

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“Sustitución parcial de harina de trigo por harinas de pajuro (*Erythrina edulis*) y  
lúcuma (*Pouteria lucuma*) en panes precocidos”**

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTORES**

Bach. Cruz Torres, Manuel Cristofe

Bach. Méndez Huerta, Noely Paloma

**ASESOR:**

Dr. Moreno Rojo, César

DNI: 32907242

Código ORCID: N° 0000-0002-7143-4450

**COASESOR:**

Dr. Ayala Cruz, Pedro David

DNI: 33263926

Código ORCID: N° 0009-0000-0601-7602

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2026**

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



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro del trabajo de investigación, la tesis y el trabajo de suficiencia profesional conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

**INFORME PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**“SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE  
PAJURO (*Erythrina Edulis*) y LÚCUMA (*Pouteria Lucuma*) EN PANES  
PRECOCIDOS”**

**AUTORES: BACH. CRUZ TORRES MANUEL CRISTOFE**

**BACH: MENDEZ HUERTA NOELY PALOMA**

**Dr. CESAR MORENO ROJO**

**DNI: 32907242**

**Código ORCID: 0000-0002-7143-4450**

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



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente trabajo de tesis titulado "SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PAJURO (*Erythrina Edulis*) y LÚCUMA (*Pouteria Lucuma*) EN PANES PRECOCIDOS" para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: CRUZ TORRES MANUEL CRISTOFÉ, con código de matrícula N° 0201912035 y MENDEZ HUERTA NOELY PALOMA, con código de matrícula N° 0201912003, que tienen como Asesor al docente Dr. César Moreno Rojo designado por resolución N° 354-2023-UNS-CFI. Ha sido revisado y aprobado el día 27 de mayo del 2026 por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 040-2026-UNS-CFI. Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador:

**Dr. WILLIAM ESTEWARD CASTILLO**  
**MARTINEZ**  
**PRESIDENTE**  
**DNI: 40169364**  
**Código ORCID: 0000-0001-6917-1009**

**Dra. ELZA BERTA AGUIRRE VARGAS**  
**SECRETARIO**  
**DNI: 19096335**  
**Código ORCID: 0000-0003-1659-9874**

**Dr. CESAR MORENO ROJO**  
**INTEGRANTE**  
**DNI: 32907242**  
**Código ORCID: 0000-0002-7143-4450**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 15:00 horas del día veintisiete de mayo del dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 040-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta (Presidente)
- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Secretario)
- Dr. César Moreno Rojo (Integrante)
- Dr Williams Esteward Castillo Martínez (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

“SUSTITUCION PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PAJURO (*Erythrina Edulis*) Y LÚCUMA (*Pouteria Lucuma*) EN PANES PRECOCIDOS”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- CRUZ TORRES MANUEL CRISTOFE
- MENDEZ HUERTA NOELY PALOMA

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. César Moreno Rojo**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, 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
MANUEL CRISTOFE CRUZ TORRES	18	Bueno

Siendo las 16:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 27 de mayo del 2026.



**Dr. Williams Esteward Castillo Martínez**  
Presidente



**Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**  
Secretario



**Dr. César Moreno Rojo**  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 15:00 horas del día veintisiete de mayo del dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 040-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta (Presidente)
- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Secretario)
- Dr. César Moreno Rojo (Integrante)
- Dr Williams Esteward Castillo Martínez (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

“SUSTITUCION PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PAJURO (*Erythrina Edulis*) Y LÚCUMA (*Pouteria Lucuma*) EN PANES PRECOCIDOS”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- CRUZ TORRES MANUEL CRISTOFE
- MENDEZ HUERTA NOELY PALOMA

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. César Moreno Rojo**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, 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
MENDEZ HUERTA NOELY PALOMA	18	Bueno

Siendo las 16:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 27 de mayo del 2026.

**Dr. Williams Esteward Castillo Martínez**  
Presidente

**Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**  
Secretario

**Dr. César Moreno Rojo**  
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: Manuel CRUZ TORRES  
Título del ejercicio: PROYECTO TORRES  
Título de la entrega: PROYECTO TORRES  
Nombre del archivo: PROYECTO\_FINAL-TESIS-MANUEL-PALOMA-OFFICIAL\_1\_.pdf  
Tamaño del archivo: 2.38M  
Total páginas: 122  
Total de palabras: 25,022  
Total de caracteres: 147,541  
Fecha de entrega: 13-ene-2026 05:23a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2856104368

**"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**"SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PALURO (Dyplolus Elixo) y LÍCUMA (Peanutia Laccosa) EN PANES PRECOCIDOS"**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR

Dra. Cruz Torres Manuel Claudio

Dra. Mónica Guerra Pareda Paloma

ASESOR:

Miguel Riqui César

COASESOR:

Arjón Cruz Pedro David

NEWIO CHIMOTE - PERÚ

2024

## PROYECTO TORRES

### INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
5	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="https://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
10	<a href="https://repositorio.usil.edu.pe">repositorio.usil.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

## **DEDICATORIA**

*La presente Tesis le dedico a Dios en primer lugar, ya que me brindó la sabiduría para poder concluir mi carrera.*

*A mis padres Vilma Torres, Manuel Cruz y mis abuelos Lina Rojas y Jorge Chávez por la confianza depositada en mí, así como por sus sanos consejos para mantener mi educación en todo momento y criarme como un hijo de bien.*

*A mi segundo padre Gregorio Pantoja porque nunca dejo de apoyarme y confiar, ser su orgullo es mi orgullo.*

**Manuel Cruz Torres**

*En primer lugar a Dios por darme la vida y mi familia, por guiarme en este largo camino al que llamamos vida, y darme la fuerza y las oportunidades para seguir creciendo.*

*A mis padres, Alicia y Robin, por apoyarme e inspirarme a seguir adelante.*

*A mis abuelos, por cuidarme y creer en mí.*

*A mi hermana, por darme cada día la motivación de ser mejor persona.*

*A el resto de mi familia, por la consideración y cariño, por acompañar desde el día uno de mi vida y darme gratos momentos.*

*Finalmente, agradecer a todos mis compañeros con los que compartí estos 5 años de carrera, quienes me brindaron su amistad y experiencias de gran valor, y a mis profesores por cimentar las bases de mis conocimientos profesionales y enseñarme a amar mi carrera.*

**Paloma Méndez Huerta**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios que nos permitió estar unidos como compañeros de trabajo, brindarnos salud y sabiduría para seguir desde el inicio hasta el final de la presentación.

Dar Agradecimiento a nuestro Asesor el Dr. Ing César Moreno Rojo por su compañía y asesoramiento durante todo el proceso de la Tesis. Agradecer a nuestros docentes universitarios por las enseñanzas y formación para ser ingenieros de bien y de calidad.

A nuestra Dr. Ing Elza Aguirre por sus asesoramientos como ayuda en el proceso de la tesis el cual nos dedicó su tiempo y confianza para poder dar la culminación final.

A nuestro querido Ing. Pedro Ayala Cruz por su compromiso y ayuda al momento de realizar la parte experimentales del proyecto y por su asesoramiento.

A nuestros Familiares por su confianza, ayuda emocional y ayuda económica que fueron participes de la realización del proyecto de la Tesis.

Dedicado este trabajo a todas las personas que confiaron en nosotros y nos acompañaron en nuestra etapa universitaria.

“Todos dicen: ‘Sueña en grande’. Pero no creo que tengas que vivir tan presionado todo el tiempo. Solo confía en ti mismo, y vive una vida saludable y feliz [...]”

Kim Namjoon

# INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION .....	17
1.1.	REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	18
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS: .....	21
1.4.1.	<i>Hipótesis Nula:</i> .....	21
1.4.2.	<i>Hipótesis Alternativa:</i> .....	21
1.5.	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.5.1.	<i>Objetivo general</i> .....	21
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	21
II.	MARCO REFERENCIAL: .....	22
2.1.	ANTECEDENTES: .....	22
2.2.	MARCO TEÓRICO .....	26
2.2.1.	<i>Pajuro:</i> .....	26
2.2.1.1.	Taxonomía y Morfología: .....	26
2.2.1.2.	Manejo de Cultivo: .....	26
2.2.1.3.	Composición: .....	27
2.2.2.	<i>Lúcuma:</i> .....	29
2.2.2.1.	Lúcuma de Seda:.....	31
2.2.2.1.1.	Taxonomía y Morfología:.....	31
2.2.2.1.2.	Cultivo:.....	31
2.2.2.1.3.	Composición: .....	31
2.2.3.	<i>Proteínas:</i> .....	32
2.2.4.	<i>Aminoácidos:</i> .....	33
2.2.5.	<i>Antioxidantes:</i> .....	34
2.2.6.	<i>Estrés Oxidativo:</i> .....	34
2.2.7.	<i>Polifenoles Totales:</i> .....	35
2.2.8.	<i>Pan Precocido:</i> .....	35
2.2.9.	<i>Insumos de Panificación:</i> .....	36
2.2.9.1.	Agua.....	36
2.2.9.2.	Levadura .....	36
2.2.9.3.	Sal .....	37
2.2.9.4.	Ácido Ascórbico .....	37
2.2.9.5.	Harina .....	37
2.2.9.6.	Propionato de Calcio.....	38
III.	MATERIALES Y MÉTODOS:.....	39
3.1.	MATERIALES.....	39
3.1.1.	<i>Materia Prima</i> .....	39
3.1.2.	<i>Insumos</i> .....	39
3.2.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS .....	40
3.2.1.	<i>Equipos</i> .....	40
3.2.2.	<i>Reactivos</i> .....	41
3.2.3.	<i>Instrumentos de laboratorio</i> .....	41
3.3.	MÉTODOS .....	41
3.3.1.	<i>Método Experimental</i> .....	41
3.3.2.	<i>Elaboración</i> .....	42
3.3.2.1.	Primera Etapa.....	42
3.3.2.2.	Segunda Etapa.....	46
3.4.	METODOLOGÍA .....	48
3.4.1.	<i>Mezcla D-Optimal</i> .....	48
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49

