja y se secó en un secador de bandejas a 60°C por 24 horas.
- **Molienda y envasado**

El mesocarpio seco se pulverizó en un módulo de molienda y tamizado para poder reducir el tamaño de partícula, lo que permite una mayor solubilidad en el proceso de extracción de pectina. Se envasó en bolsas blancas de polietileno 20x30.
- **Almacenamiento**

Se almacenó el mesocarpio acondicionado envasado en un lugar limpio, fresco y seco a temperatura ambiente 23°C hasta su uso.

Figura 8

Diagrama de flujo de la extracción de pectina del mesocarpio de granadilla



Nota. Adaptado de *Evaluación de la viscosidad de la pectina de granadilla (Passiflora Ligularis Juss) a diferentes concentraciones y temperaturas* [Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”], por León y Riveros (2014) como se citó en Y. Chero, 2019, pág. 44, (<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4296>).

Luego se realizó el proceso de extracción de pectina a partir del mesocarpio de granadilla adaptando los procedimientos descritos por Jara & Mori (2021) y Chero (2019):

- **Pesado**

Se pesó en una balanza el mesocarpio acondicionado para poder calcular la cantidad de agua acidulada a utilizar.
- **Extracción (hidrólisis ácida)**

Para la hidrólisis ácida se trabajó con la siguiente relación, muestra:agua acidulada = 1:50 (g:mL), es decir, la relación fue de 5 000 mL de agua acidulada por cada 100 g de muestra. Para preparar el agua acidulada, en un balde con agua destilada (o desmineralizada) se agregó ácido cítrico hasta ajustar a pH cercano a 2 a temperatura ambiente 23°C obteniendo una solución de ácido cítrico entre el 0.9-1% (p/v). Seguidamente, la extracción se realizó en una olla añadiendo primero el agua acidulada calentándose en una cocina industrial hasta 87°C, momento en el cual se agregó lentamente el mesocarpio acondicionado manteniéndose a esa temperatura durante 90 min con agitación manual constante para evitar que precipite el material.
- **Filtración I**

Se realizó una filtración con la ayuda de tela organza, escurridor, coladores, baldes, ejerciendo una presión suave para separar la parte sólida (bagazo) de la parte líquida (solución péctica).
- **Enfriamiento**

Acto seguido, la solución péctica se enfrió rápidamente sumergiendo los baldes en una tina de agua fría para minimizar la degradación térmica de la pectina hasta llegar a temperatura ambiente 23°C.
- **Precipitación**

En los baldes se adicionó lentamente etanol de 96° a temperatura ambiente 23°C en una cantidad del 80% del volumen de la solución péctica, con agitación manual constante, después se dejó reposar por 60 min. La formación de un gel sobrenadante representa la pectina extraída.
- **Filtración II**

La pectina sobrenadante se separó de la solución por filtración con tela tocuyo, usando escurridor, coladores, baldes y recipientes intentando recuperar la mayor cantidad de pectina posible.

– **Purificación**

Consistió en purificar la pectina en 2 lavados sucesivos con alcohol etílico de 70° a temperatura ambiente 23°C, con la finalidad de eliminar impurezas arrastradas desde la extracción. La relación fue de 1 gramo de gel obtenido / 1 mililitro de alcohol. Se escurrió rápidamente luego de cada lavado.

– **Secado**

La pectina se extendió sobre una bandeja y se secó en una estufa a 40°C por 24 horas para reducir el peso de la muestra.

– **Molienda**

La pectina se pulverizó en un molino ultracentrífugo para poder reducir el tamaño de partícula, lo que permite una mayor solubilidad.

– **Envasado y sellado**

La pectina en polvo extraída se envasó en bolsa transparente de polipropileno 7x10, la cual se selló usando una selladora de bolsas manual con sistema de sellado de impulso.

– **Almacenamiento**

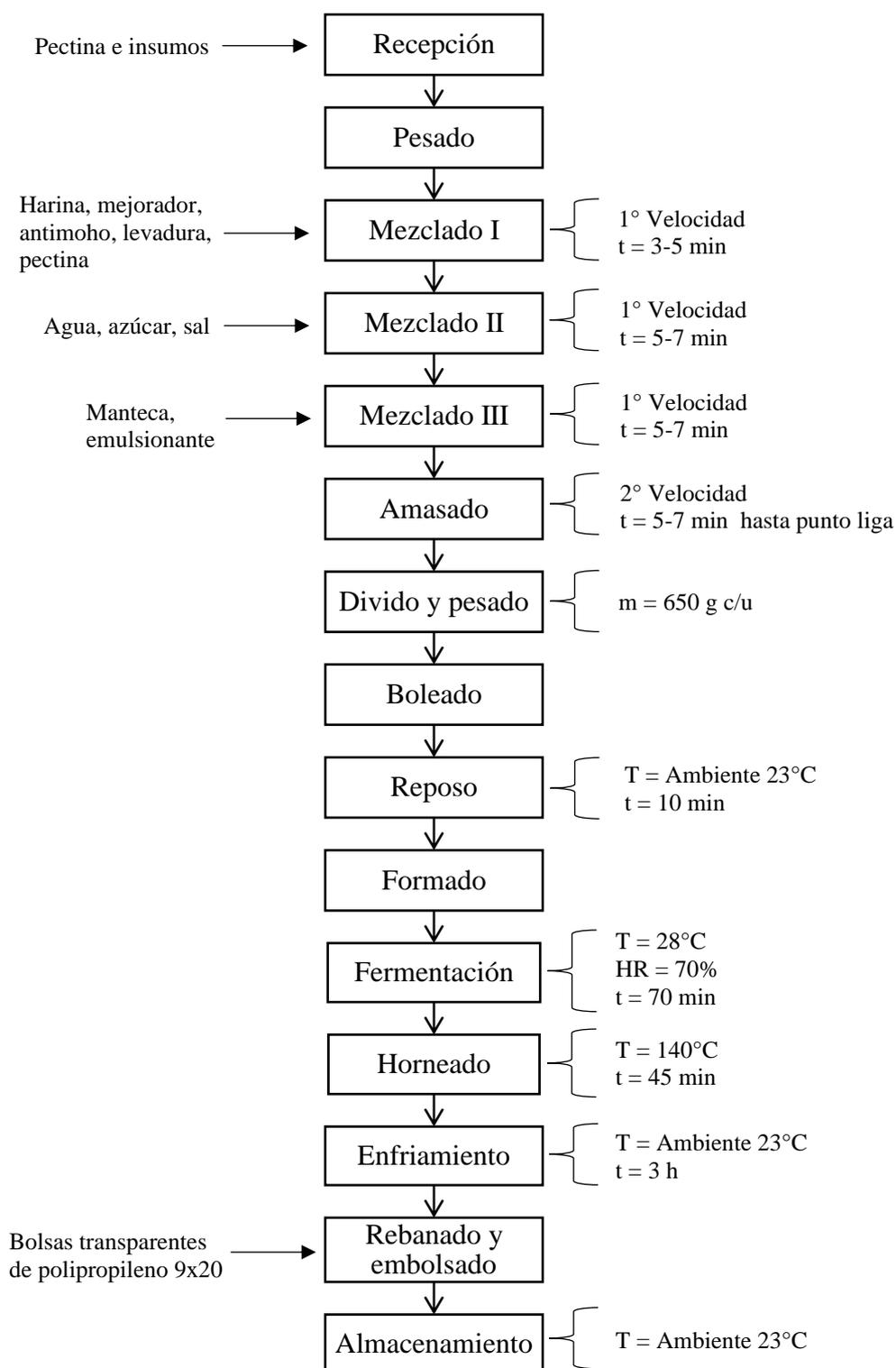
Finalmente, se almacenó a temperatura ambiente 23°C en un lugar limpio, fresco y seco la pectina en polvo envasada.

3.3.2. Elaboración de pan de molde

A continuación, se representa mediante un diagrama de flujo las diferentes etapas que forman parte del proceso de elaboración de pan de molde adicionado con pectina de granadilla (ANEXO 3).

Figura 9

Diagrama de flujo de la elaboración de pan de molde adicionado con pectina de granadilla



Nota. Adaptado de *Efecto de hidrocoloides obtenidos del maracuyá (Passiflora edulis), en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de molde* [Universidad Nacional del Santa], por Planta Piloto UNS (2011) como se citó en Á. E. Jara & J. E. Mori, 2021, pág. 41, (<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3683>).

Se adaptó el proceso descrito por Jara & Mori (2021):

– **Recepción**

Se recibió los insumos necesarios para elaborar pan de molde, los cuales se almacenaron en un lugar exclusivo, previa revisión de los componentes y fecha de vencimiento de cada uno para asegurar que se encuentren en buen estado.

– **Pesado**

Para esta etapa del proceso se usó báscula y balanza para pesar, en bolsas transparentes de polietileno 10x15 y 7x10 previamente rotuladas, los insumos en base a 2.4 kg de harina de acuerdo con los porcentajes (p/p) del Cuadro 9 para cada uno de los tratamientos. Cabe resaltar que la pectina varió conforme al Cuadro 12, los demás insumos de la mezcla permanecieron constantes.

– **Mezclado I**

La primera fase de mezclado consistió en agregar los insumos secos (la harina de trigo, el mejorador, el antimoho, la levadura y la pectina) a la amasadora - sobadora, luego se puso en marcha el equipo, en primera velocidad durante 3 a 5 min aproximadamente hasta que la mezcla fuera uniforme.

– **Mezclado II**

Se consideró que la sal y el azúcar primero tenían que diluirse en el agua antes de añadirlos, una vez preparada dicha solución se vertió lentamente a la amasadora - sobadora a primera velocidad durante 5 a 7 minutos aproximadamente hasta apreciar que la mezcla presentase uniformidad.

– **Mezclado III**

Para finalizar el mezclado se procedió a agregar el emulsionante y la manteca a la amasadora - sobadora donde se mezcló a primera velocidad durante 5 a 7 minutos aproximadamente hasta que la mezcla esté completamente integrada.

– **Amasado**

Inmediatamente se pasó la amasadora - sobadora a segunda velocidad y se amasó durante 5 a 7 minutos aproximadamente hasta llegar al punto liga,

donde se observó que la red de gluten se haya desarrollado y en consecuencia posea los atributos característicos de la masa panaria para pasar a las próximas operaciones. Es importante mencionar que tanto el tiempo de mezclado como el de amasado dependen de la calidad de los insumos utilizados.

– **Dividido y pesado**

Con ayuda de una raspa de panadería la masa se dividió en piezas de 650 g cada una, pesadas en una báscula.

– **Boleado**

A cada pieza manualmente se le dio forma de bola.

– **Reposo**

Se dejó reposar a temperatura ambiente 23°C por 10 minutos sobre una mesa limpia.

– **Formado**

Con la ayuda de un rodillo se laminó manualmente las masas que luego se enrollaron para ser colocadas en los moldes previamente enmantecados.

– **Fermentación**

Cada masa en su molde parcialmente tapado se metió a la cámara de fermentación a una temperatura de 28°C y 70% de humedad relativa durante un tiempo de 70 minutos.

– **Horneado**

Una vez terminada la fermentación, se introdujo la masa en el horno a 140°C por 45 minutos, con los moldes previamente tapados.

– **Enfriamiento**

Una vez sacados los panes del horno, estos se retiraron de los moldes y se colocaron encima de mesas durante 3 horas hasta que alcancen una temperatura cercana a la temperatura ambiente 23°C.

– **Rebanado y Embolsado**

Usando la rebanadora de pan, se cortó el pan de molde en rebanadas de aproximadamente 1.2 cm de espesor. Acto seguido, se envasaron en bolsas

transparentes de polipropileno 9x20 y se anudó con plastinudos. Se rotuló cada bolsa para identificar los tratamientos.

– **Almacenamiento**

Se almacenó el pan de molde envasado en un lugar limpio, fresco y seco a temperatura ambiente 23°C, para posteriormente realizarle los análisis pertinentes.

La formulación (insumos y porcentajes) a emplear para ejecutar el procedimiento graficado en la Figura 9 se encuentra en el Cuadro 9.

Cuadro 9

Formulación base para elaborar pan de molde

Insumo	% (base harina)
Harina de trigo	100
Agua	52
Manteca	10
Azúcar	8
Sal	2
Levadura seca	2
Mejorador	1
Emulsionante	1
Antimoho	0.3

Nota. Adaptado de *Efecto de hidrocoloides obtenidos del maracuyá (Passiflora edulis), en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de molde* [Universidad Nacional del Santa], por Planta Piloto UNS (2011) como se citó en Á. E. Jara & J. E. Mori, 2021, pág. 44, (<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3683>).