3.6.	MÉTODO DE ANÁLISIS .....	51
3.6.1.	<i>Análisis Sensorial</i> .....	51
3.7.	CARACTERIZACIÓN .....	52
3.7.1.	<i>Determinación de proteína total</i> .....	52
3.7.2.	<i>Determinación de Fibra dietario Total</i> .....	52
3.7.3.	<i>Determinación de ceniza</i> .....	52
3.7.4.	<i>Humedad</i> .....	52
3.7.5.	<i>Determinación de Compuestos fenólicos</i> .....	52
3.7.6.	<i>Determinación de capacidad antioxidante (Método DPPH)</i> .....	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	54
4.1.	ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS. ....	54
4.2.	EVALUAR EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y SENSORIAL DE LOS TRATAMIENTOS OBTENIDOS MEDIANTE EL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	56
4.2.1.	<i>Análisis de Fibra dietario</i> .....	56
4.2.2.	<i>Análisis de Proteína</i> .....	61
4.2.3.	<i>Análisis de Polifenoles</i> .....	65
4.2.4.	<i>Análisis de Antioxidantes</i> .....	70
4.2.5.	<i>Análisis sensorial</i> .....	73
4.2.5.1.	Sabor.....	75
4.2.5.2.	Color .....	78
4.2.5.3.	Olor.....	81
4.2.5.4.	Textura.....	84
4.3.	DETERMINAR LA FORMULACIÓN ÓPTIMA A PARTIR DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS .....	87
V.	CONCLUSIONES .....	88
VI.	RECOMENDACIONES .....	89
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
VIII.	ANEXOS .....	103

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS SEMILLAS EN ESTADO CRUDO Y COCIDAS DEL PAJURO EN 100% BASE SECA .....	27
<b>TABLA 2.</b> PERFIL AMINOACÍDICO DE LEGUMINOSAS (G DE AA/16GN) .....	28
<b>TABLA 3.</b> CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA Y LIPOFÍLICA ( $\mu$ MOL TROLOX EQUIVALENTE (TE)/G,MS) EN LA LÚCUMA .....	30
<b>TABLA 4.</b> VALOR NUTRICIONAL DE LA PULPA Y HARINA DE LA LÚCUMA DE SEDA POR CADA 100 GRAMOS .....	32
<b>TABLA 5.</b> VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	49
<b>TABLA 6.</b> CATEGORÍA DE LOS FACTORES DE ESTUDIO .....	49
<b>TABLA 7.</b> MATRIZ DE ESTUDIO DECODIFICADAS POR MÉTODO MEZCLA D-OPTIMAL DESIGN50	
<b>TABLA 8.</b> COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LA HARINA DE LÚCUMA .....	54
<b>TABLA 9.</b> COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LA HARINA DE PAJURO .....	54
<b>TABLA 10.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA FIBRA DE CADA TRATAMIENTO .....	56
<b>TABLA 11.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA FIBRA .....	57
<b>TABLA 12.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA FIBRA .....	58
<b>TABLA 13.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA PROTEÍNA DE CADA TRATAMIENTO .....	61
<b>TABLA 14.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA PROTEÍNA .....	62
<b>TABLA 15.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROTEÍNA .....	63
<b>TABLA 16.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES DE CADA TRATAMIENTO .....	65
<b>TABLA 17.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA POLIFENOLES .....	66
<b>TABLA 18.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS POLIFENOLES .....	67
<b>TABLA 19.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES DE CADA TRATAMIENTO .....	70
<b>TABLA 20.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA ANTIOXIDANTE .....	71
<b>TABLA 21.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS ANTIOXIDANTE. ....	72
<b>TABLA 22.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE CADA TRATAMIENTO .....	74
<b>TABLA 23.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL SABOR .....	75
<b>TABLA 24.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL SABOR .....	76
<b>TABLA 25.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL COLOR .....	78
<b>TABLA 26.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL COLOR .....	79
<b>TABLA 27.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL OLOR .....	81
<b>TABLA 28.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL OLOR .....	82
<b>TABLA 29.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL TEXTURA ..	84
<b>TABLA 30.</b> ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL OLOR .....	85
<b>TABLA 31.</b> SOLUCIONES OBTENIDAS TRAS LA OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES.	87

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> FRUTO DEL PASHURO CON SUS SEMILLAS A LA VISTA .....	26
<b>FIGURA 2.</b> LÚCUMA VARIEDAD SEDA PARTIDA A LA MITAD.....	31
<b>FIGURA 3.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE PAJURO.....	43
<b>FIGURA 4.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCIÓN DE HARINA DE LÚCUMA; <b>ERROR!</b> <b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
<b>FIGURA 5.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE PAN PRECOCIDO.....	47
<b>FIGURA 6.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE FIBRA.....	60
<b>FIGURA 7.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE PROTEÍNA.....	64
<b>FIGURA 8.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE POLIFENOLES.....	69
<b>FIGURA 9.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE ANTIOXIDANTES.....	73
<b>FIGURA 10.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE SABOR.....	77
<b>FIGURA 11.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE COLOR.....	80
<b>FIGURA 12.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE COLOR.....	83
<b>FIGURA 13.</b> GRÁFICO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE TEXTURA.....	86

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. PROCESO DE LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE PASHURO .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 2. PROCESO DE LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE LÚCUMA .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 3. PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PAN PRECOCIDO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO CON HARINA DE PASHURO Y LÚCUMA .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 4. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO 6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASAS .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO 7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNAS.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 9. EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y POLIFENOLES .....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 10. PRECOCCIÓN DEL PAN .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 11. ANÁLISIS SENSORIAL DEL PAN PRECOCIDO .....</b>	<b>114</b>

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo formular y optimizar panes precocidos mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de pajuro (*Erythrina edulis*) y lúcuma (*Pouteria lucuma*), con el propósito de mejorar el perfil nutricional, funcional y sensorial del producto. Se aplicó un diseño experimental tipo mezcla D-optimal, evaluando diez formulaciones con proporciones variables de los ingredientes. Las variables respuesta incluyeron contenido de fibra, proteína, polifenoles, capacidad antioxidante y atributos sensoriales (sabor, color, olor y textura).

Los análisis estadísticos se realizaron mediante modelos de regresión y ANOVA, identificándose modelos significativos para cada variable ( $p < 0.05$ ), con coeficientes de determinación elevados: fibra (modelo cuártico,  $R^2 = 0.9813$ ), proteína (modelo cuadrático,  $R^2 = 0.7938$ ), polifenoles (modelo cuadrático,  $R^2 = 0.7126$ ), antioxidantes (modelo cuártico,  $R^2 = 0.7819$ ), sabor (modelo cúbico,  $R^2 = 0.7841$ ), color (modelo cúbico,  $R^2 = 0.9112$ ), olor (modelo cúbico,  $R^2 = 0.7932$ ) y textura (modelo cúbico,  $R^2 = 0.7021$ ).

La optimización de respuestas múltiples permitió identificar la formulación más deseable, compuesta por 9.6% de pajuro y 5.4% de lúcuma, alcanzando una deseabilidad global de 0.673. Esta formulación logró los siguientes valores óptimos: fibra dietario 11.51%, proteína 17.17%, polifenoles 15.55 mg GAE/100 g, capacidad antioxidante 245.10  $\mu\text{mol Trolox/g}$ , sabor 4.77, color 4.93, olor 4.99 y textura 5.02. Estos resultados evidencian un equilibrio robusto entre calidad nutricional y aceptación sensorial.

El uso de ingredientes andinos subvalorados como el pajuro y la lúcuma contribuye a la diversificación alimentaria, el pajuro aporta proteínas, fibra y antioxidantes, mientras que la lúcuma contribuye con compuestos bioactivos y dulzura natural, favoreciendo la aceptabilidad del producto. La revalorización de cultivos nativos y el desarrollo de productos con valor agregado, posicionando esta propuesta como una alternativa funcional e innovadora para la industria panadera.

**Palabras clave:** pan precocido, pajuro, lúcuma, diseño de mezclas, propiedades funcionales, atributos sensoriales, optimización estadística.

## ABSTRACT

This research aimed to formulate and optimize pre-cooked bread by partially substituting wheat flour with flours from pajuro (*Erythrina edulis*) and lúcuma (*Pouteria lucuma*), in order to improve its nutritional, functional, and sensory profile. A D-optimal mixture design was applied, evaluating ten formulations with varying ingredient proportions. The response variables included fiber content, protein, polyphenols, antioxidant capacity, and sensory attributes (flavor, color, aroma, and texture).

Statistical analyses were performed using regression models and ANOVA, identifying significant models for each variable ( $p < 0.05$ ), with high coefficients of determination: fiber (quartic model,  $R^2 = 0.9813$ ), protein (quadratic model,  $R^2 = 0.7938$ ), polyphenols (quadratic model,  $R^2 = 0.7126$ ), antioxidants (quartic model,  $R^2 = 0.7819$ ), flavor (cubic model,  $R^2 = 0.7841$ ), color (cubic model,  $R^2 = 0.9112$ ), aroma (cubic model,  $R^2 = 0.7932$ ), and texture (cubic model,  $R^2 = 0.7021$ ).

Multiple response optimization identified the most desirable formulation, composed of 9.6% pajuro and 5.4% lúcuma, achieving a global desirability index of 0.673. This formulation reached the following optimal values: fiber 11.51%, protein 17.17%, polyphenols 15.55 mg GAE/100 g, antioxidant capacity 245.10  $\mu\text{mol Trolox/g}$ , flavor 4.77, color 4.93, aroma 4.99, and texture 5.02. These results demonstrate a robust balance between nutritional quality and sensory acceptance.

The use of undervalued Andean ingredients such as pajuro and lucuma contributes to food diversification; pajuro provides protein, fiber, and antioxidants, while lucuma contributes bioactive compounds and natural sweetness, enhancing product acceptability. The revaluation of native crops and the development of value-added products position this proposal as a functional and innovative alternative for the baking industry.

**Keywords:** pre-cooked bread, pajuro, lúcuma, mixture design, functional properties, sensory attributes, statistical optimization.

## I. INTRODUCCION

En este mundo globalizado, el ser humano requiere facilitar ciertas necesidades naturales que antes le tomaban mucho más tiempo efectuarlas; alimentación es una de ellas, la cual se simplifica con la ayuda de los congelados y precocidos (Berneth, 2020).

Dentro de la amplia gama de productos alimenticios en la que se encuentra inmersa la sociedad, el pan es considerado uno de los más importantes, ya que, en toda mesa a diario se consume, aunque sea una porción (Zamora, 2018).

El pan posee una vida útil limitada, que abarca desde su salida del horno hasta el momento de consumo. Su principal inconveniente es el proceso de envejecimiento, evidenciado por el endurecimiento, el cual se origina debido a la retrogradación del almidón (Quezada, 2018). Esto ha hecho que las personas aprecien un pan recién horneado y tachando de “pan frio” a aquellos que pierden sus características. Sin embargo, actualmente, las panaderías no se muestran interesadas en ofrecer sus productos todo el día, esto debido al sistema de horarios preestablecido y a que intentan evitar el exceso de trabajo (Martinez, 2018).

El pan precocido corresponde a un producto que ha sido horneado de manera parcial y posteriormente sometido a procesos de refrigeración o congelación. Este método permite que pueda consumirse en cualquier momento del día, garantizando la uniformidad en su calidad (Chávez et al., 2016). Por lo que se está convirtiendo en una gran opción para supermercados que quieran ofrecer productos frescos a sus clientes y para consumidores que desean tener un pan apetecible a cualquier hora del día.

La fortificación o enriquecimiento de estos productos es una gran oportunidad para nutrir a la población, debido a su consumo constante. El pashuro es una opción protéica novedosa ante la deficiencia de este nutriente en la población. Por otro lado, la lúcuma es conocida por dar un color y sabor de aceptabilidad general, además que brinda antioxidantes.

## 1.1. Realidad Problemática

Perú al sumar una gran diversidad cultural muy notable, hace que cuente con una opulenta índole con relación a la alimentación y nutrición en los menores de edad de cada región.

Las últimas investigaciones indican que en la capital Lima existe un gran incumplimiento en la ingesta de los micronutrientes por parte de los niños, esta preocupación se vive con mayor frecuencia en Iquitos. Dicha información se complementa con los últimos estudios relacionados a la mala práctica de alimentación en bebés de 6 a 12 meses que ya presentan desnutrición a su corta edad prematura. (Risco et al., 2022).

En el año 2022, la desnutrición crónica afectó al 11,7 % de los niños menores de cinco años (INEI, 2023). Representantes del MINSA (2023) detallaron también, que a Nivel nacional el índice de anemia es de 40.9% en los menores de edad en específico los niños de 6 a 35 meses, así mismo, indicaron que tienen como meta reducirlo hasta un 39%, además mencionaron que según sus registros la desnutrición crónica en el año 2021 estuvo en un 11.5 % por lo cual pretendían disminuirla hasta un 11%. Los datos de desnutrición mencionados por el MINSA en relación con los datos de la INEI, refleja que del 2021 al 2023 no hubo ninguna disminución en el porcentaje de desnutrición, lo cual indica que aún sigue existiendo un gran problema a tratar.

Existen diversas legumbres pocas conocidas por la población en especial por los habitantes de la ciudad, tal es el caso del Pajuro, su producción es a pequeña escala al igual que su uso en cual se ve con mayor frecuencia en las zonas andinas donde se suele cultivar este alimento milenario.

Los sustentos andinos que perduran en la actualidad se deben a la importancia y mantenimiento que les dieron los campesinos anteriormente para evitar su extinción (Alarcón y Tarazona, 2016). Por motivo de la poca información de sus beneficios mediante su consumo y cultivación del Pajuro por medio de los pobladores de las ciudades y las diferentes Regiones, hoy en la actualidad sigue siendo un producto al borde de su extinción

El pajuro (*Erythrina edulis*) no solo contiene un alto nivel proteico (35%) sino que también contiene buenos componentes vitales, así como la fibra dietética, vitaminas,

minerales y otros más. Es por ello que es considerado un alimento eficaz para tratar distintos problemas de salud y también funciona como complemento de aminoácidos de otras fuentes vegetales, entre ellas se encuentra la lisina, leucina, ácido glutámico, arginina y ácido aspártico (Espinoza, 2018). El nivel de antioxidante de la harina del pajuro puede alcanzar hasta los 45.16  $\mu\text{mol TE/gr}$  (Ventura, 2022), esto se complementa con el nivel de antioxidantes presentes en la harina de lúcuma que alcanza hasta los 16.1  $\mu\text{mol TE/gr}$  y su capacidad aromática (Núñez, 2019).

Tingal (2019) menciona el uso enorme que se le puede dar en la panificación al pajuro al convertirlo en harina, aprovechándolo en distintos productos como panes, postre y galletas. Por otro lado, existen profesionales dedicados a la industria alimentaria que tienen poco o nada de conocimiento de esta legumbre, lo cual conlleva a que no tenga una recomendación en la aplicación de las industrias, poniendo como excusa a que no existen muchas investigaciones con respecto a sus beneficios y aportes nutricionales, lo cual conlleva a un rechazo y devaluación de su importancia en el bienestar de la sociedad (Paucar y Tarazona, 2016).

La descripción anterior justifica que tenemos una situación objeto de indagación concurrente con el poco aprovechamiento de los aportes beneficiosos de las materias primas que se encuentran en el campo para sumarle un valor agregado, como el caso del pashuro (*Erythrina edulis*) y la lúcuma (*Pouteria lúcuma*) las cuales proporcionan un gran nivel de antioxidantes así como un nivel alto de vitaminas las cuales pueden ser aprovechadas para la obtención de nuevos productos en diferentes líneas, como por ejemplo en sustitutos parciales en la panificación de congelados, que al llevarlo a cabo ocasiona un gran beneficio nutricional al igual que el ahorro de tiempo y facilidad para su consumo en la dieta diaria del consumidor final. Caso contrario, de no llevar a cabo el proyecto, los niveles de desnutrición y de anemia en Perú permanecerán o, en el peor de los casos, puede seguir aumentando, así como, la extinción de productos por desconocimiento.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

¿Cuál será la formulación óptima para la elaboración de pan precocido con sustitución parcial de harina de pajuro (*Erythrina edulis*) y lúcuma (*Pouteria lúcuma*) con la cuál se logre incrementar su contenido protéico y funcional, y que además tenga aceptación sensorial?

### **1.3. Justificación de la Investigación**

A nivel nacional, las investigaciones sobre el aprovechamiento del Pashuro (*Erythrina edulis*) y la lúcuma (*Pouteria lúcuma*) mediante la adición de un valor agregado no es significativa; sin embargo, los habitantes de Moro, distrito de la Provincia de Santa, han promovido ampliamente su utilización con la participación de SEDIR [Servicio para el Desarrollo Integral Rural] quien mostró como problemática la falta de conocimiento y el poco beneficio del pashuro para con la sociedad.

El presente estudio, desde un enfoque teórico, busca contribuir al rescate y valorización del pajuro, promoviendo la difusión de sus propiedades nutricionales tanto entre profesionales del área alimentaria como en la población en general. De igual manera, se plantea como referencia para investigaciones posteriores y como aporte al desarrollo del conocimiento científico, dado que la formación profesional requiere comprender, con rigor académico, la disponibilidad de alimentos en el país y los avances orientados a optimizar la calidad de vida.

Por su valor metodológico, el presente estudio constituye un antecedente significativo para investigaciones posteriores. El flujograma elaborado para la producción de harina precocida de pajuro se presenta como modelo aplicable en la elaboración de harinas en diferentes escalas, industrial y artesanal. Asimismo, la ficha de recolección de datos utilizada en esta investigación podrá ser replicada en estudios similares, fortaleciendo la rigurosidad del proceso investigativo.

Considerando su importancia económica, se busca preservar el pajuro mediante la difusión de sus propiedades nutricionales y la creación de alternativas culinarias innovadoras que incentiven su consumo. Esta estrategia permitirá garantizar su aprovechamiento por las generaciones futuras, fortalecer su posicionamiento en el mercado, incrementar la producción y contribuir al bienestar socioeconómico de las comunidades productoras.

Por su aplicabilidad práctica, la investigación busca promover la utilización del pajuro en la preparación de alimentos, integrando su harina precocida como alternativa para sustituir, en parte o completamente, otras harinas, destacando sus beneficios tanto en el ámbito nutricional como en el económico.

Al integrar una especie que poco a poco va desapareciendo y que debido a las bondades que presentan como es el caso del pashuro, es sostenible llevar la presente tesis.

## **1.4. Formulación de Hipótesis:**

### **1.4.1. Hipótesis Nula:**

- La sustitución del 12 % de harina de pashuro y 3 % de harina de lúcuma no produce diferencias significativas en el valor nutricional ni en la aceptabilidad sensorial del producto en comparación con la formulación control.

### **1.4.2. Hipótesis Alternativa:**

- La sustitución del 12 % de harina de pashuro y 3 % de harina de lúcuma produce diferencias significativas en el valor nutricional y en la aceptabilidad sensorial del producto en comparación con la formulación control.

## **1.5. Objetivo de la Investigación**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Elaborar panes precocidos mediante sustitución parcial de harina de trigo por harinas de pajuro y lúcuma.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Efectuar el análisis proximal y funcional de las harinas del pajuro y lúcuma.
- Evaluar el análisis fisicoquímico (proteínas, fibra, polifenoles y antioxidantes) y sensorial de los tratamientos obtenidos mediante el diseño experimental.
- Determinar la formulación óptima a partir de los tratamientos evaluados

## II. MARCO REFERENCIAL:

### 2.1. Antecedentes:

Céspedes (2021), en la tesis “*Evaluación de las características nutricionales, físicas y sensoriales del pan molde con sustitución parcial de harina de basul (*Erythrina Edulis*) germinado*”, planteó valorar 5 niveles de sustitución (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) de harina de basul (pajuro) germinado. Al evaluar las características fisicoquímicas y la digestibilidad aparente, encontró que la sustitución al 20% fue la que mayor significancia presentó con 1.38% y 13.72% en la fibra cruda y proteínas, respectivamente, con una digestibilidad del 85.83%, las demás características fueron significativamente iguales. También se observó que al incrementar la sustitución el valor del volumen específico disminuye, siendo el mayor valor 5.62 cm<sup>3</sup>/g pertenecientes a la muestra control y al tratamiento 5%, además, la miga se oscurecía y aumentaba la porosidad relacionada al número de alvéolos. Por último, las muestras con 0% y 5% fueron las mejor aceptadas, sin embargo, estas presentaron los menores valores nutricionales con 13.27 y 13.41 en proteínas y 0.88 y 0.89% en fibra cruda.