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Cálculo del rendimiento de pectina extraída

Para calcular el rendimiento de pectina extraída mediante hidrólisis ácida se utilizó la fórmula adaptada de Apolo (2019). Cabe recordar que el mesocarpio de granadilla se sometió a un acondicionamiento previo y una vez seco se usó en la extracción.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{pectina seca (g)}}{\text{mesocarpio acondicionado (g)}} \times 100\%$$

3.4.2. Determinación de la calidad de la pectina

3.4.2.1. Análisis fisicoquímico

– Humedad

Se pesó 1 g de pectina por triplicado en placas de Petri previamente pesadas y se secó a 70°C x 16 horas en una estufa. El análisis se basó en la NMX-F-289 (NORMEX, 1977) como se citó en Chero (2019).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{muestra húmeda (g)} - \text{muestra seca (g)}}{\text{muestra húmeda (g)}} \times 100\%$$

– Cenizas

Se pesó 1 g de muestra por triplicado en crisoles previamente pesados y se calcinó a 600°C x 4 horas en una mufla, esto se realizó de acuerdo con la Norma UNE 64019 (AENOR, 1971) como se citó en Chero (2019).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de las cenizas obtenidas (g)}}{\text{peso de la pectina (g)}} \times 100\%$$

– Alcalinidad de las cenizas

Las cenizas obtenidas se disolvieron en 25 mL de HCl 0.1 N en matraces Erlenmeyer, luego se calentaron suavemente en una cocina eléctrica hasta ebullición, inmediatamente se enfrió hasta temperatura ambiente 23°C para poder titular con NaOH 0.1 N en presencia del indicador fenolftaleína (2 gotas); titular en blanco con HCl 0.1 N, siguiendo el método de la NMX-F-325-S (NORMEX, 1979) como se citó en Chero (2019).

$$\% \text{ Alcalinidad como carbonato} = \frac{(\text{Blanco} - \text{titulado}) \times N_{\text{NaOH}} \times 60}{\text{peso de las cenizas (g)} \times 1000} \times 100\%$$

– Peso equivalente

Se pesó por triplicado 0.5 g de pectina en matraz Erlenmeyer de 250 mL de capacidad, se adicionó 5 mL de etanol 96°, 1 g de NaCl, 100 mL de agua destilada y dos gotas de indicador rojo fenol y se agitó manualmente para homogeneizar; la solución formada se tituló lentamente con NaOH 0.1 N hasta cambio de color de amarillo a rosado (Apolo, 2019). Los datos obtenidos sirvieron para el cálculo del peso equivalente, según León & Riveros (2014) muestran la ecuación:

$$\text{Peso equivalente (g/eq)} = \frac{\text{peso de la muestra (g)} \times 1000}{V_{\text{NaOH}}(\text{mL}) \times N_{\text{NaOH}}}$$

– **Contenido de metoxilo**

Se determinó mediante la saponificación de la pectina y la titulación del grupo carboxilo liberado. Se agregó 25 mL de NaOH 0.25 N a la solución neutra procedente del peso equivalente; se agitó vigorosamente de forma manual y se dejó en reposo a temperatura ambiente 23°C por 30 minutos en matraz tapado; después se agregó 25 mL de HCl 0.25 N y se tituló con NaOH 0.1 N hasta el mismo punto final como anteriormente; para calcular su porcentaje se usó la fórmula de Owens (1952) como se citó en León & Riveros (2014):

$$\% \text{ Contenido de metoxilo} = \frac{V_{\text{NaOH}}(\text{mL}) \times N_{\text{NaOH}} \times 3.1}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

– **Ácido galacturónico**

Con los datos de peso equivalente, contenido de metoxilo y alcalinidad de las cenizas se calculó el ácido galacturónico (% AG) gracias a la expresión dada por Owens (1952) como se citó en León & Riveros (2014):

$$\% \text{ AG} = 176 \times \left[\frac{\text{mEq álcali peso eq.} + \text{mEq álcali saponificación} + \text{mEq cenizas titulables}}{\text{peso de la muestra (mg)}} \right] \times 100\%$$

– **Grado de esterificación**

Se halló con los valores del ácido galacturónico y contenido de metoxilo, se calculó en % GE (Owens, 1952 como se citó en Chero, 2019).

$$\% \text{ GE} = \frac{(\% \text{ metoxilo}) \times 176}{(\% \text{ AG}) \times 31} \times 100\%$$

3.4.2.2. Análisis funcional

– **Capacidad de hinchamiento (CH)**

Se determinó gravimétricamente según el método descrito por Bertin, Rouau & Thibault (1988) como se citó en Jara & Mori (2021). Se pesó por triplicado 0.5 g de muestra en probeta de 25 mL y se midió el volumen ocupado por la pectina (V0) (mL), se adicionó 2.5 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente de forma manual por 5 min, luego se

dejó reposar a temperatura ambiente 23°C por 24 horas donde se midió el volumen final (V1) (mL). La capacidad de hinchamiento (mL/g) se calculó así:

$$CH = \frac{V1 - V0}{Peso\ muestra}$$

– **Capacidad de retención de agua (CRA)**

Se determinó gravimétricamente según el método descrito por Bertin, Rouau & Thibault (1988) como se citó en Jara & Mori (2021). Por triplicado, en un tubo cónico para centrifuga de 15 mL, se pesó 0.5 g de muestra (P0) (g), se adicionó 10 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente de forma manual por 10 min, luego se dejó reposar a temperatura ambiente 23°C por 24 horas, acto seguido se centrifugó a 3000 r.p.m. por 40 min en una centrifuga refrigerada, seguidamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P1) (g). Se calculó la CRA (g agua / g pectina):

$$CRA = \frac{P1 - P0}{P0}$$

– **Capacidad de retención de aceite (CRO)**

Se determinó gravimétricamente según el método descrito por Bertin, Rouau & Thibault (1988) como se citó en Jara & Mori (2021). Por triplicado, en un tubo cónico para centrifuga de 15 mL, se pesó 0.5 g de cada muestra (P0) (g), se adicionó 10 mL de aceite vegetal comercial y se agitó vigorosamente de forma manual por 10 min para luego dejarlo en reposo a temperatura ambiente 23°C durante 24 horas y después se centrifugó a 3 000 r.p.m. por 40 min en una centrifuga refrigerada, seguidamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P1) (g). Se usó la siguiente fórmula para calcular la CRO (g aceite /g pectina):

$$CRO = \frac{P1 - P0}{P0}$$

3.4.3. Evaluación de la reología de la masa

3.4.3.1. Análisis farinográfico

Previamente se determinó la humedad de cada muestra (5 g de harina más pectina) en el Analizador de humedad. Se usó el Farinógrafo Brabender siguiendo el método de la AACC (American Association of Cereal Chemists) (1995) como se citó en Chuqui (2021). Los parámetros evaluados fueron: Consistencia, Absorción de agua (corregida para consistencia), Tiempo de desarrollo de la masa, Estabilidad.

3.4.3.2. Análisis extensográfico

Se siguió el método de la AACC (1995) como se citó en Chuqui (2021) usando el Extensógrafo Brabender, previo uso del Farinógrafo para formar la masa de cada tratamiento. Los parámetros evaluados fueron: Resistencia a la extensión, Extensibilidad, Resistencia máxima.

3.4.4. Evaluación de la calidad del pan de molde

3.4.4.1. Análisis tecnológico

– Volumen específico

Se determinó por el método de desplazamiento de semillas de baja densidad (alpiste) según El Dash, Camargo & Díaz (1982) como se citó en Moreno (2017). Para esto primero se pesó en una báscula cada pan de molde (luego de la etapa de enfriamiento), después se llenó de alpiste un recipiente idóneo hasta el ras, seguidamente se retiró una cantidad suficiente de semillas para poder introducir el pan y se cubrió con semillas hasta enrasar el recipiente, el volumen de semillas desplazadas se midió en una probeta de 1000 mL. El volumen específico (mL/g) se calculó dividiendo el volumen del pan de molde (mL) sobre su masa (g).

– Análisis del perfil de textura

La textura instrumental de las rebanadas de pan de molde se evaluó con el Texturómetro; el tipo de prueba fue el Análisis del Perfil de Textura (APT), la sonda utilizada fue la TA25/1000, el objetivo de la penetración

fue de 10.0 mm y la velocidad de la prueba fue de 0.5 mm/s siguiendo el método empleado por Jara & Mori (2021). Para esto el espesor de la muestra fue de 2.4 cm. De la textura instrumental (Ti) se evaluó: Dureza, elasticidad (índice de elasticidad) y masticabilidad.

– **Color instrumental**

Para determinar el color instrumental de la miga de los panes se utilizó el colorímetro siguiendo el sistema CIElab, determinando los valores de L* luminosidad (Negro 0/Blanco 100), a* (verde-/rojo+) y b* (azul-/amarillo+) mencionados por Alvarado & Cerna (2017). El color de la miga fue evaluado en el centro de la rebanada de pan.

La cromacidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h*), fueron calculados de acuerdo con Minolta (1993) como se citó en Alvarado & Cerna (2017).

La cromacidad se determinó usando la fórmula:

$$\text{Cromacidad } (C^*) = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

El ángulo de tonalidad se determinó por:

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

3.4.4.2. Análisis sensorial

Se utilizó una prueba hedónica con una escala de 7 puntos, siendo 1 me disgusta mucho y 7 me gusta mucho (ver Cuadro 10). El puntaje de aceptabilidad del pan de molde fue otorgado por 50 panelistas no entrenados de ambos sexos y diferentes edades. Las características sensoriales evaluadas fueron: Color, Olor, Sabor, Textura y Aceptabilidad general.

La presentación de las muestras a los panelistas fue con codificación alfabética (un código de 3 letras aleatorias para cada formulación) para evitar que el panelista esté sujeto a sugerencias, la disposición de los códigos está descrita en el Cuadro 11. Se adaptó lo mencionado por Morales & Muñoz (2020), Jara & Mori (2021).

Cuadro 10

Escala hedónica para la evaluación sensorial del pan de molde

Valor	Nivel de agrado
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	Me disgusta levemente
4	No me gusta ni me disgusta
5	Me gusta levemente
6	Me gusta moderadamente
7	Me gusta mucho

Cuadro 11

Codificación alfabética de las formulaciones del pan de molde

Tratamiento	Formulación	Código
T1	0.0% de pectina	GRH
T2	0.4% de pectina	YZB
T3	0.8% de pectina	WKU
T4	1.2% de pectina	SVF
T5	1.6% de pectina	LXN
T6	2.0% de pectina	JQO

3.4.5. Análisis proximal del pan de molde

3.4.5.1. Determinación del porcentaje de humedad

Se determinó el porcentaje de humedad de las diferentes formulaciones según el método 44-15.02 de la AACC (2000) como se citó en Jara & Mori (2021).

3.4.5.2. Determinación del porcentaje de cenizas

Se determinó el porcentaje de cenizas de las diferentes formulaciones según la NTP 206.007:1976 (revisada el 2016).

3.4.5.3. Determinación del porcentaje de proteína

Se determinó el porcentaje de proteína de las diferentes formulaciones mediante el Método Kjeldahl, AOAC (Association of Analytical Communities) 2001.11 (2012) como se citó en Quineche (2023).

3.4.5.4. Determinación del porcentaje de grasa

Se determinó el porcentaje de grasa de las diferentes formulaciones según el Método Soxhlet AOAC 963.15 (2005) como se citó en Quineche (2023).

3.4.5.5. Determinación del porcentaje de carbohidratos

Se determinó el porcentaje de carbohidratos de las diferentes formulaciones por diferencia, restando del 100% la suma de porcentajes de humedad, cenizas, proteína, grasa.

3.5. Diseño de la investigación

El diseño experimental usado para la presente investigación cuantitativa fue un diseño completamente al azar (DCA), considerando como variable independiente: El porcentaje de adición de pectina de mesocarpio de granadilla. En el modelo experimental se presentó dicha variable como factor único y se evaluó su influencia en las variables dependientes. Este factor presentó 6 niveles en la formulación de la masa y el pan de molde. Cabe señalar que se utilizó el mismo diseño para el estudio de todas las variables de respuesta excepto para las características sensoriales del pan de molde (más adelante su explicación).

Factor (VI): Porcentaje de adición de pectina de mesocarpio de granadilla.

Niveles (Ti): 0.0%; 0.4%; 0.8%; 1.2%; 1.6%; 2.0%.

Variables de respuesta (Y_{ij}): Propiedades reológicas de la masa y atributos de calidad del pan de molde.

Replicaciones (r): Tres (3).

3.5.1. Tratamientos y aleatorización

El Cuadro 12 presenta la tabla de tratamientos utilizados en el diseño completamente al azar (DCA) para evaluar el efecto de la adición de pectina de mesocarpio de granadilla en diferentes concentraciones. Se establecieron seis niveles de adición de pectina: 0.0% (T1), 0.4% (T2), 0.8% (T3), 1.2% (T4), 1.6% (T5) y 2.0% (T6). Cada tratamiento se aplicó con tres replicaciones, generando un total de 18 unidades experimentales, las cuales están representadas en la tabla mediante las variables Y_{ij} , donde i indica el tratamiento y j la replicación correspondiente.

Cuadro 12

Tabla de tratamientos del DCA

Porcentaje de adición de pectina de mesocarpio de granadilla	Replicaciones		
	1	2	3
0.0% (T1)	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
0.4% (T2)	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}
0.8% (T3)	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}
1.2% (T4)	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}
1.6% (T5)	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}
2.0% (T6)	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}

Producto de los 6 tratamientos con 3 replicaciones se obtuvo 18 unidades experimentales cuya distribución aleatoria se muestra a continuación:

Cuadro 13

Croquis de aleatorización de tratamientos del DCA

¹ T2	² T4	³ T3	⁴ T6	⁵ T3	⁶ T1
⁷ T1	⁸ T6	⁹ T6	¹⁰ T2	¹¹ T5	¹² T1
¹³ T2	¹⁴ T4	¹⁵ T4	¹⁶ T5	¹⁷ T5	¹⁸ T3

3.5.2. Modelo estadístico

Las variables de respuesta se relacionaron con la variable independiente de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta

μ : Promedio general

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento; $i = 1, 2, \dots, t$

ε : Error experimental asociado a la i - j -ésima unidad experimental

3.5.3. Hipótesis estadística

Hipótesis nula H_0 : Al adicionar pectina extraída del mesocarpio de granadilla (0-2%) no tendrá una influencia significativa en la reología de la masa y la calidad del pan de molde.