Espinoza et al. (2021) en el artículo “*Análisis químico proximal de granos y harina de Pajuro (*Erythrina edulis*) para elaborar bebidas proteicas*”, se propusieron evaluar las propiedades químico-proximales de las semillas y la harina de pashuro, y producir una bebida chocolatada alta en proteínas en base a esta última. Los granos de pashuro mostraron un rendimiento de 13.02% con respecto a la harina. Los granos en base seca presentaron 50.85% de carbohidratos, 35.27% de proteínas, 11.59% de cenizas, 1.64% de grasa y 1.42% en fibra. La harina de pajuro presentó una composición de 69,89 % de carbohidratos; 17,13 % de proteínas; 6,25 % de fibra, 5,84 % de cenizas y 0,89 % de grasas. El análisis de macronutrientes reveló mejores valores en los granos que en la harina, específicamente con: calcio (1.19g/kg), fósforo (8.85g/kg), magnesio (3.58g/kg), potasio (57.26g/kg) y sodio (0.08g/kg), al igual que elementos minoritarios como el cobre (21.90mg/kg), hierro (37.50mg/kg), manganeso (15.84mg/kg) y zinc (140.28mg/kg).

Silva (2020) en la tesis “*Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente para la elaboración de un producto de panadería libre de gluten*” plantea al chachafruto (pajuro) como ingrediente que contribuirá a la industria panadera como producto libre de gluten, además, contribuirá al incremento de compuestos bioactivos y nutrientes. Se

demonstró que la harina de chachafruto, amaranto y arroz pueden ser aprovechadas en la preparación de galletas exento de gluten. La adición de estas harinas modificó significativamente ciertos parámetros en algunas combinaciones: 85% harina de amaranto y el 85% harina de chachafruto, obtuvieron  $8.00 \pm 2.52\%$  de proteínas y  $1.80 \pm 0.02\%$  de cenizas, y para la integración de 85% harina de arroz y 15% harina de chachafruto se obtuvo  $7.38 \pm 2.16\%$  de proteínas y 1.39% de cenizas.

Delgado et al. (2020) en el artículo científico *·Características físico-químicas de las semillas de pajuro (Erythrina edulis Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión*”, estudiaron el efecto de la humedad (13 y 18%) y la temperatura (110, 120 y 130 °C) extrusión sobre las propiedades funcionales de las simientes de pajuro. Las semillas indicaron 89,2% de cotiledones y 10.8% de cáscara. Se registró una actividad de agua de 0,983 bajo una humedad del 66%. Las mejores propiedades funcionales fueron dadas bajo una extrusión a 130°C y 13% de humedad, la cuál brindó un índice de solubilidad en agua de 38,85%, un índice de absorción de agua de 7,57% y un índice de expansión de 2,58 cm. Por otro lado, la proteína cruda registro porcentajes superiores a 16,5%, mientras que el nivel porcentual de fibra fue inferior a 5,9%. La composición de ceniza, grasa y energía fue inferior a 4,58% 1,02% y 394,7 kcal, respectivamente.

Cisneros (2019) en la tesis de maestría *“Efecto de la temperatura de secado y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad organoléptica de la harina de lúcuma (Pouteria Lucuma) tipo seda”* se planteó hallar las condiciones de almacenamiento y la temperatura de secado por aire caliente ideal para mantener las propiedades organolépticas de la harina de lúcuma por 90 días. Se trabajó con temperaturas de secado de 50°C, 60°C y 70°C en un lapso de 15 horas y con envasados a atmósfera normal y a vacío. Se determinó el rendimiento y la actividad de agua y se valoró el color de la harina. Se concluyó que el secado a 60°C por 15 hr con un empaque al vacío resultó ser un amarillo más intenso ( $b^* = 42.24$ ), esto comparado con las otras temperaturas. Luego, las harinas almacenadas presentaron menos diferencia de color amarillo en relación a las conservadas en atmósfera normal. Las muestras que fueron secadas a 50°C, 60°C y 70°C presentaron humedades de 6.77%, 5.11% y 3.38%, actividades de agua de 0.3607, 0.2995 y 0.2108 respectivamente y rendimientos de 26.35%, 32.10% y 30.89%, respectivamente.

Sanchez (2019) en la tesis titulada “*Tiempo de vida útil del pan elaborado con harina de trigo (Triticum Aestivum), harina de quinua (Chenopodium Quinoa W.) y harina de kiwicha (Amaranthus Caudatus)*” Se planteó como objetivo determinar la vida útil de panes elaborados mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de kiwicha y quinua. Se realizó un análisis proximal tanto de las harinas como de los panes obtenidos a partir de las mezclas. La formulación óptima correspondió a una sustitución del 12% de harina de kiwicha y 18% de harina de quinua, alcanzando el mayor contenido proteico (14,5%). 16,8% de harina de kiwicha y un 16,8% de harina de quinua. Con esta mezcla se elaboró el pan destinado a la determinación de su vida útil. La evaluación se llevó a cabo almacenando el producto en bolsas de papel a temperatura ambiente. Durante el estudio se realizaron diversos análisis, destacando el aumento del índice de peróxido y la estabilidad en los valores de pérdida de peso y contenido de humedad.

Acaro y Toapanta (2023), autores de “*Estudio de secado al vacío para la obtención de la harina de lúcuma (Pouteria Lúcuma L)*” se plantearon obtener lúcuma en harina a través de un secado al vacío y estudiar su cinética. Se desarrollaron y analizaron las curvas de secado a diferente temperatura (50, 60 y 70 °C), presión (50 y 60 kPa) y masa (60, 70 y 80 gramos) y, teniendo al rendimiento de la harina como variable respuesta. Adicional, se caracterizó las propiedades fisicoquímicas. Se determinó que el secado al vacío presenta una gran similitud con las curvas teóricas, lo que lo convierte en un método adecuado para la obtención y análisis de dichas curvas. El mayor rendimiento de harina, independientemente de la cantidad de masa, se alcanza aplicando una presión de 60 kPa y una temperatura de 60 °C. Bajo estas condiciones, el tratamiento obtuvo 2,06% de proteínas, 3,32% de fibra cruda y 29,97% de azúcares reductores.

Pisfil (2017) en su tesis de titulación “*Optimización del Nivel de Sustitución de la Harina de Trigo por Harina de Quinua (Chenopodium Quinoa), Cañihua (Chenopodium Pallidicaule) y Kiwicha (Amaranthus Caudatus) en la Elaboración de Pan Panini Precocido*”, tuvo como finalidad determinar la sustitución óptima de harina de kiwicha (3%, 6% y 9%), harina de cañihua (1%, 1,5% y 2%) y harina de quinua (3%, 6% y 9%), en la elaboración de pan precocido Panini con rasgos equivalentes a la muestra control. Se encontró que el tratamiento ideal contiene 6% de harina de kiwicha, 1% de harina de cañihua y 9% de harina de quinua. El tratamiento con mayor grado de

aceptación sensorial y que más se asemejaba al pan control, fue el que contenía 3% harina de kiwicha, 1,5% harina de cañihua y 9% harina de quinua. Finalmente, se concluyó que el pan tipo Panini optimizado con sustitución parcial por pseudocereales presenta un 7,77% menos de humedad, un incremento del 0,55% en cenizas y un 4,3% más de contenido proteico en comparación con el pan Panini control.

Lima (2022) en el proyecto de investigación titulado “*Determinación de parámetros de precocción en la elaboración de un pan especial semihojaldrado*” El estudio tuvo como finalidad definir la temperatura y el tiempo óptimos de precocción para un pan semihojaldrado. Se observó que estos parámetros modifican el color del pan, pasando de “blanco” a “dorado”, y el volumen, que aumentó de “bajo” a “alto”. La textura varió entre “blanda” y “crocante” debido al efecto cuadrático de la temperatura. El volumen específico alcanzó valores de 3,5 a 4 cuando se aplicaron más de 142 °C y 14 minutos. Las condiciones óptimas fueron 150 °C y 20 minutos, con una aceptación sensorial favorable.

Pinto (2018) en la tesis de grado “*Elaboración de barra nutritiva enriquecida con pajuro (Erythrina edulis) año 2018*” El estudio tuvo como finalidad elaborar una barra nutritiva con pajuro (*Erythrina edulis*). Se determinó su valor nutricional mediante análisis químico, humedad, cenizas, proteínas, lípidos y evaluación sensorial. La mejor formulación presentó 9,87% de proteínas, 3,65% de grasas, 2,94% de cenizas, 8,20% de humedad, 7,73% de fibra y 45,38% de vitamina C, con una aceptación del 89%, destacando el sabor como el atributo más valorado.

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Pajuro:

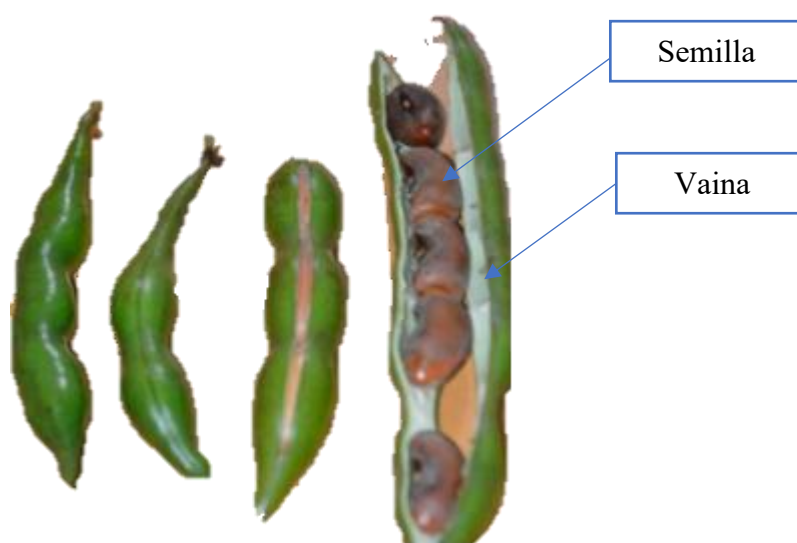
#### 2.2.1.1. Taxonomía y Morfología:

El pashuro se encuentra integrado en la parentela Fabaceae, perteneciente al género *Erythrina* y es de la especie *edulis*. Es originario de las cuencas andinas del norte de Sudamérica, esta recibe una determinada denominación de acuerdo a la zona geográfica donde se localiza. En Perú es conocido como basul, pajuro, pashigua, anteporoto antiporoto, pashuro, poroto y pisonay (Ventura, 2022).

Las semillas son parecidas a un frijol grande arriñonado y carnosas, su largo fluctúa entre los 2 y 5.2 cm de largo y su ancho suele medir 2.5 cm, además, su cubierta protectora presenta los colores rojo oscuro, café y amarillo (Pinto, 2018).

#### Figura 1

Fruto del pashuro con sus semillas a la vista



*Nota: AGRO PERÚ, 2022*

#### 2.2.1.2. Manejo de Cultivo:

Los agricultores andinos cuentan con diferentes métodos agrícolas que se vienen empleando desde tiempo atrás. El método de siembra que usan para el pashuro es por semilla, ubicando el dorso en la parte superior y el “omblijo” en la parte inferior de la superficie, además de quedar casi a la vista. Así mismo se puede extender por métodos de estacas de 40 a 45 cm de largo, con un rendimiento anual de 180 a 200 kg de este alimento por árbol (Vela & Quispe, 2017).

(Collado, 2021) Considera al pajuro como una planta multiuso, ya que no solo es un alimento nutritivo, sino que también es útil como fijador de nitrógeno, contrasta la erosión, sirve como cercador y forraje de campos, no exige ningún tratamiento y posee beneficios medicinales.

### 2.2.1.3. Composición:

La *Erythrina edulis* es de las más versátiles de su género, ya que cuenta con varias aplicaciones en su haber, estas abarcan desde la industria de alimenticia para humanos y animales; hasta el reabastecimientos de tierras de cultivos, incluyendo la formación de vallas tunantes y sus combinaciones con diferentes especies; por otro lado, han detectado considerables cantidades de vitaminas, minerales y, principalmente, proteínas en su semilla (Quezada, 2021) que equivalen a un 23% y un contenido de aminoácido comparable al del huevo, estando por arriba del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y habas (*Vicia faba*), y considerado uno de los productos más completo al mezclarse el maíz y otros productos buenos en metionina y triptófano (Huarcaya, 2020).

**Tabla 1**

Análisis proximal de las semillas en estado crudo y cocidas del pajuro en 100% base seca

Componentes	Semillas	Semillas
	Crudas (%)	Cocidas (%)
Materia Seca	86.92	91.14
Proteína en estado Crudo	21.10±0.12	20.58±0.49
Grasa	0.54±0.02	0.47±0.02
Fibra Cruda	2.86±0.03	2.83±0.07
Ceniza	4.91±0.19	4.51±0.06
Extracto libre de Nitrógeno	70.59±0.20	71.61±0.64
Materia Orgánica	95.09	95.49
Valor Energético (Kcal)	372	373

**Nota:** La Tabla 1 muestra los valores de las características proximales de las semillas crudas y cocidas del pajuro, expresado en porcentaje y con su respectiva

varianza. De “Digestibilidad proteica de semillas de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) sometidas a cocción tradicional”, por Delgado Soriano, V., Cortés Avendaño, P., Guevara Pérez, A. y Vílchez Perales, C., 2022. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.333>

**Tabla 2**

Perfil aminoacídico de leguminosas (g de AA/16gN)

<b>Aminoácido</b>	<b>Pajuro</b>	<b>Frijol</b>	<b>Arveja</b>	<b>Soya</b>	<b>Haba</b>
Lisina	6.91	6.24	6.96	6.38	6.46
Histidina	5.38	2.5	2.38	2.53	2.37
Treonina	5.84	3.87	3.58	3.86	3.36
Valina	5.57	4.62	4.08	4.8	4.4
Metionina	1.31	1.17	0.88	1.26	0.74
Isoleucina	5.2	3.73	3.2	4.54	4
Leucina	8.24	6.51	6.37	7.78	7.09
Fenilalanina	4.99	4.72	4.22	4.94	4.32
Triptófano	0.66	0.56	0.74	1.28	N.D.
Tirosina	5.5	2.7	3.34	3.14	3.2
Arginina	5.63	5.87	9.46	7.23	8.9
Ácido Aspártico	19.47	11.1	11	11.7	11.2
Serina	5.71	5.57	4.75	5.12	4.48
Ácido Glutámico	17.42	16.2	18.4	18.7	15
Prolina	5.25	3.97	3.87	5.45	3.98
Glicina	5.44	3.31	4.14	4.18	4.13
Alanina	7.73	3.74	4.18	4.26	4.14

**Nota:** La Tabla 2 indica los contenidos de aminoácidos totales de 5 tipos de leguminosas medidas en gramos por cada 16 gramos de nitrógeno, equivalente al contenido en un gramo de proteína. De “Influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*)”, por Tingal Chilon, K.L., 2019, Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3365>.

Intiquilla (2015) evaluó la actividad antioxidante in vitro del pajuro por los métodos TEAC-ABTS y ORAC, concluyendo que las fracciones peptídicas del hidrolizado proteico presentan actividad antioxidante y podrían constituir una fuente potencial para la obtención de péptidos bioactivos. Él encontró que la capacidad antioxidante para una fracción < 3 kDa, fue  $636.20 \pm 4.27 \mu\text{mol ET/g}$ , con un IC50 de  $23.14 \pm 1.11 \mu\text{g/mL}$  en TEAC-ABTS y de  $1.176 \pm 0.074 \mu\text{mol ET/mg}$  para el ORAC.

### **2.2.2. Lúcumá:**

La lúcumá es una planta conocida bajo este nombre en Perú, sin embargo, en países como Ecuador y Chile son distinguidas como Logna y Lucmu, y Lúcumo Coquimbo respectivamente; es del género *Pouteria* y pertenece a la familia Sapotaceas (Alegre y Tiicse, 2017). El Perú cuenta con un gran número de biotipos no caracterizados que cuentan con diferentes estadios fenológicos, por esta razón, este fruto es considerado en floración todo el año. En general, en los meses donde predomina el calor hay mayor floración de los biotipos, el que se ve disminuido exponencialmente en los meses de frío, conforme la temperatura baja (Alegre y Ticse, 2017).

En Perú, la pulpa de la lúcumá es industrializada artesanalmente para la obtención de harina que posteriormente es usada en helados o productos de panificación (Malpartida et al., 2021).

Casi el 58% de la lúcumá es agua, la composición en carbohidratos es alrededor del 30%, donde podemos encontrar azúcares como el myoinositol, la sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos orgánicos tales como el ácido ascórbico, tartárico, succínico y químico; su porcentaje proteico varía entre el 1,5 al 2,4%, siendo una de las frutas con mayor contenido de este macronutriente, con respecto a los ácidos grasos, a pesar de que estos representan menos del 1%, son mayores a comparación de las frutas, ubicadas sobre todo en la corteza y pepa del fruto donde se puede destacar el ácido oleico, palmítico, esteárico, linoleico y linoléico (Maza y Paucar, 2017).

Los principales metabolitos secundarios de esta fruta son los triterpenos, los compuestos fenólicos y los carotenoides, además, se ha determinado que su actividad antioxidante y antihiper glucemiante (específicamente actividades inhibitoras de la  $\alpha$ -amilasa y la  $\alpha$ -glucosidasa) depende de su estadio de maduración (Inga et al., 2019). Es ampliamente usado como edulcorante natural, para combatir la hipertensión y la diabetes, así como para enfermedades del corazón, cáncer y la inflamación (Maza y Paúcar, 2020).

**Tabla 3**

Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica ( $\mu\text{mol}$  Trolox equivalente (TE)/g, ms) de la lúcuma

Estado	Capacidad	Capacidad	Capacidad
	Antioxidante	Antioxidante	Antioxidante
	Hidrofílica	Hidrofílica	Lipofílica
	(ABTS)	(ORAC)	(ABTS)
Verde	1245.4 $\pm$ 161.5	166.6 $\pm$ 13.9	3.7 $\pm$ 0.3
Pintón	992 $\pm$ 96.4	115.8 $\pm$ 12.5	4.0 $\pm$ 0.5

*Nota:* La Tabla 3 presenta los valores correspondientes a la capacidad antioxidante hidrofílica, evaluada mediante los métodos ABTS y ORAC, y lipofílica por el método ABTS de lúcuma “Dos Marrón” en estadios de madurez verde y pintón. De “Evaluación de metabolitos secundarios y propiedades antioxidantes e hipoglucemiante de lúcuma (*Pouteria lucuma*) en dos estados de madurez”, por Mejía Rios, C. V., 2017, Tesis de Titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3047>.

### **2.2.2.1. Lúcuma de Seda:**

#### **2.2.2.1.1. Taxonomía y Morfología:**

La variedad seda de lúcuma es originaria de las zonas montañosas del sur de Perú y Bolivia, donde se le conoce con nombres como yema de huevo, lúcuma verde, rujma y lucma (Aguirre, 2016).

#### **2.2.2.1.2. Cultivo:**

En nuestro país, crece en los pueblos de Junín, Ayacucho, Huanta, Cajamarca, Cuzco, Urubamba y Valle de Urubamba; sin embargo, son las quebradas de Chíncha, Huacho, Huaral y Cañete quienes producen hoy en día lúcuma de mayor valor con el objetivo de exportarlo (INDECOPI, 2015). Los requerimientos para el cultivo de esta planta incluyen una altitud de 3000 m.s.n.m., temperaturas que van desde los 8°C a 27°C y humedades de 80% a 90% (Andina, 2017).

#### **2.2.2.1.3. Composición:**

Seda y Palo son las dos variedades más utilizadas comercialmente, la diferencia entre estas dos especies es que la seda presenta un sabor agradable, su color está entre un amarillo intenso hasta un color ocre, la textura es suave y dulce, mientras que la variedad de palo es inadecuada en el consumo fresco o directo, pero a su vez es muy rendidora al procesarse en harinas, ya que tiene una pulpa fibrosa y fuerte (Cari, 2018).