Hipótesis alternativa H_a : Al adicionar pectina extraída del mesocarpio de granadilla (0-2%) tendrá una influencia significativa en la reología de la masa y la calidad del pan de molde.

Para los tratamientos (% de pectina):

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6$$

$$H_a: \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5 \neq \tau_6$$

3.5.4. Análisis de varianza

Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS 18 para evaluar los efectos de la variable independiente, calcular los coeficientes de regresión (R^2), el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5%.

El Cuadro 14 presenta el ANOVA de un factor para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias poblacionales.

Cuadro 14

Análisis de varianza para la interacción de las variables

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	$t-1=5$				
Error experimental	$t*(r-1)=12$				
Total	$r*t-1=17$				

Solo para el caso de las características sensoriales se consideró a los panelistas como fuente de variación ($r=50$). Los datos obtenidos primero se registraron en una hoja de cálculo Excel.

Cuadro 15

Análisis de varianza para el análisis sensorial

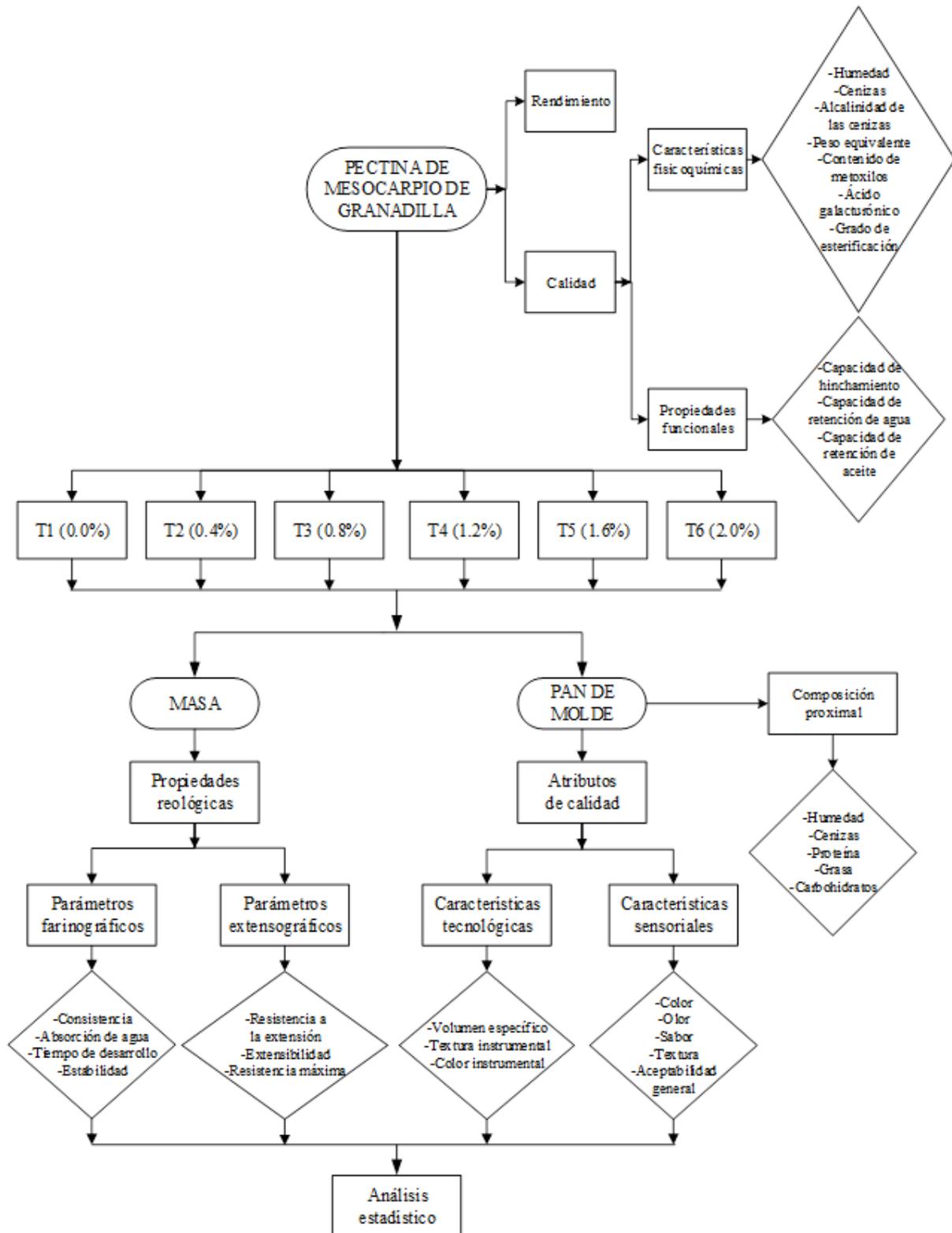
Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	$t-1=5$				
Efecto de panelistas	$r-1=49$				
Error experimental	$(t-1)*(r-1)=245$				
Total	$t*r-1=299$				

Posteriormente, para comparar las medias significativamente diferentes de otras, se usó la prueba post hoc HSD (Diferencia Honestamente Significativa) de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

3.5.5. Esquema experimental

Figura 10

Esquema experimental de la investigación



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del rendimiento de pectina de granadilla

El Cuadro 16 muestra el rendimiento de la pectina en polvo extraída del mesocarpio acondicionado de granadilla (dicho valor está expresado en la media de tres repeticiones más menos la desviación estándar).

Cuadro 16

Rendimiento de pectina extraída del mesocarpio de granadilla

Producto	Rendimiento
Pectina extraída del mesocarpio acondicionado de granadilla	6.75 ± 0.28 %

El rendimiento de la pectina extraída en esta investigación fue de 6.75 ± 0.28%, valor que se encuentra cercano al reportado por Chero (2019) 6.23%, pero menor al obtenido por Apolo (2019) 14.53%. Estas diferencias pueden atribuirse a varios factores tanto de la materia prima (condiciones de cultivo, método de cosecha y manejo postcosecha) como del proceso de extracción (pH, temperatura, ácido usado, tiempo de extracción).

En este estudio, se utilizó granadilla en estado de madurez comercial, lo que implica cierta variabilidad en el tamaño y composición del mesocarpio. Estudios previos han reportado que la madurez del fruto influye en la estructura de la pectina, afectando su extracción y rendimiento. Chero (2019) también trabajó con fruta madura, lo que sugiere que la composición del mesocarpio podría haber influido en la similitud de los rendimientos obtenidos. Un mesocarpio más maduro tiende a ser más blando, lo que podría favorecer la liberación de pectina, aunque también podría incrementar su degradación si no se controla el proceso adecuadamente.

Respecto al proceso de extracción es importante mencionar que se trabajó bajo condiciones similares a las de Chero (2019) (pH 2, a 87°C por 90 minutos), pero usando ácido cítrico en vez de ácido clorhídrico para realizar la hidrólisis ácida (ver Anexo 2). El ácido desempeña un papel crucial en la extracción de pectina al descomponer las paredes celulares del mesocarpio, facilitando así la liberación de pectina. Esto ocurre porque el ácido protona los grupos carboxilo de la pectina, lo que reduce la fuerza de las interacciones entre las cadenas de pectina y la celulosa.

4.2.Determinación de la calidad de la pectina de granadilla

El Cuadro 17 muestra los atributos de calidad de la pectina de granadilla (expresados en la media de tres replicaciones más menos la desviación estándar).

Cuadro 17

Atributos de calidad de la pectina de granadilla

Atributos de calidad	Pectina de granadilla
Características fisicoquímicas	
Humedad (%)	8.57 ± 0.24
Cenizas (%)	1.88 ± 0.07
Alcalinidad de las cenizas (%)	2.86 ± 0.59
Peso equivalente (g/eq)	1111.85 ± 0.38
Contenido de metoxilo (%)	8.51 ± 0.03
Ácido galacturónico (%)	65.08 ± 0.28
Grado de esterificación (%)	74.23 ± 0.17
Propiedades funcionales	
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	5.88 ± 0.57
Capacidad de retención de agua (g/g)	2.59 ± 0.07
Capacidad de retención de aceite (g/g)	1.52 ± 0.11

Para empezar, las características fisicoquímicas de la pectina extraída en el presente estudio son similares a las reportadas por Chero (2019) (ver Cuadro 2).

La humedad de la pectina en polvo es un parámetro crítico que debe mantenerse bajo para asegurar su estabilidad y eficacia en la gelificación. La pectina del mesocarpio de granadilla obtenida en esta investigación se encuentra cercana al límite inferior del rango ideal de humedad (8%), lo cual garantiza la conservación de sus características.

Por otro lado, un porcentaje bajo de cenizas (1%) indica una pectina más pura, mientras que un valor más alto podría reflejar la presencia de impurezas o minerales añadidos. El resultado hallado en este estudio sugiere que el procedimiento de extracción aplicado dejó impurezas en la pectina de granadilla, lo cual también influyó en la alcalinidad de las cenizas. Una alcalinidad baja (1%) indica menos componentes inorgánicos y, por lo tanto, una pectina potencialmente más pura; sin embargo, los resultados de esta investigación sugieren que la pectina de granadilla no es tan pura como se esperaba.

Aun así, con un contenido de ácido galacturónico del 65%, se le considera una pectina de calidad. Además, el contenido de metoxilo reportado, superior al 7%, indica que la pectina de granadilla es de alto metoxilo. Asimismo, el grado de esterificación, mayor al 50%, confirma que se trata de una pectina de alto grado de esterificación. Del mismo modo, su peso equivalente, cercano al rango superior de 1500 g/eq, la clasifica como una pectina de alto peso equivalente. Esto significa que la pectina de granadilla tiene la capacidad de formar geles en presencia de azúcar y bajo pH, lo que sugiere un gran potencial para aplicaciones en la industria alimentaria.

Para finalizar, las propiedades funcionales de la pectina obtenida en la presente investigación son menores a las reportadas por Quintero (2016) (ver Cuadro 3).

La capacidad de hinchamiento puede variar según la fuente de pectina; valores entre 5 y 7 mL/g indican buena interacción con el agua. Con una capacidad de hinchamiento de 5.88 mL/g, se puede decir que la pectina de granadilla presenta una capacidad moderada para absorber agua, ideal para productos alimentarios que requieren textura firme y una estructura estable al corte.

Con una capacidad de retención de agua (CRA) de 2.59 g/g, la pectina de granadilla demuestra una habilidad considerable para retener agua en su estructura, pudiendo proporcionar estabilidad en la textura y evitar la sinéresis en productos que requieren consistencia y homogeneidad durante el almacenamiento y consumo.

Con una capacidad de retención de aceite (CRO) de 1.52 g/g, la pectina de granadilla muestra una capacidad moderada para captar y mantener aceite en su estructura, lo cual es beneficioso en productos donde se necesita estabilidad en emulsiones o donde la textura es importante en presencia de grasas. La CRO ayuda a mantener una mezcla uniforme en sistemas con contenido graso, contribuyendo a la estabilidad del producto final y a una mejor percepción de la textura.

4.3. Evaluación de la reología de la masa adicionada con pectina de granadilla

Los Cuadros 18 y 27 muestran los parámetros **farinográficos** y **extensográficos** de la masa adicionada con pectina de granadilla para los 6 tratamientos (los valores están expresados en la media de tres replicaciones más menos la desviación estándar).

Cuadro 18

Parámetros farinográficos de la masa adicionada con pectina de granadilla

Tratamientos	Consistencia (FE)	Absorción de agua (%)	Tiempo de desarrollo de la masa (min)	Estabilidad (min)
T1 (0.0%)	530.00 ± 1.00	56.80 ± 0.10	2.80 ± 0.02	13.53 ± 0.02
T2 (0.4%)	560.33 ± 0.58	57.50 ± 0.20	7.53 ± 0.03	11.67 ± 0.02
T3 (0.8%)	749.00 ± 1.00	62.20 ± 0.05	4.57 ± 0.04	6.42 ± 0.03
T4 (1.2%)	765.33 ± 0.58	62.60 ± 0.10	4.63 ± 0.02	5.53 ± 0.03
T5 (1.6%)	842.33 ± 0.58	64.60 ± 0.10	4.30 ± 0.03	4.89 ± 0.03
T6 (2.0%)	889.00 ± 1.00	65.70 ± 0.10	3.98 ± 0.02	4.17 ± 0.03

Se aprecia que la consistencia y la absorción de agua van aumentando conforme aumenta el porcentaje de adición de pectina de granadilla, en contraste con la estabilidad, que disminuye. Sin embargo, el tiempo de desarrollo de la masa parece no verse afectado por el porcentaje de pectina añadido.

Con respecto a la consistencia y la absorción de agua, la pectina, al ser un agente gelificante con alta capacidad de retención de agua, tiende a formar una red que atrapa moléculas de agua, aumentando la viscosidad y firmeza de la masa.

Por otro lado, la disminución de estabilidad en la masa con mayor contenido de pectina podría deberse a que, aunque la pectina aporta firmeza y absorbe agua, también puede hacer que la estructura de la masa sea menos cohesiva a concentraciones más altas. Al formar redes muy densas, la pectina podría estar causando que la masa se vuelva más

frágil y menos elástica, haciéndola menos capaz de soportar tensiones o movimientos sin desmoronarse.

Respecto al tiempo de desarrollo, este comportamiento puede explicarse porque la pectina, al absorber agua rápidamente, facilita inicialmente la formación de una red, pero a concentraciones más altas puede saturar la capacidad de hidratación de la masa. Esto causa que el tiempo necesario para alcanzar una cohesión óptima no sea consistente, y que la masa logre su máxima estructura en tiempos que varían sin un patrón claro.

Los Cuadros 19, 21, 23 y 25 muestran el análisis de varianza ANOVA para cada uno de los parámetros farinográficos de la masa con pectina de granadilla.

Cuadro 19

Análisis de varianza para la consistencia de la masa adicionada con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	323920.00	64784.00	97176.00	0.0000
Error experimental	12	8.00	0.67		
Total	17	323928.00			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la consistencia de un nivel de % de pectina de granadilla a otro en el nivel de significancia del 5%. Por eso, se puede inferir que la pectina de granadilla tiene un efecto directo sobre la consistencia de la masa. La pectina actúa como un agente estructurante al retener agua y formar redes, lo cual puede incrementar la firmeza de la masa a medida que se eleva su concentración. Este hallazgo sugiere que ajustar el porcentaje de pectina de granadilla es clave para lograr la consistencia deseada en aplicaciones alimentarias específicas como el pan de molde, donde la consistencia influye directamente en la estructura y la textura del pan, cualidades necesarias para obtener una miga suave pero firme, que mantenga su forma al cortar y untar. De este modo, la pectina de granadilla podría ayudar a mejorar la textura final del pan y reducir la sinéresis, manteniéndolo fresco por más tiempo.

El Cuadro 20 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la consistencia de la masa con pectina de granadilla.

Cuadro 20

Prueba HSD de Tukey para la consistencia de la masa adicionada con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	530.00	X
0.4%	560.33	X
0.8%	749.00	X
1.2%	765.33	X
1.6%	842.33	X
2.0%	889.00	X

Se observa que cada nivel pertenece a un grupo homogéneo distinto, lo que indica que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí en términos de consistencia de la masa.

Según estándares comunes, la consistencia adecuada para masas de pan de molde generalmente está en el rango de 500-600 FE (Farinogram Energy) o UB (Unidades Brabender). Esto asegura una masa equilibrada, ni demasiado dura ni demasiado suave, lo cual es esencial para obtener un pan con buena textura y volumen después del horneado. Los valores para T1 (530 FE) y T2 (560.33 FE) están dentro de este rango, lo que indica que estas formulaciones serían ideales para pan de molde con una textura tradicional. Sin embargo, las muestras con mayor porcentaje de pectina (T3 en adelante) muestran una consistencia que excede el rango típico, lo cual podría resultar en un pan más firme y menos esponjoso.

Cuadro 21

Análisis de varianza para la absorción de agua de la masa adicionada con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	175.03	35.01	75.46	0.0000
Error experimental	12	5.57	0.46		
Total	17	180.60			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la absorción de agua de la masa de un nivel de % de pectina de granadilla a otro en el nivel de significancia del 5%. Este hallazgo implica que el porcentaje de pectina de granadilla afecta significativamente la absorción de agua de la masa.

El Cuadro 22 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la absorción de agua de la masa con pectina de granadilla.

Cuadro 22

Prueba HSD de Tukey para la absorción de agua de la masa adicionada con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	56.80	X
0.4%	57.50	X
0.8%	62.20	X
1.2%	62.60	X
1.6%	64.60	X
2.0%	65.70	X

Como cada tratamiento pertenece a un grupo distinto, se puede afirmar que todos los niveles de pectina afectan significativamente la absorción de agua. Todas las formulaciones se encuentran dentro del rango esperado para masas de pan de molde (55–65%), salvo el tratamiento con mayor concentración de pectina (T6), el cual alcanza un valor ligeramente superior (65.70%). Sin pectina (T1), la absorción está en el nivel más bajo (56.80%), que es típico para una masa estándar sin aditivos funcionales. A partir de T3 (0.8%), se observa un salto significativo en la absorción, llegando a niveles altos (>62%) que son característicos de masas con ingredientes que absorben agua adicionalmente.

Cuadro 23

Análisis de varianza para el tiempo de desarrollo de la masa adicionada con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	36.80	7.36	13118.58	0.0000
Error experimental	12	0.01	0.00		
Total	17	36.81			

Como el valor P de la prueba F es menor que 0.05, se confirma que existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de desarrollo de la masa entre los diferentes niveles de % de pectina de granadilla en un nivel de significancia del 5%. Este resultado indica que la cantidad de pectina de granadilla tiene un impacto directo en la velocidad con la que la masa alcanza su cohesión y estructura óptima. En el contexto del pan de molde, un tiempo de desarrollo ajustado es crucial, ya que un tiempo demasiado corto o prolongado podría afectar la consistencia de la miga y la estabilidad de la estructura, elementos importantes para obtener un producto de alta calidad.

El Cuadro 24 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en el tiempo de desarrollo de la masa con pectina de granadilla.

Cuadro 24

Prueba HSD de Tukey para el tiempo de desarrollo de la masa adicionada con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	2.80	X
2.0%	3.98	X
1.6%	4.30	X
0.8%	4.57	X
1.2%	4.63	X
0.4%	7.53	X

Cada nivel de pectina tiene su propio grupo homogéneo, lo que indica diferencias significativas en el tiempo de desarrollo de la masa entre los tratamientos. A medida que se incrementa la pectina, el tiempo de desarrollo varía, con un pico inesperado en

el 0.4%, lo que sugiere una posible interferencia en la formación del gluten. Este resultado debe considerarse en la formulación del pan, ya que tiempos de desarrollo más largos pueden afectar la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

Un tiempo de desarrollo óptimo está asociado con un buen equilibrio entre hidratación y desarrollo del gluten, lo que influye en la estructura interna de la masa y, en última instancia, en la calidad del pan. Los resultados de T3, T4, y T5 se ubican en el rango ideal de 4 a 7 minutos, lo que indica que las formulaciones con 0.8% a 1.6% de pectina son las más equilibradas para este parámetro. En contraste, los valores extremos observados en T1 (sin pectina) y T2 (0.4%) reflejan limitaciones en la cohesión y elasticidad de la masa, lo cual podría impactar negativamente en el volumen y textura del pan si no se ajustan los parámetros de amasado y formulación.

Cuadro 25

Análisis de varianza para la estabilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	229.29	45.86	80926.08	0.0000
Error experimental	12	0.01	0.00		
Total	17	229.30			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, se confirma la existencia de una diferencia estadísticamente significativa en la estabilidad de la masa entre los distintos niveles de % de pectina de granadilla al nivel de significancia del 5%. Este resultado indica que el porcentaje de pectina influye en la estabilidad de la masa, lo cual es relevante para la producción de pan de molde, ya que una estabilidad adecuada permite que la masa conserve su estructura durante el amasado y leudado sin perder cohesión. Esto sugiere que la pectina de granadilla, aunque contribuye a la consistencia, podría también disminuir la estabilidad si se usa en concentraciones elevadas, afectando la calidad y la textura del pan final.

El Cuadro 26 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la estabilidad de la masa con pectina de granadilla.

Cuadro 26

Prueba HSD de Tukey para la estabilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
2.0%	4.17	X
1.6%	4.89	X
1.2%	5.53	X
0.8%	6.42	X
0.4%	11.67	X
0.0%	13.53	X

Los grupos homogéneos muestran que cada nivel de pectina pertenece a una categoría diferente, esto indica que los cambios en estabilidad son estadísticamente significativos entre todos los tratamientos.

Para pan de molde, la estabilidad esperada está entre 5 y 15 minutos, dependiendo de la calidad del gluten y otros ingredientes. Los valores obtenidos en T1 (13.53 min) y T2 (11.67 min) están dentro del rango ideal. Por otro lado, los tratamientos con mayores concentraciones de pectina (T3 a T6) muestran una estabilidad que se aproxima al límite inferior del rango (alrededor de 5 minutos o menos). Aunque esto podría ser adecuado dependiendo del tipo de pan buscado, indica un posible compromiso en la capacidad de la masa para soportar largos tiempos de amasado.

La pectina, al no ser una proteína formadora de gluten, interfiere parcialmente en la red de gluten, debilitándola progresivamente a medida que su concentración aumenta. Esto explica la reducción en la estabilidad de la masa.

Además, la mayor absorción de agua observada en los tratamientos con más pectina (como se mencionó anteriormente) podría diluir el efecto estabilizante del gluten, acelerando su desintegración durante el amasado.

Cuadro 27*Parámetros extensográficos de la masa adicionada con pectina de granadilla*

Trata- mientos	Tiempo (min)	Resistencia a la extensión (BU)	Extensibilidad (mm)	Resistencia máxima (BU)
T1	30	1114 ± 1.63	106 ± 0.82	1317 ± 0.47
	60	1638 ± 0.00	83 ± 0.47	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	79 ± 0.82	1638 ± 0.00
T2	30	1185 ± 1.25	111 ± 0.82	1390 ± 0.82
	60	1638 ± 0.00	68 ± 1.63	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	85 ± 0.82	1638 ± 0.00
T3	30	1250 ± 1.25	148 ± 1.25	1409 ± 0.82
	60	1638 ± 0.00	91 ± 1.63	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	88 ± 0.82	1638 ± 0.00
T4	30	1329 ± 0.82	107 ± 1.63	1441 ± 0.82
	60	1638 ± 0.00	87 ± 0.82	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	68 ± 1.63	1638 ± 0.00
T5	30	1345 ± 0.47	124 ± 0.47	1463 ± 0.47
	60	1638 ± 0.00	68 ± 0.82	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	68 ± 1.63	1638 ± 0.00
T6	30	1455 ± 0.47	107 ± 0.47	1638 ± 0.00
	60	1638 ± 0.00	68 ± 0.82	1638 ± 0.00
	90	1638 ± 0.00	68 ± 0.82	1638 ± 0.00

El extensograma se utiliza para evaluar la capacidad de extensión de la masa en tres etapas durante la fermentación: a corto (30 min), medio (60 min) y largo plazo (90 min). Los resultados obtenidos en este estudio indican que, a corto plazo, tanto la resistencia a la extensión como la resistencia máxima aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de pectina de granadilla en la masa. Sin embargo, en los tiempos de medio (60 min) y largo plazo (90 min), estos parámetros se mantienen constantes.

Este comportamiento sugiere que la pectina de granadilla afecta principalmente la resistencia inicial de la masa, probablemente debido a la formación de una red estructural que refuerza la masa. La pectina, al interactuar con el agua, aumenta la viscosidad de la masa, lo que hace que se vuelva más firme y resistente al estiramiento, especialmente a corto plazo. Este aumento en la resistencia es deseable en productos como el pan de molde, ya que puede contribuir a una miga más firme y estable.

Por otro lado, la extensibilidad de la masa, medida en los tres tiempos evaluados, no muestra una variación significativa con el incremento de la pectina. Esto sugiere que la red de gluten, que es responsable de la elasticidad de la masa, no se ve alterada de manera considerable por la adición de pectina. En este sentido, la pectina parece funcionar más como un refuerzo estructural en la masa, aumentando su resistencia, pero sin comprometer su capacidad para extenderse adecuadamente.

Estos resultados son indicativos de que la pectina de granadilla actúa como un agente estructurante, mejorando la firmeza de la masa sin restringir su capacidad de expansión durante la fermentación. Este comportamiento es especialmente ventajoso en la producción de pan de molde, ya que la resistencia adicional puede mejorar la capacidad de la masa para mantener su forma durante el horneado, contribuyendo a un pan con una miga bien estructurada y firme.

En resumen, aunque la masa adquiere mayor resistencia al estiramiento con la adición de pectina, mantiene su capacidad para extenderse sin romperse. Esta combinación de mayor resistencia y buena extensibilidad es ideal para productos como el pan de molde, ya que permite que la masa se expanda adecuadamente durante la fermentación, sin colapsar. Además, la extensibilidad constante garantiza un buen volumen y textura.

En general, los hallazgos sugieren que la pectina de granadilla tiene un efecto positivo en la calidad del pan de molde, siempre que se controle adecuadamente su porcentaje para evitar un endurecimiento excesivo de la masa. Esto ofrece la posibilidad de ajustar

las propiedades de la masa para obtener panes con características deseables, como una textura firme y una miga estable, sin comprometer la aireación ni el volumen.

Los Cuadros 28, 30 y 32 muestran el análisis de varianza ANOVA para cada uno de los parámetros extensográficos de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluados a 30 minutos.

Cuadro 28

Análisis de varianza para la resistencia a la extensión de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	224427.00	44885.40	26062.50	0.0000
Error experimental	12	20.67	1.72		
Total	17	224448.00			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la resistencia a la extensión de un nivel de porcentaje de pectina de granadilla a otro en el nivel de significancia del 5%. Esto indica que el porcentaje de pectina de granadilla añadido influye directamente en la resistencia a la extensión de la masa, lo que sugiere que ajustar este porcentaje permite modificar este parámetro de acuerdo con las necesidades del producto final.