### **Figura 2**

Lúcuma variedad seda partida a la mitad



*Nota:* Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, s.f.

**Tabla 4**

Valor nutricional de la pulpa y harina de la lúcuma de seda por cada 100 gramos

<b>Componente</b>	<b>Pulpa Fresca</b>	<b>Harina</b>
Agua (g)	72.3	9.3
Valor Energético (KJ)	414.2	1376.5
Proteínas (g)	1.5	4
Fibra (g)	1.3	2.3
Lípidos (g)	0.5	2.4
Cenizas (g)	0.7	2.3
Fósforo (mg)	26	186
Calcio (mg)	16	92
Caroteno (mg)	2.3	0
Ácido Ascórbico (mg)	2.2	11.5
Niacina (mg)	1.96	-
Hierro (mg)	0.4	4.6
Rivoflavina	0.14	0.3
Tiamina	0.01	0.2

*Nota:* En esta tabla 4 se muestran los valores nutricionales de la lúcuma en 100 gramos de alimento comestible, pulpa, y harina de la misma. De: “Efecto de la temperatura de secado y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad organoléptica de la harina de lúcuma (*Pouteria lucuma*) tipo seda” por Gamarra Castro, R. J. C., 2019.

### **2.2.3. Proteínas:**

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos que están estructurados por átomos de hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno y en muchas ocasiones, azufre; también son descritas como cadenas peptídicas quienes contienen conjugaciones de aminoácidos (Yada, 2018). Este compuesto nitrogenado, junto a los polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, forma parte de los cuatro tipos de biomoléculas complejas que se encuentran en tejidos y células (Cardona, 2020). Los aminoácidos, al formar proteínas, se acomodan en tres tipos de estructuras: una estructura primaria, donde se forman los péptidos y es establecida por el ADN; la estructura secundaria, que

describe la secuencia del pliegue o enrollado; y la estructura terciaria, que brinda la función proteica y le da su forma tridimensional (Nissen et al., 2019).

Una dieta que incluya proteínas, específicamente con aminoácidos esenciales, es importante tanto para adultos como para niños y adolescentes, estas sustancias contribuirán con la reparación del cuerpo y la regeneración de células, en los primeros, y será fundamental para el desarrollo de los últimos mencionados (Bohrer, 2017). El método de PDCAAS es considerado el más conveniente para determinar la calidad de proteínas que contienen los alimentos; este tiene sus bases en el requerimiento de aminoácidos diarios del cuerpo humano y en la digestibilidad de estos (Coila, 2020).

Las legumbres, después de los cereales, son el alimento humano más importante, ya que, son ricos en proteínas (21-25%), vitaminas esenciales, carbohidratos complejos, minerales, fitoquímicos (Singh, 2017), son bajos en lípidos y de precio accesible; además, sus proteínas presentan propiedades funcionales especiales para la formación de espuma, emulsiones, gelificaciones y, absorben grasas y agua (Shevkani et al., 2019); por otro lado, son una fuente importante de globulina y albúmina, representando casi el 33% del requerimiento diario (Bessada et al., 2019).

También es importante resaltar el hecho de que las proteínas contribuyen a la calidad sensorial de los productos que los incluyen en su preparación; atributos como el color, sabor y textura son afectados de manera positiva (Damodaran & Paraf, 2017). La desnaturalización de las proteínas del gluten inicia en 2 etapas: el primero es a un calentamiento de 70°C tras un cambio en sus bandas de hélices y el segundo es a los 85°C en las bandas de giro B, a esto le sigue una estabilización a los 170°C para finalmente alcanzar el máximo de pérdida a los 250°C (Wehrli et al., 2021).

#### **2.2.4. Aminoácidos:**

Los aminoácidos, principalmente, son los encargados de formar la estructura de las proteínas; no obstante, también están involucrados en funciones de protección, inmunes, cognitivas, de digestión, neuromusculares y de regulación (Cardona, 2020).

Estas moléculas se originan de ácidos grasos de cadena corta o poseen los grupos funcionales amino (COOH-) y carboxilo ácido (-NH<sub>2</sub>); y pueden ser obtenidos como

producto final en una hidrólisis con enzimas o al calentarse con ácidos fuertes. Son el resultado final de la digestión y del catabolismo protéico (Tineo, 2017).

En el medio ambiente existen más de 300 aminoácidos, sin embargo, solo 20 solo son aprovechados por el hombre (Zea et al., 2017). De este grupo, 9 son esenciales, lo que significa que deben ser adquiridos en la dieta debido a la imposibilidad del cuerpo para sintetizarlos (Gil, 2010); la treonina, el triptófano, la leucina, la isoleucina, la fenilalanina, la histidina, la lisina, la valina y la metionina son parte de este conjunto; sin embargo, la tirosina y la cisteína son considerados esenciales en casos de insuficiencia hepática o cuando se esté dando de lactar; lo mismo sucede con la arginina en casos particulares (Gutiérrez et al., 2020).

#### **2.2.5. Antioxidantes:**

Los antioxidantes son sustancias químicas que bloquean la acción de los radicales libres al neutralizarlos, evitando así el daño celular. Pueden producirse en el cuerpo (endógenos) o provenir de los alimentos (exógenos) (NIH, 2017). Los alimentos ricos en antioxidantes son productos animales o vegetales, naturales o industrializados, que no solo aportan nutrientes, sino también compuestos bioactivos como fibra, vitaminas y minerales, o han sido adaptados para disminuir grasas saturadas o azúcares, haciéndolos más saludables (Coronado et al., 2015). Entre los antioxidantes dietarios podemos mencionar a: la vitamina E, C y A, minerales como el selenio, zinc y cobre y polifenoles como los flavonoides (Jamanca y Alfaro, 2017).

#### **2.2.6. Estrés Oxidativo:**

Los radicales libres se forman en procesos aeróbicos como la respiración celular, exposición a infecciones microbianas, que resultan en activación fagocitaria, durante una actividad física intensa, o por la acción de contaminantes como el humo de cigarro, el alcohol, los rayos UV, los pesticidas y el ozono (Galina, 2018).

En pequeñas cantidades, los radicales libres no son nocivos y más bien colaboran en beneficio del organismo (Mora et al, 2019). Si los radicales libres se acumulan, pueden resultar citotóxicos; cuando su producción supera la acción antioxidante, se genera un desequilibrio que provoca estrés oxidativo (EO) y daño celular (Guiaquinta et al., 2017).

### **2.2.7. Polifenoles Totales:**

Los polifenoles, también llamados compuestos fenólicos, son moléculas que se originan de manera natural en el metabolismo secundario de las plantas, principalmente a través de las rutas del shikimato y los fenilpropanoides. Estos compuestos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal, donde las plantas sintetizan miles de variantes diferentes (Dimitric et al., 2017).

El contenido de polifenoles en plantas y frutos varía según las condiciones ambientales, especie, genotipo, compuestos del suelo, madurez, condiciones de almacenado y geografía. Además de contribuir en las funciones fisiológicas de las plantas, también son una parte importante en el régimen del ser humano (Gómez et al., 2016).

A menudo se analizan por su papel en procesos como la absorción de nutrientes, la síntesis de proteínas, la actividad enzimática, la fotosíntesis, la formación de estructuras y la protección contra condiciones ambientales desfavorables, incluyendo insectos y patógenos. Además de las funciones mencionadas, los polifenoles también son conocidos por sus importantes propiedades antioxidantes (Da Silva et al., 2016). Los compuestos fenólicos son los antioxidantes más comunes que se encuentran en frutas, verduras y bebidas de ciertas plantas. Consume una media de 1 gramo, que es 10 veces más que la vitamina C y 100 veces más que la vitamina E (Valencia et al., 2017).

### **2.2.8. Pan Precocido:**

El producto preserva sus nutrientes hasta el momento de consumo, gracias a la incorporación de un proceso de congelación posterior a la precocción en su cadena de elaboración. Esto lo convierte en un alimento semi-terminado que el consumidor puede finalizar fácilmente, manteniendo sus propiedades organolépticas como si fueran frescas (Torres y Quezada, 2018). La cocción del pan se lleva a cabo en dos partes, en la primera, la estructura de la miga es fijada, esto se obtiene horneándolo durante un tercio del tiempo; luego se almacena en congelación para después someterlo a la segunda parte obteniendo así un pan cuando se amerite (Vázquez et al., 2016).

Estos pasos aseguran una cadena de producción eficiente, preservando así el valor nutricional del pan. La congelación preserva los alimentos y alarga su vida para que puedan llegar al consumidor final en perfectas condiciones.

En la cadena alimentaria actual existen muchas industrias que producen, almacenan y procesan ingredientes de diferentes maneras. Los productos terminados también deben acopiarse en adecuadas condiciones antes de enviarse a mayoristas y minoristas, donde serán vendidas y, en última instancia, se compran, preparan y consumen. (García, 2023).

## **2.2.9. Insumos de Panificación**

### **2.2.9.1. Agua**

El término Agua potable de abastecimiento domiciliario tanto como público, se refiere al agua dispuesta para su consumo y empleo doméstico, además, no debe tener presencia de materia inusual de naturaleza biológica, orgánicas, inorgánicas y radiactivos en tenores tal que sea insegura para la integridad humana. Deberá tener un sabor deleitoso y de una apariencia cristalina, inolora, diáfana y color transparente (Matos, 2019).

Toda agua utilizada en el hogar puede provenir de diferentes fuentes, como el suministro público, pozos o fuentes cercanas a los tanques de almacenamiento domiciliarios (CAA, Cap. XII, Art. 982). En la elaboración del pan, su función principal es activar las proteínas de la harina, otorgando a la masa una textura blanda y moldeable. Además, actúa como disolvente de los ingredientes incorporados y resulta esencial para iniciar el proceso de fermentación.

(Matos, 2019).

### **2.2.9.2. Levadura**

Estos agentes permiten que las masas crezcan y adquieran una textura esponjosa en los productos horneados. El protagonista es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), junto con el vapor de agua y el aire que se integran en la mezcla y se expanden en el horno, logrando panes y pasteles más voluminosos y atractivos (Matos, 2019).

### **2.2.9.3. Sal**

La sal es clave para lograr una masa perfecta, pues fortalece la estructura del gluten, haciendo que las fibras sean más firmes y aportando una textura superior al producto final (Matos, 2019).