La tendencia ascendente en la resistencia a la extensión con el aumento del porcentaje de pectina puede atribuirse a su capacidad para reforzar la estructura de la masa mediante la formación de una red que incrementa su rigidez. Este comportamiento es característico de aditivos que retienen agua y contribuyen a una mayor cohesión entre las partículas de la masa. Sin embargo, los valores obtenidos están muy por encima del rango esperado para pan de molde (300-500 BU). Esto indica una masa excesivamente rígida, lo que puede dificultar su manejo durante el procesamiento y comprometer la expansión adecuada durante la fermentación.

El Cuadro 29 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la resistencia a la extensión de la masa con pectina de granadilla en 30 minutos.

Cuadro 29

Prueba HSD de Tukey para la resistencia a la extensión de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	1114.00	X
0.4%	1185.33	X
0.8%	1250.33	X
1.2%	1329.00	X
1.6%	1345.33	X
2.0%	1455.33	X

Cada nivel de pectina pertenece a un grupo homogéneo diferente, esto indica que todas las diferencias entre los tratamientos son estadísticamente significativas.

Cuadro 30

Análisis de varianza para la extensibilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	4033.11	806.62	537.75	0.0000
Error experimental	12	18.00	1.50		
Total	17	4051.11			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la Extensibilidad media de un nivel de porcentaje de pectina de granadilla a otro en el nivel de significancia del 5%.

Según estándares reológicos, la extensibilidad para masas de pan de molde se encuentra generalmente entre 70 mm y 130 mm, dependiendo de factores como la calidad del gluten, los ingredientes añadidos y el tiempo de reposo.

Aunque los valores de la extensibilidad no presentan un comportamiento proporcional claro con respecto al porcentaje de pectina añadida, el análisis estadístico muestra diferencias significativas entre los niveles evaluados. Esto indica que, aunque las variaciones pueden parecer aleatorias (aumentando o disminuyendo de forma no

lineal), existen diferencias suficientes entre las medias de los grupos para que estas sean estadísticamente detectables.

Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza compleja de las interacciones entre la pectina de granadilla y la red de gluten. Es posible que la pectina influya de forma heterogénea en la cohesión y elasticidad de la masa, afectando la extensibilidad de manera variable según la concentración. Los resultados obtenidos son consistentes con el comportamiento esperado al añadir pectina: mejora la estructura, pero limita la elasticidad. Para pan de molde, tratamientos como T3 y T4 parecen ser los más equilibrados, mientras que T5 y T6 podrían ser más adecuados para panes con miga más densa y firme.

El Cuadro 31 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la extensibilidad de la masa con pectina de granadilla en 30 minutos.

Cuadro 31

Prueba HSD de Tukey para la extensibilidad de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	106.00	X
1.2%	107.00	X
2.0%	107.33	X
0.4%	111.00	X
1.6%	124.33	X
0.8%	147.67	X

Existen cinco grupos homogéneos, lo que indica que algunos tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí. 0.0%, 1.2% y 2.0% pertenecen al mismo grupo homogéneo, lo que significa que no hay diferencia significativa entre ellos. 0.4%, 1.6% y 0.8% pertenecen a grupos diferentes, lo que indica que sí hay diferencias significativas con los niveles más bajos. A bajas concentraciones (0.0% - 2.0%), la pectina no influye notablemente en la extensibilidad. A partir de 0.4%, podría haber una interacción estructural que favorezca la elasticidad, incrementando la extensibilidad en niveles más altos. En 0.8%, la red estructural podría volverse más flexible, permitiendo una mayor deformación antes de la ruptura.

Cuadro 32

Análisis de varianza para la resistencia máxima de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	174598.00	34919.70	57141.31	0.0000
Error experimental	12	7.33	0.61		
Total	17	174606.00			

El valor P de la prueba F es menor que 0.05, lo que indica que hay diferencias estadísticamente significativas en la resistencia máxima promedio de la masa entre los distintos niveles de porcentaje de pectina de granadilla añadida, al nivel de significancia del 5%. Esto sugiere que el porcentaje de pectina de granadilla tiene un efecto directo sobre la resistencia máxima de la masa. A medida que se varía el porcentaje de pectina, la masa responde con cambios sustanciales en su capacidad para resistir fuerzas antes de alcanzar su punto de ruptura.

El Cuadro 33 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la resistencia máxima de la masa con pectina de granadilla en 30 minutos.

Cuadro 33

Prueba HSD de Tukey para la resistencia máxima de la masa adicionada con pectina de granadilla evaluada a corto plazo

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	1317.33	X
0.4%	1390.00	X
0.8%	1409.00	X
1.2%	1441.00	X
1.6%	1463.33	X
2.0%	1638.00	X

Existen seis grupos homogéneos, indicando diferencias significativas entre todos los tratamientos. Cada nivel de pectina pertenece a un grupo diferente, lo que significa que todas las concentraciones generan un efecto diferenciado en la resistencia máxima.

Según la literatura, la resistencia máxima ideal para masas de pan de molde se encuentra entre 400 y 1200 BU. Sin embargo, los valores obtenidos superan significativamente este rango, incluso desde el tratamiento sin adición de pectina.

Esto sugiere que la masa inicial ya presenta una resistencia elevada, y el incremento observado en los tratamientos con pectina podría atribuirse al efecto estructurante de este compuesto, que refuerza la red estructural de la masa y contribuye a su mayor resistencia.

4.4. Evaluación de la calidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Las **características tecnológicas** del pan de molde adicionado con pectina de granadilla se muestran en los cuadros 34, 36 y 42 para los 6 tratamientos (los valores están expresados en la media de tres replicaciones más menos la desviación estándar).

El **volumen específico** de los panes elaborados con pectina de granadilla mostró fluctuaciones a medida que se incrementó el porcentaje de pectina añadido, lo que sugiere que el efecto de la pectina sobre este parámetro no sigue un patrón lineal.

Cuadro 34

Volumen específico del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Tratamientos	Volumen específico (mL/g)
T1	5.20 ± 0.13
T2	4.91 ± 0.11
T3	5.08 ± 0.13
T4	4.96 ± 0.09
T5	4.90 ± 0.18
T6	5.09 ± 0.11

No obstante, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para panes de molde de buena calidad (3.5-5.5 mL/g). Esto indica que las formulaciones con adición de pectina de granadilla, aunque presentan valores ligeramente menores en comparación con la formulación sin pectina, no comprometen una de las propiedades más importantes del pan: su volumen específico.

Este resultado refleja que el pan de molde mantiene una estructura interna capaz de retener eficazmente los gases generados durante la fermentación, lo cual es fundamental para lograr una textura óptima y una apariencia final adecuada.

El Cuadro 35 muestra el análisis de varianza ANOVA para el volumen específico del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.

Cuadro 35

Análisis de varianza para el volumen específico del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	0.22	0.04	2.75	0.0699
Error experimental	12	0.19	0.02		
Total	17	0.40			

Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del volumen específico de los panes elaborados con diferentes niveles de pectina de granadilla, al nivel de significancia del 5%. Esto indica que el porcentaje de pectina añadido no tiene un efecto significativo sobre el volumen específico del pan de molde dentro del rango evaluado.

Este resultado sugiere que la pectina de granadilla, dentro del rango evaluado, no tiene un efecto significativo en el volumen específico del pan. Si bien pueden observarse pequeñas subidas o bajadas, estas no son lo suficientemente consistentes o grandes para considerarse estadísticamente relevantes.

Por otro lado, el Cuadro 36 muestra el efecto de la adición de pectina de granadilla sobre la **textura instrumental** del pan de molde considerando los siguientes parámetros.

Cuadro 36

Parámetros texturales del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Tratamientos	Dureza (N)	Índice de elasticidad	Masticabilidad (mJ)
T1	5.53 ± 0.55	0.93 ± 0.01	25.58 ± 0.59
T2	6.40 ± 0.17	0.92 ± 0.01	31.42 ± 0.38
T3	7.27 ± 0.25	0.93 ± 0.02	34.51 ± 0.37
T4	8.30 ± 0.36	0.93 ± 0.00	36.65 ± 0.57
T5	9.70 ± 0.36	0.93 ± 0.01	42.15 ± 0.34
T6	10.23 ± 0.15	0.92 ± 0.01	42.21 ± 0.54

Se aprecia que la dureza y la masticabilidad van aumentando progresivamente conforme aumenta el porcentaje de adición de pectina de granadilla. Sin embargo, la elasticidad del pan parece no verse afectada por el porcentaje de pectina añadido.

La mayor dureza contribuye a una masticabilidad superior, ya que se requiere más esfuerzo para romper la estructura más densa del pan durante la masticación. Sus incrementos pueden atribuirse a las propiedades de retención de agua y formación de gel de la pectina, así como a su efecto reforzante en la estructura de la miga.

La elasticidad constante sugiere que la red de gluten mantiene su integridad funcional, incluso en presencia de pectina en distintas concentraciones. Esto demuestra que la pectina puede ser una adición valiosa para mejorar la textura del pan, siempre que se controle adecuadamente su porcentaje.

Los Cuadros 37, 39 y 40 muestran el análisis de varianza ANOVA para cada uno de los parámetros del perfil de textura del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.

Cuadro 37

Análisis de varianza para la dureza del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	51.29	10.26	90.51	0.0000
Error experimental	12	1.36	0.11		
Total	17	52.65			

Como el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la dureza media de un nivel de % de pectina de granadilla a otro en el nivel de significación del 5%. El análisis estadístico muestra que los cambios en la dureza no son aleatorios, sino que están directamente influenciados por el porcentaje de pectina añadido.

Según la literatura, el rango ideal de dureza para panes de molde se sitúa entre 2 y 10 N, lo que garantiza una textura suave pero suficientemente firme para mantener su forma durante el corte y consumo. Los valores obtenidos para los tratamientos T1 a T5 están dentro del rango ideal, lo que sugiere que la adición de pectina en concentraciones bajas o moderadas contribuye positivamente al desarrollo de una miga más estructurada y estable, sin comprometer la suavidad característica del pan de molde. Sin embargo, el tratamiento T6 (10.23 ± 0.15 N) supera ligeramente el límite superior, indicando que en concentraciones muy altas de pectina la textura del pan puede volverse demasiado firme, lo que podría disminuir su aceptación sensorial. Este comportamiento puede explicarse por la capacidad de la pectina para retener agua y reforzar la matriz de la miga. Aunque este efecto es favorable para mejorar la estabilidad del pan y reducir su tendencia a desmoronarse, en concentraciones elevadas podría generar una textura menos esponjosa, afectando la percepción de suavidad que suelen preferir los consumidores. En resumen, la adición de pectina de granadilla en concentraciones adecuadas (hasta 1.6%) aporta beneficios estructurales al pan de molde sin comprometer su calidad textural, mientras que concentraciones más altas deben considerarse con precaución para evitar una dureza excesiva.

El Cuadro 38 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la dureza del pan de molde con pectina de granadilla.

Cuadro 38

Prueba HSD de Tukey para la dureza del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	5.53	X
0.4%	6.40	XX
0.8%	7.27	X
1.2%	8.30	X
1.6%	9.70	X
2.0%	10.23	X

Cada nivel de pectina se agrupa de manera separada, lo que indica diferencias significativas en la dureza entre la mayoría de los niveles. Si algún nivel comparte más de un grupo homogéneo (por ejemplo, "XX"), significa que no hay diferencias significativas con ciertos niveles cercanos.

Cuadro 39

Análisis de varianza para el índice de elasticidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	0.00	0.00	0.20	0.9563
Error experimental	12	0.00	0.00		
Total	17	0.00			

Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0.05, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del índice de elasticidad para los diferentes niveles de adición de pectina de granadilla, al nivel de significancia del 5%. El índice de elasticidad de los panes evaluados mostró valores consistentes, variando entre 0.92 y 0.93 (adimensional), lo cual se encuentra dentro del rango ideal para pan de molde, que típicamente oscila entre 0.85 y 0.95.

Este rango refleja un equilibrio adecuado entre la capacidad del pan para recuperar su forma tras una compresión y su suavidad. Los resultados obtenidos confirman que la

elasticidad del pan, que mide su capacidad para volver a su forma inicial tras una deformación, no se ve afectada significativamente por la adición de pectina en ninguna de las concentraciones estudiadas.

Este comportamiento sugiere que la pectina de granadilla no interfiere con la red estructural interna responsable de esta propiedad, probablemente porque la elasticidad depende principalmente de la red de gluten y no de los polisacáridos añadidos. Además, estos resultados destacan que la pectina de granadilla, incluso en altas concentraciones, no compromete la elasticidad del pan, lo que refuerza su potencial como aditivo funcional. Así, la pectina puede mejorar ciertas características del pan sin afectar negativamente propiedades esenciales como la elasticidad.

Cuadro 40

Análisis de varianza para la masticabilidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	619.90	123.98	542.61	0.0000
Error experimental	12	2.74	0.23		
Total	17	622.64			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la masticabilidad media de un nivel de % de pectina de granadilla a otro al nivel de significancia del 5%.

Los resultados de masticabilidad (mJ) obtenidos están significativamente por encima del rango de referencia general para pan de molde (1.0 a 4.0 mJ). Esto indica que los panes elaborados tienen una textura más compacta o densa de lo habitual, lo cual podría deberse a la adición de pectina de granadilla y su efecto en la estructura del pan. La pectina de granadilla puede estar contribuyendo a una mayor cohesión de la masa, dificultando su desintegración durante la masticación.

El Cuadro 41 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la masticabilidad del pan de molde con pectina de granadilla.

Cuadro 41

Prueba HSD de Tukey para la masticabilidad del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
0.0%	25.58	X
0.4%	31.42	X
0.8%	34.51	X
1.2%	36.65	X
1.6%	42.15	X
2.0%	42.21	X

Cada nivel de pectina forma un grupo homogéneo distinto, lo que indica que hay diferencias significativas en la masticabilidad entre la mayoría de los niveles. Esto sugiere que incluso pequeños aumentos en la concentración de pectina pueden generar cambios notables en esta propiedad.

En este estudio se decidió evaluar exclusivamente el **color instrumental** de la miga del pan de molde, omitiendo el análisis de la corteza, debido a consideraciones relacionadas con la influencia de la pectina y los procesos de horneado en ambas partes del pan.

La pectina, como polisacárido no formador de gluten, interactúa principalmente con los componentes de la miga, afectando propiedades como la estructura interna y la retención de humedad. Sin embargo, su impacto directo sobre la corteza es mínimo, ya que la corteza del pan es el resultado de reacciones químicas (como la caramelización de azúcares y la reacción de Maillard) que ocurren durante el horneado a altas temperaturas. Estas reacciones dependen más de la composición superficial y del contenido de azúcares y proteínas, que de la presencia de pectina.

El color de la miga se forma por las propiedades intrínsecas de los ingredientes y la estructura interna del pan, donde la pectina podría influir (pectinas de color más claro suelen ser preferidas porque no alteran la apariencia de los productos). En cambio, el color de la corteza se ve más afectado por factores externos, como la temperatura y el tiempo de horneado, que son independientes de la concentración de pectina.

Por esto, el Cuadro 42 muestra el efecto de la adición de pectina de granadilla sobre el color instrumental de la miga del pan de molde considerando los siguientes parámetros.

Cuadro 42

Color instrumental de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Tratamientos	Luminosidad (L*)	Cromacidad (C*)	Ángulo de tonalidad (h°)
T1	70.65 ± 0.86	15.09 ± 0.92	-85.36 ± 0.93
T2	75.61 ± 2.84	16.11 ± 0.94	-85.03 ± 0.25
T3	71.24 ± 3.07	15.25 ± 1.08	-84.70 ± 0.26
T4	67.42 ± 1.57	15.97 ± 0.63	-86.83 ± 0.60
T5	69.13 ± 0.68	15.95 ± 0.45	-85.33 ± 0.32
T6	72.06 ± 0.86	16.60 ± 0.24	-86.17 ± 0.31

Se observa que los parámetros de color instrumental del pan de molde no presentan una relación proporcional con el porcentaje de pectina añadido, ya que no se identifican tendencias consistentes de incremento o disminución. Esto sugiere que la adición de pectina de granadilla no influye significativamente en las propiedades de color.

Los Cuadros 43, 45 y 46 muestran el análisis de varianza ANOVA para cada uno de los parámetros del color instrumental de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.

Cuadro 43

Análisis de varianza para la luminosidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	116.67	23.33	6.39	0.0041
Error experimental	12	43.83	3.65		
Total	17	160.50			

Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0.05, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la luminosidad media (L^*) de la miga del pan de molde en los diferentes niveles de % de pectina de granadilla al nivel de significancia del 5%. Esto indica que, aunque visualmente las diferencias puedan parecer sutiles, la adición de pectina de granadilla impacta en la luminosidad de la miga de manera cuantificable.

El Cuadro 44 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en la luminosidad del pan de molde con pectina de granadilla.

Cuadro 44

Prueba HSD de Tukey para la luminosidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
1.2%	67.42	X
1.6%	69.13	X
0.0%	70.65	XX
0.8%	71.24	XX
2.0%	72.06	XX
0.4%	75.61	X

Hay dos grupos homogéneos principales: Un grupo formado por los niveles de 1.2% y 1.6%, que presentan los valores de luminosidad más bajos. Otro grupo conformado por los niveles de 0.0%, 0.8% y 2.0%, con valores intermedios. El 0.4% de pectina se encuentra en un grupo separado, lo que sugiere que su diferencia de luminosidad es significativa frente a los demás niveles. La mayor luminosidad en el 0.4% podría estar relacionada con una mejor retención de aire en la masa o una menor interacción con los pigmentos naturales del pan.

A pesar de estas diferencias, los valores de L^* permanecen dentro del rango ideal para panes de molde tradicionales (65 a 85), lo que garantiza que la percepción general del color de la miga sigue siendo adecuada. Este resultado sugiere que la pectina de granadilla puede influir levemente en la interacción de los ingredientes con la luz, pero sin comprometer la aceptabilidad visual del producto final.

Cuadro 45

Análisis de varianza para la cromacidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	4.76	0.95	1.61	0.2311
Error experimental	12	7.11	0.59		
Total	17	11.87			

La cromacidad (C*) de la miga del pan de molde evaluada en este estudio varió entre 15.09 y 16.60, lo que indica que los colores predominantes de la miga mantienen una saturación moderada. Dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0.05, no se observan diferencias estadísticamente significativas en la cromacidad media entre los diferentes niveles de adición de pectina de granadilla al nivel de significancia del 5%.

Esto sugiere que la incorporación de pectina de granadilla, incluso en las concentraciones más altas, no afecta de manera perceptible la intensidad o saturación del color de la miga. Este resultado es consistente con el objetivo de preservar las características visuales del pan, ya que la cromacidad uniforme refleja estabilidad en los atributos estéticos del producto, esenciales para la aceptación del consumidor.

Adicionalmente, el rango de cromacidad obtenido está en línea con los valores esperados para panes de molde, que suelen exhibir una tonalidad suave y poco saturada, adecuada para este tipo de producto. Este comportamiento reafirma que la pectina de granadilla puede utilizarse como aditivo funcional sin alterar el atractivo visual del pan.

Cuadro 46

Análisis de varianza para el ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	9.44	1.89	9.02	0.0009
Error experimental	12	2.51	0.21		
Total	17	11.95			

Dado que el valor P de la prueba F es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del ángulo de tonalidad (h°) de un nivel de % de pectina de granadilla a otro al nivel de significancia del 5%.

A pesar de esta diferencia, los valores del ángulo de tonalidad (h°) se encuentran en un rango estrecho, entre -84.70 y -86.83. Estos resultados sugieren que, aunque la adición de pectina de granadilla genera variaciones mínimas en este parámetro, dichas diferencias podrían no ser perceptibles a nivel visual para el consumidor. Esto refuerza la idea de que la pectina de granadilla no tiene un impacto sustancial en la tonalidad general de la miga del pan, manteniendo la estabilidad de los atributos de color.

El Cuadro 47 presenta la prueba HSD de Tukey, que determina los grupos homogéneos en el ángulo de tonalidad del pan de molde con pectina de granadilla.

Cuadro 47

Prueba HSD de Tukey para el ángulo de tonalidad de la miga del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Nivel	Media	Grupos homogéneos
1.2%	-86.83	X
2.0%	-86.17	XX
0.0%	-85.37	XX
1.6%	-85.33	XX
0.4%	-85.03	XX
0.8%	-84.70	X

Existen dos grupos homogéneos: Un grupo compuesto por las muestras con 1.2% y 0.8%, indicando que estos niveles de pectina generan diferencias significativas en el ángulo de tonalidad respecto al resto. Un segundo grupo formado por los niveles 0.0%, 1.6%, 0.4% y 2.0%, cuyos valores son estadísticamente similares entre sí. La diferencia entre el 0.8% y el 1.2% respecto a los demás niveles sugiere que la pectina puede estar afectando el color del pan en ciertas concentraciones.

Es posible que las interacciones de la pectina con otros componentes del pan, como la humedad o las reacciones de Maillard, estén influyendo en la variación del color, por eso las pectinas de color más claro suelen ser preferidas porque no alteran la apariencia de los productos finales.

Finalmente, el Cuadro 48 muestra el efecto de la adición de pectina de granadilla sobre la **calidad sensorial** del pan de molde considerando los atributos mostrados a continuación (los valores están expresados en la media de 50 datos más menos la desviación estándar).

Cuadro 48

Calidad sensorial del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Trata- mientos	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad general
T1	5.80 ± 1.01	5.48 ± 1.11	5.52 ± 0.97	5.18 ± 1.21	5.60 ± 0.88
T2	5.96 ± 1.19	5.64 ± 1.19	5.84 ± 1.18	5.64 ± 1.45	5.90 ± 1.07
T3	5.94 ± 0.98	5.66 ± 1.02	5.68 ± 1.24	5.40 ± 1.25	5.74 ± 1.03
T4	5.74 ± 0.90	5.36 ± 1.21	5.40 ± 1.28	5.16 ± 1.35	5.46 ± 1.18
T5	5.56 ± 1.31	5.42 ± 1.37	5.40 ± 1.29	5.38 ± 1.24	5.56 ± 1.23
T6	5.82 ± 1.00	5.56 ± 1.15	5.40 ± 1.31	5.38 ± 1.24	5.54 ± 1.15

Se observa que el tratamiento T2 (5.96) obtuvo la mejor calificación en color, mientras que T5 (5.56) recibió la menor, aunque sin diferencias significativas. En cuanto al olor, T3 (5.66) obtuvo la puntuación más alta, lo que sugiere que su aroma fue el más aceptable para los evaluadores, mientras que T4 (5.36) presentó la calificación más baja, aunque aún dentro de un rango aceptable. Respecto al sabor, T2 (5.84) fue el mejor evaluado, mientras que los tratamientos T4, T5 y T6 (5.40) obtuvieron las calificaciones más bajas, aunque sin caer en una categoría negativa. En términos de textura, T2 (5.64) nuevamente obtuvo la mejor calificación, mientras que T4 (5.16) recibió la menor, lo que indica que su textura fue menos atractiva para los jueces. En la aceptabilidad general, T2 (5.90) fue el tratamiento más valorado, consolidándose como el pan de molde con mejor evaluación en términos globales. En contraste, T4 mostró la menor aceptación en varias categorías, especialmente en olor, sabor, textura y aceptabilidad general. Por último, ningún tratamiento recibió una calificación menor a 5, lo que indica que todos los panes fueron moderadamente aceptados por los evaluadores.

Los Cuadros 49, 50, 51, 53 y 54 muestran el análisis de varianza ANOVA para cada uno de los atributos sensoriales del pan de molde adicionado con pectina de granadilla.

Cuadro 49

Análisis de varianza para el color del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	5.34	1.07	1.59	0.1636
Efecto de panelistas	49	175.56	3.58	5.34	0.0000
Error experimental	245	164.50	0.67		
Total	299	345.40			

El análisis indica que la adición de pectina de granadilla no generó un cambio estadísticamente significativo en el color del pan de molde. Sin embargo, la percepción del color varió entre los evaluadores, lo que sugiere diferencias subjetivas en la apreciación del atributo.

Cuadro 50

Análisis de varianza para el olor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	3.64	0.73	1.01	0.4138
Efecto de panelistas	49	232.21	4.74	6.56	0.0000
Error experimental	245	177.03	0.72		
Total	299	412.88			

La adición de pectina de granadilla no generó un impacto estadísticamente significativo en el olor del pan de molde. No obstante, los evaluadores presentaron diferencias notables en sus calificaciones, lo que sugiere que la percepción del olor fue subjetiva y variada entre los panelistas.

Cuadro 51

Análisis de varianza para el sabor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	8.44	1.69	2.34	0.0425
Efecto de panelistas	49	259.19	5.29	7.33	0.0000
Error experimental	245	176.89	0.72		
Total	299	444.52			

A diferencia de los atributos anteriores, el análisis sugiere que la adición de pectina de granadilla sí afectó significativamente el sabor del pan de molde. Esto indica que algunos niveles de pectina pudieron haber mejorado o afectado la percepción del sabor. Sin embargo, también se observa una gran variabilidad entre los panelistas, lo que sugiere que la percepción del sabor es subjetiva.

Cuadro 52

Prueba HSD de Tukey para el sabor del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Tratamientos	Media ajustada	Grupos homogéneos
Tratamiento 5	5.40	X
Tratamiento 6	5.40	X
Tratamiento 4	5.40	X
Tratamiento 1	5.52	X
Tratamiento 3	5.68	X
Tratamiento 2	5.84	X

En este caso, todos los tratamientos están en el mismo grupo ("X"), lo que significa que no hay diferencias significativas en sabor entre los tratamientos según la prueba de Tukey. Esto es importante porque, aunque el ANOVA indicó que existían diferencias significativas en sabor ($P = 0.0425 < 0.05$), la prueba de Tukey revela que esas diferencias no son lo suficientemente grandes como para separar los tratamientos en diferentes grupos estadísticos. Esto ocasiona que se puede decir que la adición de pectina no afecta de manera drástica el sabor del pan de molde.

Cuadro 53

Análisis de varianza para la textura del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	7.66	1.53	1.65	0.1471
Efecto de panelistas	49	264.00	5.39	5.81	0.0000
Error experimental	245	227.18	0.93		
Total	299	498.84			

La pectina no influyó significativamente en la textura sensorial del pan según el análisis de ANOVA, dado que las diferencias en las calificaciones se deben más a las percepciones individuales de los panelistas.