### **2.2.9.4. Ácido Ascórbico**

La vitamina C, o ácido ascórbico, es un aditivo muy común en la panificación europea, reconocido por su código E-300. Se ofrece como un polvo blanco ligeramente amarillento, con sabor ácido y casi sin olor. Normalmente no se añade directamente en la panadería, sino que el harinero lo incluye en la harina para mejorar la calidad del producto.

Un exceso de ácido ascórbico provoca masas demasiado elásticas y secas, difíciles de trabajar, generando panes redondeados y con cortezas claras. En cambio, la falta del aditivo produce masas pegajosas, con poco crecimiento en el horno y cortezas rojizas. La normativa establece que la dosis máxima para pan común es de 0,03% (Díaz y Flores, 2018).

Por su alta toxicidad, el bromato de potasio está prohibido en muchos países, incluido el nuestro. Su consumo puede provocar náuseas, problemas digestivos, alteraciones nerviosas y daño renal. Estudios científicos confirman que es potencialmente cancerígeno, razón por la cual tampoco se permite el uso de bromato de sodio ni de calcio (Díaz y Flores, 2018).

### **2.2.9.5. Harina**

La harina se define como el producto obtenido al moler el endospermo del trigo limpio. Si procede de otros cereales o legumbres, se indica su origen, como harina de maíz o de cebada. Cuando se utiliza el grano completo, se conoce como harina integral, ideal para una alimentación más saludable. (Pisfil, 2017).

Incorporar harinas compuestas en la panificación permite reducir el consumo de harina de trigo, disminuyendo costos y dependencia de importaciones. Además, mejora el valor nutricional del producto, ya que el trigo es pobre en aminoácidos esenciales como lisina y treonina (Vázquez et al., 2017).

#### **2.2.9.6. Propionato de Calcio**

El propionato de calcio es una sal derivada del ácido propiónico, con menor actividad antimicrobiana que este, pero con la ventaja de no ser corrosiva. Al incorporarse en la masa, no modifica el color, aroma, sabor, volumen ni el tiempo de horneado del pan. Presenta un ligero sabor a queso, imperceptible en el producto final, y es completamente digerido y metabolizado por el organismo humano (Pisfil, 2017).

Este ingrediente es el más efectivo para prevenir mohos en productos horneados, utilizándose en proporciones que van del 0,15% al 0,38% para garantizar frescura y calidad (Pisfil, 2017).

Presenta baja actividad antimicrobiana frente a bacterias, excepto contra *B. mesentericus*, y carece de efecto sobre las levaduras, lo que lo hace adecuado para productos que incluyen levaduras, como el pan. Ensayos han demostrado que al incorporar propionato de calcio en una concentración del 0,1%, se retrasa la aparición de mohos en el pan hasta aproximadamente 8 días (Pisfil, 2017).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS:**

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional del Santa, específicamente en la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, ubicada en Nuevo Chimbote, Áncash – Perú.

- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (ITA) de la universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa.
- Planta Piloto Agroindustrial en el área de panificación, Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Microbiología y Toxicología de productos Agroindustriales, Universidad Nacional del Santa

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Materia Prima**

- Harina de Trigo; obtenido de la tienda La Casa del Panadero ubicado en la ciudad de Chimbote.
- Lúcumas de variedad seda; obtenido del mercado de Jr. 28 de julio, Villa María - Nuevo Chimbote.
- Pajuro; adquirido de los campos de cultivo de la asociación Servicio para el Desarrollo Integral Rural (SEDIR) - Moro.

##### **3.1.2. Insumos**

- Leche en polvo; marca Anchor.
- Azúcar rubia
- Sal; marca Emsal
- Manteca; marca Del Campo
- Levadura fresca; marca Fleischmann
- Ácido ascórbico
- Sorbato de potasio
- Mejorador

Todos fueron obtenidos de la misma tienda; La Casa del Panadero, ubicado en la ciudad de Chimbote.

## **3.2. Equipos e Instrumentos**

### **3.2.1. Equipos**

- Cámara de fermentación  
Marca: NOVA  
Modelo: Max 1000
- Amasadora sobadora  
Marca: NOVA  
Modelo: Max 1000
- Horno rotatorio  
Marca: NOVA  
Modelo: Max 1000
- Molino de martillos  
Marca: Inoxtron  
Modelo: IP55
- Balanza analítica electrónica  
Marca: Precisa  
Modelo: LX 320A SCS
- Analizador de Humedad  
Marca: Precisa  
Modelo: XM50
- Digestor de Proteínas
- Set para la determinación de Fibra
- Lector Multimodal de Microplacas  
Marca: Biotex  
Modelo: Synergy 1502082
- Ultrasonido  
Modelo: Branson CPX952519 R)
- Centrífuga  
Modelo: Digicen 21 R)
- Congeladora  
Marca: Samsung

### **3.2.2. Reactivos**

- Reactivo PPH
- Trolox
- Metanol
- Acetona
- Carbonato de sodio
- Ácido Gálico
- Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Ácido Sulfúrico
- Soda Caustico
- Ácido clorhídrico

### **3.2.3. Instrumentos de laboratorio**

- Probetas
- Tubos de ensayo
- Mesa de acero inoxidable
- Lapiceros
- Platos descartables
- Vasos
- Ollas
- Bandejas de acero inoxidable
- Bolsas de polietileno

## **3.3. Métodos**

### **3.3.1. Método Experimental**

El método experimental estuvo comprendido en dos etapas.

- Primera Etapa: Durante esta etapa se obtuvieron las harinas de las materias primas, pajuro y lúcuma, para dicho fin fueron recepcionado, acondicionadas, secadas y tamizadas.
- Segunda Etapa: Esta etapa consiste en la elaboración de los panes precocidos siguiendo las formulaciones que muestra el diseño experimental.

### 3.3.2. Elaboración

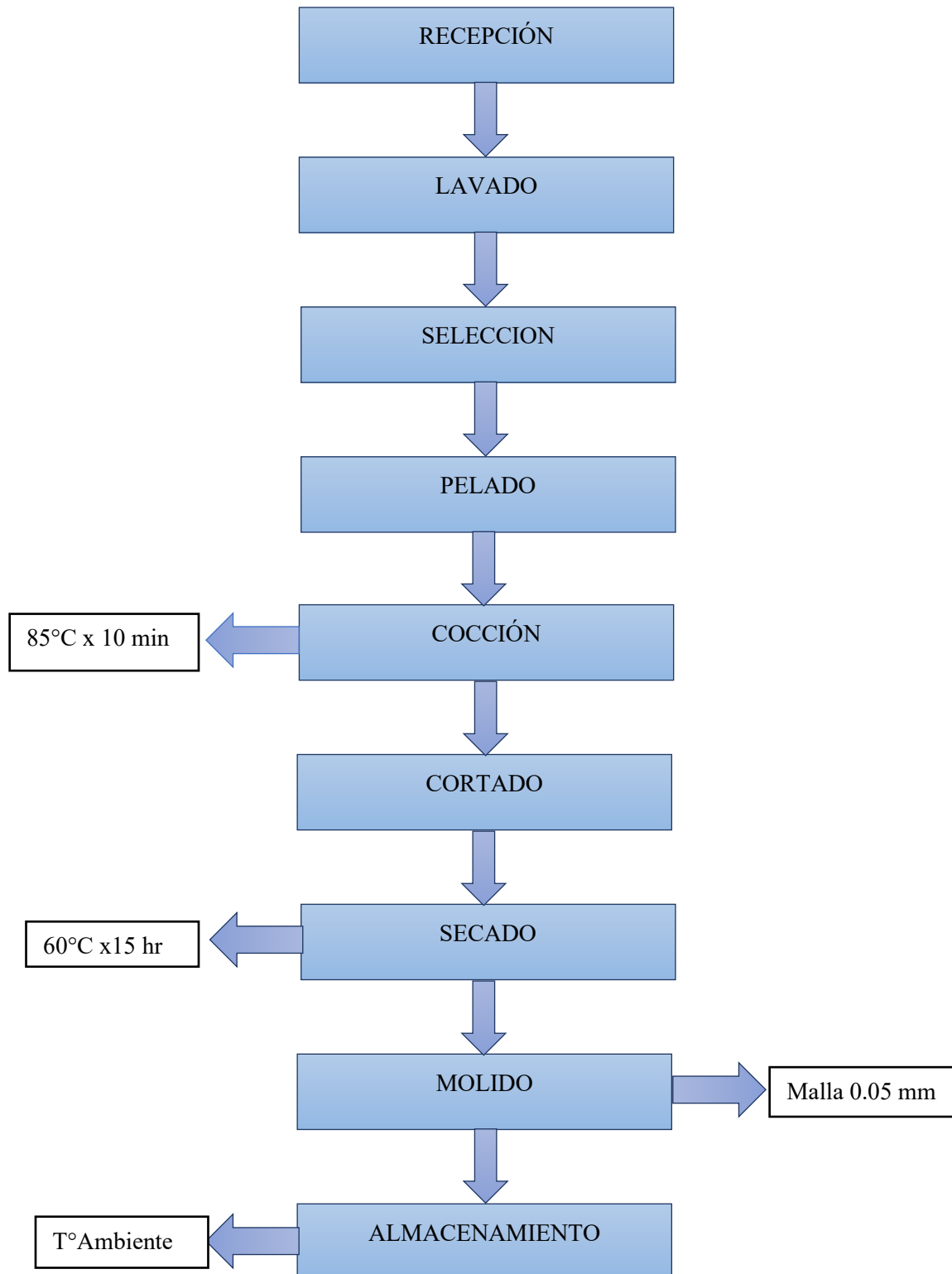
#### 3.3.2.1. Primera Etapa

##### a. Proceso De Elaboración De la Harina de Pajuro

- **Recepción:** Se recepcionó 20 kg de pajuro, el cual fue obtenido en las instalaciones de SEDIR.
- **Lavado:** Durante esta etapa se hizo uso del hipoclorito de sodio a una proporción de 5 ppm para hacer correcta la desinfección de las vainas, así como eliminar la suciedad e impurezas.
- **Pelado:** Consiste en separar las semillas de la cáscara del pajuro de forma manual, ayudándonos de objetos cortantes como cuchillos o peladores.
- **Selección:** Esta etapa comprende en separar y seleccionar las semillas que presentan una buena consistencia y color, de las que no.
- **Cocción:** Se usaron ollas y por medio del calor se eliminó el anti nutriente, ácido fítico, que contiene la semilla. Los parámetros de operación fueron a una temperatura de 85°C y un tiempo de 15 minutos. Esta etapa tiene como objeto el ablandamiento de la semilla.
- **Cortado:** Consiste en realizar cortes a la semilla para así poder tener un buen secado.
- **Secado:** Se realizó en un secador por aire forzado a una temperatura de 60°C por un lapso de 15 horas.
- **Molido:** Se realizó en un molino de martillos y una malla de 0.05 mm de abertura, parámetro para obtener una harina apta para panificación.
- **Almacenamiento:** Se almacenó a temperatura de 25°C en un ambiente seco.