Cuadro 54

Análisis de varianza para la aceptabilidad general del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Fuente de variación	GI	SC	CM	Razón-F	Valor-P
Efecto de tratamientos	5	6.39	1.28	2.08	0.0682
Efecto de panelistas	49	203.00	4.14	6.75	0.0000
Error experimental	245	150.28	0.61		
Total	299	359.67			

No hay diferencias significativas en la aceptabilidad general del pan entre los tratamientos según ANOVA. Las diferencias en las calificaciones se deben más a la percepción individual de los panelistas.

De todo lo mencionado anteriormente se concluye que, aunque el tratamiento T2 tuvo la mayor aceptabilidad en los promedios, estadísticamente no es diferente de los demás, por lo que se puede decir que la pectina no afecta la calidad sensorial del pan de molde.

4.5. Determinación de la composición proximal del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

El Cuadro 55 muestra los macronutrientes del pan de molde con pectina de granadilla (expresados en la media de tres replicaciones más menos la desviación estándar).

Cuadro 55

Composición proximal del pan de molde adicionado con pectina de granadilla

Tratamientos	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Proteínas (%)	Carbohidratos (%)
T1	32.35 ± 0.71	1.74 ± 0.03	8.87 ± 0.03	8.85 ± 0.04	48.20 ± 0.69
T2	31.82 ± 0.94	1.78 ± 0.05	8.83 ± 0.05	8.82 ± 0.07	48.75 ± 0.94
T3	31.64 ± 0.48	1.77 ± 0.02	8.89 ± 0.02	8.85 ± 0.04	48.85 ± 0.51
T4	31.52 ± 1.10	1.75 ± 0.03	8.76 ± 0.02	8.82 ± 0.07	49.15 ± 1.06
T5	31.75 ± 0.54	1.79 ± 0.03	8.73 ± 0.01	8.82 ± 0.07	48.91 ± 0.54
T6	30.57 ± 0.56	1.74 ± 0.05	8.74 ± 0.01	8.85 ± 0.04	50.09 ± 0.51

Se observa una ligera disminución de la humedad en algunos tratamientos, lo que podría estar relacionado con la interacción de la pectina con el agua en la formulación. El tratamiento T1 tiene el mayor contenido de humedad, mientras que T6 tiene el menor. Este tratamiento tiene el mayor contenido de carbohidratos, mientras que T1 el menor, lo cual puede estar relacionado con la reducción de humedad en los tratamientos con mayor concentración de pectina.

La adición de pectina de granadilla afectó ligeramente la humedad y los carbohidratos, pero no tuvo un impacto significativo en cenizas, grasa o proteínas. T6 mostró el menor contenido de humedad y el mayor contenido de carbohidratos, lo que sugiere una posible relación entre la pérdida de agua y el aumento proporcional de sólidos. Las diferencias en los otros parámetros son mínimas, indicando que la formulación del pan se mantiene relativamente estable en términos de composición nutricional.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Luego de evaluar la influencia de adicionar pectina extraída del mesocarpio de granadilla en la reología de la masa y la calidad del pan de molde se concluye que:

- El rendimiento de pectina en el proceso de extracción a partir del mesocarpio de granadilla fue $6.75 \pm 0.28 \%$, el cual puede considerarse adecuado y consistente con los valores reportados en la literatura.
- La pectina extraída del mesocarpio de granadilla mostró características fisicoquímicas y funcionales favorables. Su alta metoxilación le confiere buenas propiedades gelificantes, mientras que su capacidad de hinchamiento y retención de agua y aceite evidencian su potencial en aplicaciones alimentarias como agente texturizante y estabilizante.
- Los análisis farinográfico y extensográfico mostraron que el aumento de pectina en la masa de pan de molde redujo su estabilidad, pero aumentó la consistencia y absorción de agua. Además, los tratamientos con más pectina presentaron mayor resistencia a la extensión, sugiriendo un reforzamiento de la red de gluten. Estos resultados indican que la pectina de granadilla modifica las propiedades reológicas de la masa, afectando la textura del pan.
- La adición de pectina de granadilla en el pan de molde no afectó significativamente el volumen específico ni el color, pero sí influyó en la textura, aumentando la dureza y masticabilidad, sin comprometer la aceptabilidad del producto.
- La adición de pectina de granadilla en el pan de molde no generó cambios significativos en su composición centesimal, aunque se observó una ligera tendencia al aumento de carbohidratos, lo que podría representar un beneficio nutricional sin alterar el balance de macronutrientes.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda investigar aplicaciones del bagazo residual del mesocarpio acondicionado de granadilla tras la extracción de pectina, así como evaluar métodos más eficientes, como la destilación fraccionada, para recuperar el alcohol usado en la precipitación y optimizar costos.
- Se recomienda evaluar concentraciones de pectina de granadilla superiores al 2 % para analizar su impacto en la calidad del pan de molde y determinar si existe un umbral con efectos más pronunciados.
- Se recomienda analizar la estructura de la miga del pan con pectina de granadilla mediante técnicas de imagen o un alveoloxómetro para evaluar su impacto en la distribución, tamaño y uniformidad de los alveolos.
- Se recomienda analizar el contenido de fibra en futuras investigaciones para evaluar el impacto de la pectina de granadilla en el pan de molde y su potencial como ingrediente funcional.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Ajibade, B., y Ijabadeniyi, O. (2018). Effects of pectin and emulsifiers on the physical and nutritional qualities and consumer acceptability of wheat composite dough and bread. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 83-92. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3457-7>
- Apolo, M. C. (2019). *Estudio comparativo del rendimiento de la obtención de pectina a partir de los residuos de especies del género Passiflora mediante hidrólisis con diferentes ácidos*. Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17873>
- Arias, J. C. (19 de Mayo de 2015). *Estudios de polinización y caracterización agromorfológica en Passiflora ligularis Juss. (Granadilla) como base para su mejoramiento genético*. Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53896>
- Bonilla, M., Aguirre-Morales, C., y Agudelo, O. (2015). Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 91-109. <https://doi.org/10.22490/21456453.1266>
- Brabender® GmbH & Co. KG. (2011). *Farinograph®-AT*. Brabender®: https://www.atimesa.com.ar/files/Farinograph_AT.pdf
- Brabender® GmbH & Co. KG. (2018). *Extensógrafo®-E*. Brabender®: <https://www.brabender.com/typo3conf/ext/cokcb2web/Resources/Public/Files/d1ea7f6c523d2d081e2153d1901f7d59.pdf?d=1&p=WkRGbFRkbU5NMU1qa01tUU9ERmxqRTFNUXhPVHhaamROVGs9X1ltTndNMkFr.pdf>
- Carvajal-De Pabón, L. M., Turbay, S., Álvarez, L. M., Rodríguez, A., Alvarez, J. M., Bonilla, K., . . . Parra, M. (2014). Relación entre los usos populares de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y su composición fitoquímica. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 185-196. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/335>
- Cauvain, S. (2015). *Technology of Breadmaking* (Third Edition ed.). Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>
- Cauvain, S. (2021). *Breadmaking: Improving quality* (Third edition ed.). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2017-0-02039-6>

- Centro de Investigación de Economía y Negocios globales - Asociación de Exportadores, CIEN-ADEX. (17 de Febrero de 2022). *Frutas exóticas: Evolución del mercado nacional y mundial*. CIEN-ADEX: <https://www.cien.adexperu.org.pe/frutas-exoticas-evolucion-del-mercado-nacional-y-mundial/#:~:text=En%20el%202020%2C%20el%20mercado,UU>.
- Cerdas, M. d., y Castro, J. J. (2003). *Manual práctico para la producción, cosecha y manejo poscosecha del cultivo de granadilla*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8411.pdf>
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., y Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*(26), 175-199. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>
- Chero, Y. K. (25 de Julio de 2019). *Evaluación de la viscosidad de la pectina de granadilla (Passiflora Ligularis Juss) a diferentes concentraciones y temperaturas*. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4296>
- Chuqui, S. (2021). *Obtención de productos saludables de panificación utilizando harina de cáscara de maracuyá (passiflora edulis sims), variedad amarilla y ácido ascórbico*. Universidad Nacional del Santa: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3796>
- Coppens, G., Segura, S., Hodson, E., y Góngora, G. (2001). Passion Fruits. En A. Charrier, M. Jacquot, S. Hamon, y D. Nicolas, *Tropical plant breeding* (pp. 381-401). Editions Quae.
- Correa, M. (2012). *Efecto de celulosas modificadas y pectinas sobre la microestructura y atributos de calidad de la masa panaria*. Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/https://doi.org/10.35537/10915/24532>
- Díaz, C. E., y Flores, E. A. (2018). *Influencia de la adición de harina de cáscara de maracuyá (pasiflora edulis), variedad flavicarpa y ácido ascórbico sobre las características tecnológicas del pan de molde*. Universidad Nacional del Santa: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3169>
- Donchenko, L. V., Sokol, N. V., Sanzharovskaya, N. S., Khrapko, O. P., y Mikhaylova, T. A. (2020). Functional role of pectin in the bakery technology. *IOP Conf. Series: Earth and*

Environmental Science, 488(012010), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012010>

Esquerre-Ibáñez, B., Rojas-Idrogo, C., Llatas-Quiroz, S., y Delgado-Paredes, G. E. (2014). El género *Passiflora* L. (Passifloraceae) en el Departamento de Lambayeque, Perú. *Acta Botanica Malacitana*, 39, 55-70. <https://doi.org/10.24310/abm.v39i1.2576>

Ferguson, G. (2020). *Pectin*. Salem Press Encyclopedia of Science: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=ers&AN=87324267&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Ferreira, S. (2007). *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*. Universidad Nacional de Colombia. https://doi.org/http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivos_Libros/Libros_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2019). *NTP 209.710:2014 (revisada el 2019) ADITIVOS ALIMENTARIOS. Agentes gelificantes. Definición y clasificación*. INACAL: <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021). *NTP 206.004:2021 PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETTERÍA. Pan de molde. Requisitos. 2a Edición*. INACAL.

Jara, Á. E., y Mori, J. E. (2021). *Efecto de hidrocoloides obtenidos del maracuyá (Passiflora edulis), en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de molde*. Universidad Nacional del Santa: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3683>

Khatkar, B. (2011). *PGDBST – 05: BREAD INDUSTRY AND PROCESSES*. Directorate of Distance Education Guru Jambheshwar University of Science and Technology: <https://www.ddegjust.ac.in/studymaterial/pgdbst/pgdbst-05.pdf>

Léon, D., y Riveros, J. (2014). *Extracción y caracterización química de las pectinas de las cáscaras del maracuyá amarillo (Passiflora edulis Var Flavicarpa degener) granadilla (Passiflora ligularis Juss) y tumbo serrano (Passiflora mollissima H.B.K. Bailey)*. Universidad Nacional del Callao: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/388>

León, J. (1968). *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. IICA. <http://repositorio.ica.int/handle/11324/7769>

- León, J. C. (11 de Mayo de 2022). *Exportaciones peruanas de granadillas suman US\$ 24.174 en el primer bimestre de 2022*. Agencia Agraria de Noticias: <https://agraria.pe/noticias/exportaciones-peruanas-de-granadillas-suman-us-24-174-en-el--27896>
- León, J. C. (27 de Julio de 2022). *Producción nacional de granadilla alcanzó las 62.000 toneladas en 2021, mostrando una ligera caída de -1.6%*. Agencia Agraria de Noticias: <https://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-de-granadilla-alcanzo-las-62-000-tonelad-28786>
- León, J. C. (29 de Abril de 2024). *En Perú, 6.158 productores que se dedican al cultivo de granadilla*. Agencia Agraria de Noticias: <https://agraria.pe/noticias/en-peru-6-158-productores-que-se-dedican-al-cultivo-de-grana-35527>
- Li, J., Yin, L., y Li, J. (2018). Effect of Pectins on Dough Rheology and Chinese Steamed Bread Quality. *Grain & Oil Science and Technology*, 1(2), 77-84. <https://doi.org/https://doi.org/10.3724/SP.J.1447.GOST.2018.18034>
- Matos-Chamorro, A., y Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de investigación en ciencia tecnología de alimentos*, 1(1), 4-17. https://doi.org/https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_alimentos/article/view/813
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, MIDAGRI. (2022). *Dashboards Temáticos - MIDAGRI. Perfil Productivo y Regional*: https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Moreno, C. (2017). *Influencia de la adición de harina de cáscara de mango (Mangifera Indica L.), variedad Kent y ácido ascórbico sobre las características tecnológicas del pan de molde*. Universidad Nacional del Santa: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3037>
- Ofic. Regional de Comunicaciones, Imagen y Protocolo. (18 de Agosto de 2021). *Huánuco: GOBIERNO REGIONAL INAUGURA QUINTA PLANTA PROCESADORA DE GRANADILLA*. Noticias del Gobierno Regional de Huánuco: <https://www.gob.pe/institucion/regionhuanuco/noticias/512147-hu-nuco-gobierno-regional-inaugura-quinta-planta-procesadora-de-granadilla>
- Pérez Solf, V., Albengrin, E., Roncal, Z., Berrospi, L., Quispe, E., Córdova, J. C., y Rada, O. (Octubre de 2006). *Manual Planes de Negocio para Productos provenientes de*

- Sistemas Integrados de Producción. Granadilla, Palta, Lúcuma y Chirimoya*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP): www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL417.pdf
- Quintero, M. A. (2017). *Obtención y caracterización de hidrocoloides a partir de residuos de la industria frutícola*. Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59559>
- Rivera, B., Miranda, D., Avila, L. A., y Nieto, A. M. (2002). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Manizales: Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria - PRONATTA. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4069>
- Rondan, J. (2010). *Extracción y caracterización de pectina, a partir de la pulpa del níspero de palo (Mespilus germánica L)*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac: <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/459>
- Ropartz, D., y Ralet, M.-C. (2020). Pectin Structure. En V. Kontogiorgos, *Pectin: Technological and Physiological Properties* (pp. 17-36). Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9>
- Sierra y Selva Exportadora (SSE). (24 de Mayo de 2019). *Análisis de Mercado - Granadilla 2014 - 2018*. Informes y publicaciones de Sierra y Selva Exportadora: <https://www.gob.pe/institucion/sse/informes-publicaciones/1368907-analisis-de-mercado-granadilla-2014-2018>
- Villamizar de Borrero, F., Gutiérrez, C., y Pulido, A. (1992). La granadilla, su caracterización física y comportamiento postcosecha. *Ingeniería e Investigación*(28), 14-23. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33663>
- Wheat Marketing Center. (2008). *Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality, Version 2*. Kansas State University. webdoc.agsci.colostate.edu/wheat/linksfiles/WheatFlour.pdf
- Zhang, X., Li, J., Zhao, J., Mu, M., Jia, F., Wang, Q., . . . Wang, J. (2021). Aggregative and structural properties of wheat gluten induced by pectin. *Journal of Cereal Science*, 100(103247), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103247>

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico del proceso de acondicionamiento del mesocarpio de granadilla



Recepción de materia prima, limpieza y selección de la fruta.



Lavado y desinfección de la fruta.



Corte y Pulpeado de la fruta.



Descascarado para separar el mesocarpio de granadilla.



Trozado del mesocarpio de granadilla.



Lavado y escaldado del mesocarpio de granadilla.



Escurrido del mesocarpio escaldado de granadilla.



Secado del mesocarpio de granadilla.



Molienda y envasado del mesocarpio seco de granadilla.



Mesocarpio acondicionado de granadilla.

ANEXO 2: Panel fotográfico del proceso de extracción de pectina del mesocarpio acondicionado de granadilla



Pesado de mesocarpio acondicionado y preparación de agua acidulada.



Hidrólisis ácida para extraer la pectina del mesocarpio acondicionado de granadilla.



Filtración I y enfriamiento de la pectina extraída.



Precipitación de la pectina extraída.



Filtración II para obtener pectina líquida.



Purificación de la pectina líquida.



Secado de la pectina.



Molienda de la pectina.



Envasado y sellado de la pectina en polvo de granadilla.

ANEXO 3: Panel fotográfico del proceso de elaboración de pan de molde adicionado con pectina de granadilla



Pesado de insumos para la elaboración de pan de molde.



Insumos sólidos pesados de acuerdo con las formulaciones de los diferentes tratamientos.



Mezclado I, II y III de los insumos.



Amasado hasta punto liga.



Dividido y pesado, boleado de las masas.



Reposo y formado de las masas.



Masa formada y preparación del molde.



Masas en los moldes.



Fermentación de las masas panarias.



Horneado del pan de molde.



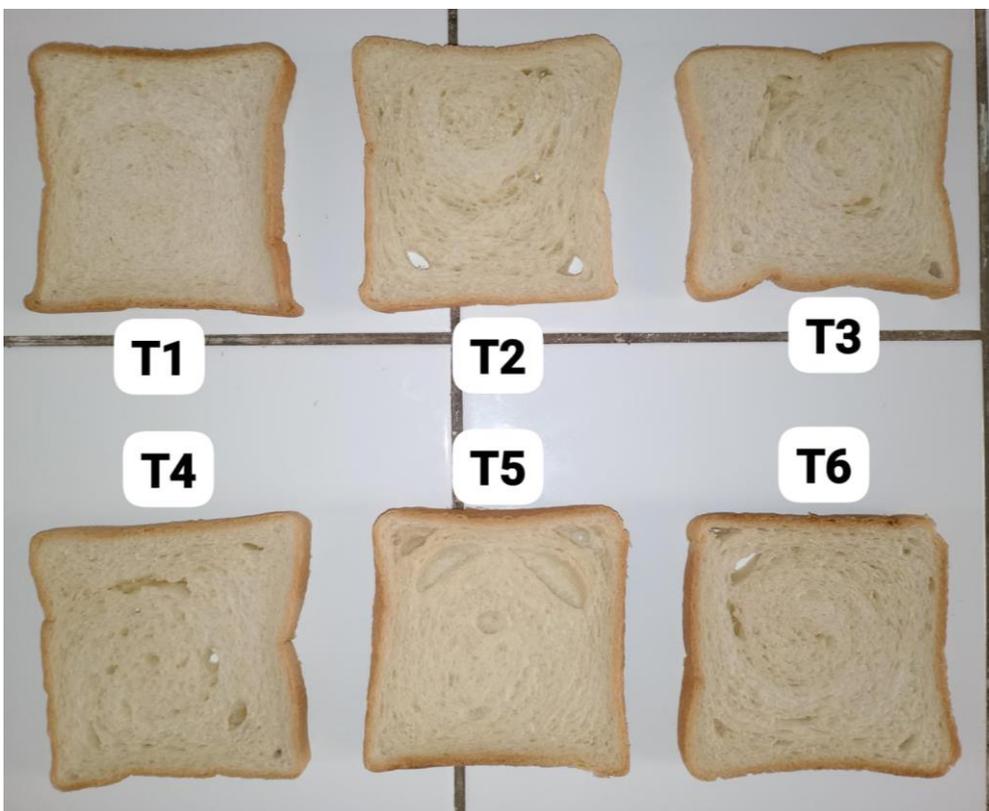
Enfriamiento, rebanado del pan de molde.



Embolsado del pan de molde.

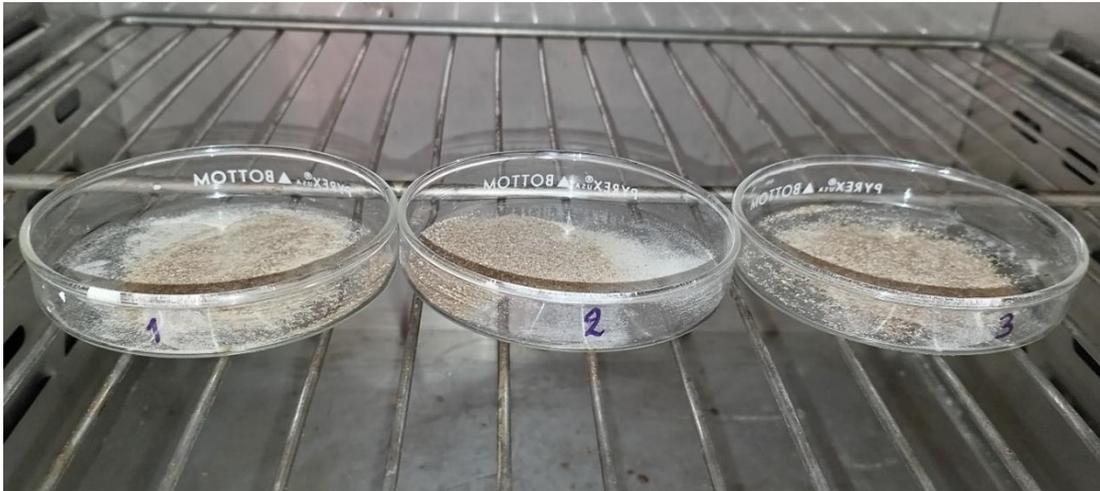


Rotulado de los diferentes tratamientos de pan de molde.



Pan de molde adicionado con diferentes porcentajes de pectina de granadilla.

ANEXO 4: Panel fotográfico de la determinación de la calidad de la pectina de granadilla



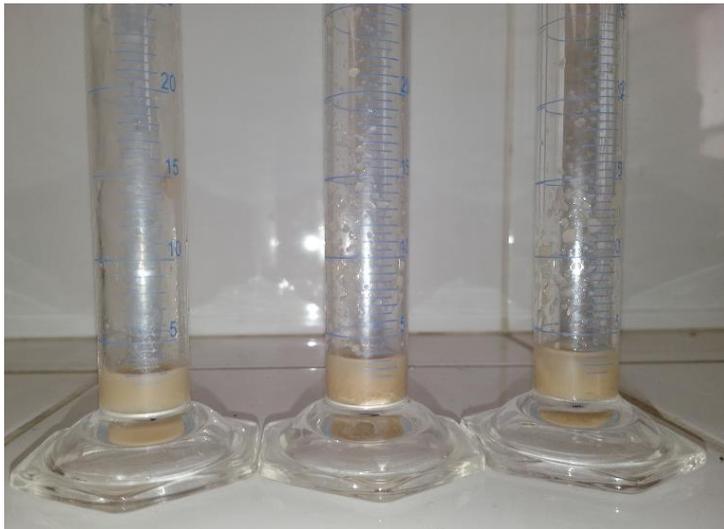
Determinación del porcentaje de humedad de la pectina.



Determinación del porcentaje de cenizas y de la alcalinidad de las cenizas de la pectina.



Determinación del peso equivalente y contenido de metoxilo de la pectina.



Determinación de la capacidad de hinchamiento de la pectina.



Determinación de la capacidad de retención de agua de la pectina.



Determinación de la capacidad de retención de aceite de la pectina.

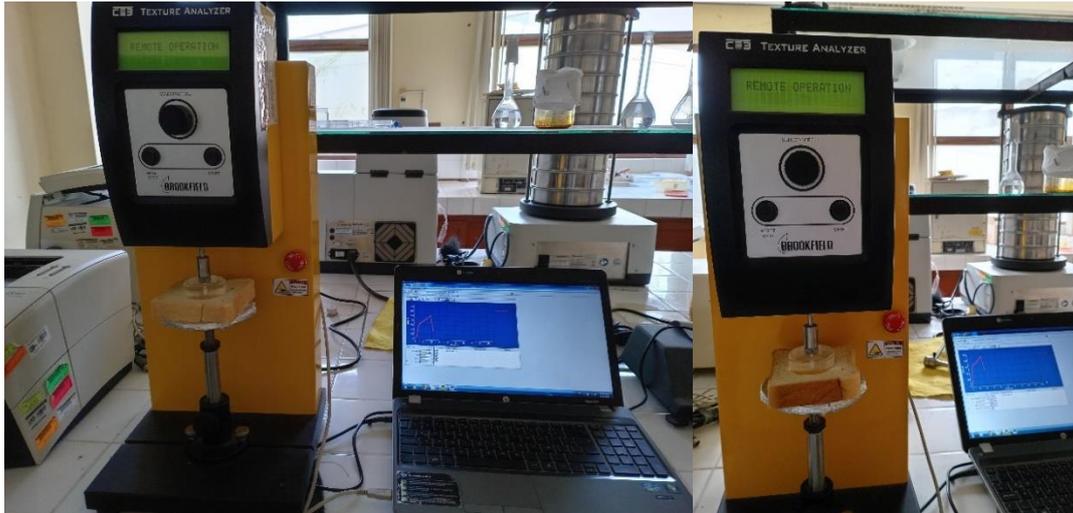


Análisis extensográfico de los distintos tratamientos.

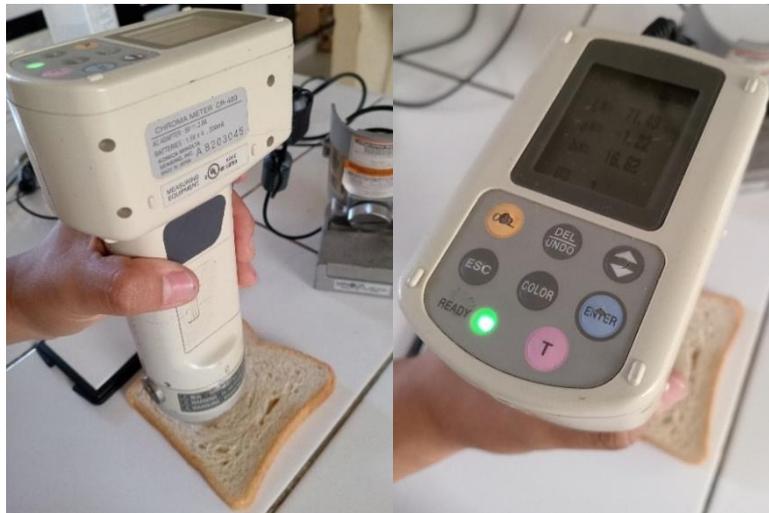
ANEXO 6: Panel fotográfico de la evaluación de la calidad del pan de molde



Determinación del volumen específico del pan de molde.



Análisis del perfil de textura del pan de molde.



Medición del color instrumental del pan de molde.



Análisis sensorial del pan de molde.

ANEXO 7: Panel fotográfico del análisis proximal del pan de molde



Determinación del porcentaje de humedad del pan de molde.



Determinación del porcentaje de cenizas del pan de molde.



Determinación del porcentaje de grasa del pan de molde.



Determinación del porcentaje de proteína del pan de molde.