**Figura 3.**

Diagrama de flujo de la obtención de harina de pajuro

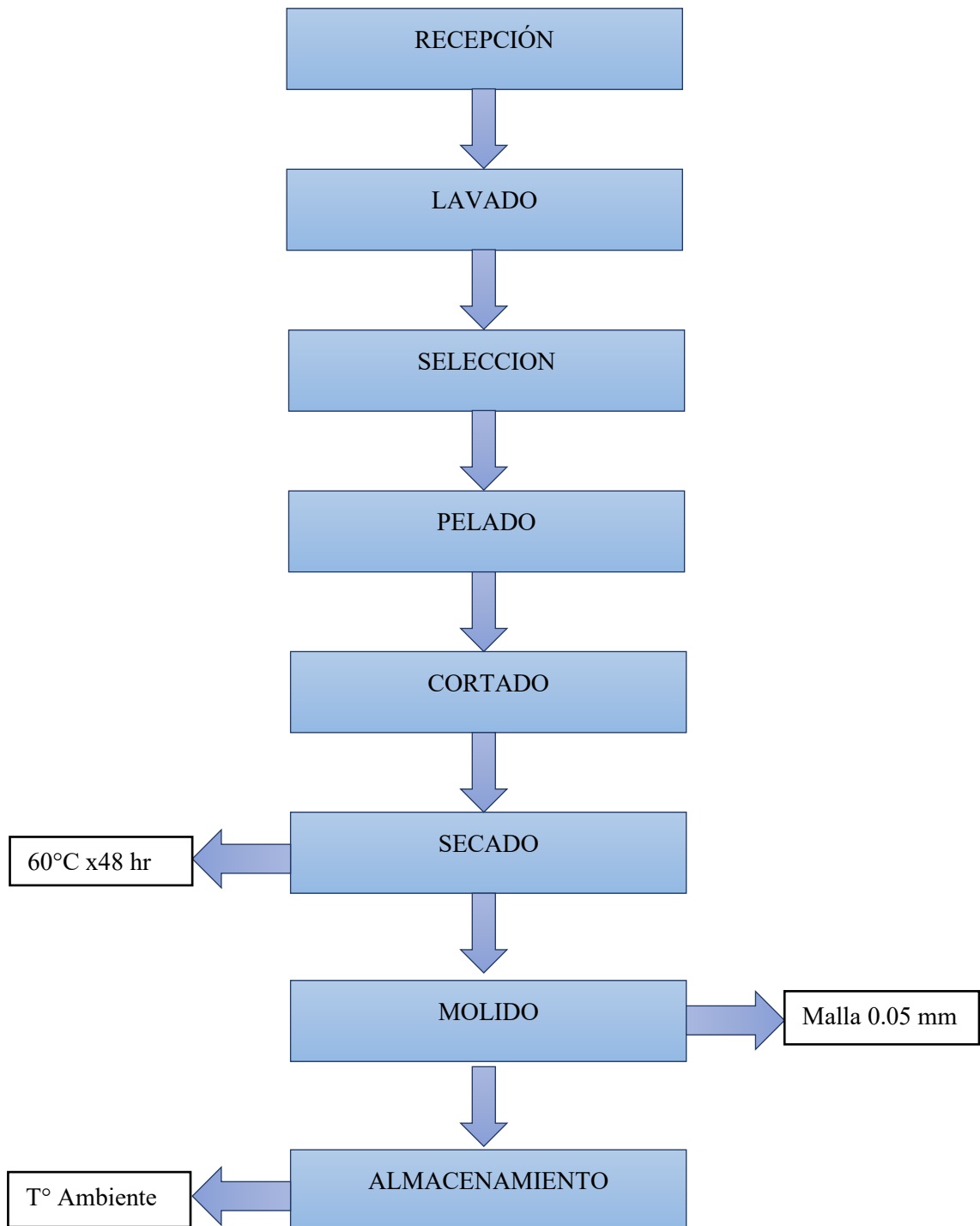


#### b. Proceso De Elaboración De la Harina de Lúcumá

- **Recepción:** Se recibió 10 Kg de lúcumá variedad Seda proveniente del mercado del Jr. 28 de julio de Villa María - Nuevo Chimbote.
- **Lavado:** Durante esta etapa se hizo uso del hipoclorito de sodio a una concentración de 5 ppm para hacer correcta la desinfección del fruto y eliminar todo tipo de suciedad e impurezas presentes.
- **Selección:** Esta etapa comprende en seleccionar de manera visual los frutos con buena consistencia y color, madurez adecuada, de los que no presentan dichas características.
- **Pelado:** Se realizó el pelado con cuchillo manualmente. En esta etapa se buscó separar la cáscara y la pepa de la pulpa.
- **Cortado:** Se cortó de manera manual con ayuda de un cuchillo trozos delgados de pulpa para así obtener un mejor secado.
- **Secado:** Se realizó en un secador por aire forzado con una temperatura a 60°C por un tiempo de 48 horas.
- **Molido:** Se realizó en un molino de martillos con una malla de 0.05 mm de apertura, parámetro determinante al obtener una harina apta para panificación.
- **Almacenamiento:** Se almacenó a temperatura de 25°C en un ambiente seco.

**Figura 4**

Diagrama de flujo de la obtención de harina de lúcuma



### 3.3.2.2. Segunda Etapa

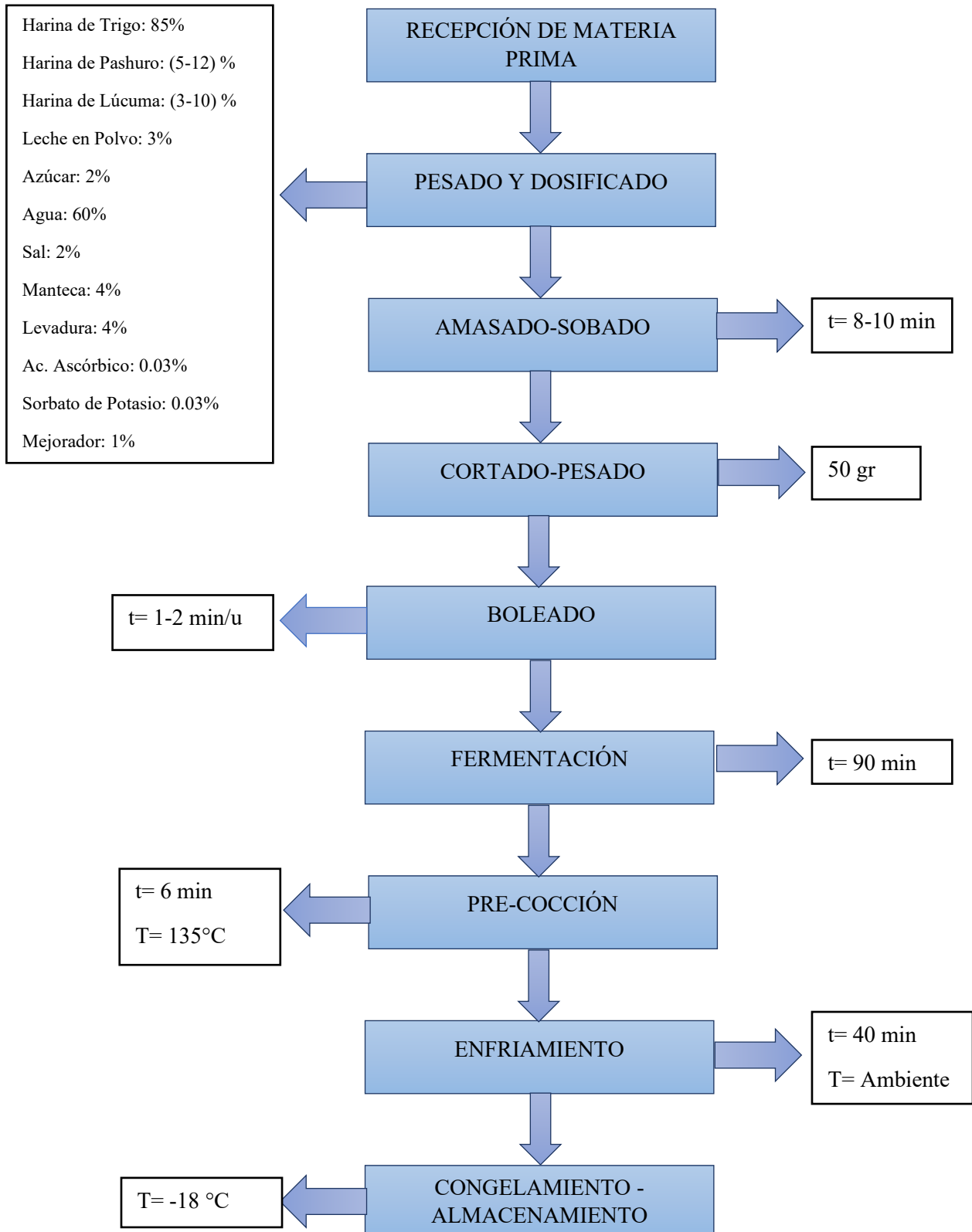
#### a. Proceso De Elaboración Del Pan Pre-Cocido

- **Recepción de Materia Prima:** Se reciben las harinas de trigo, pashuro y lúcuma, así como los diferentes insumos de panificación.
- **Pesado - Dosificado:** Se pesa la materia prima y los diferentes insumos según corresponda las formulaciones planteadas en el diseño experimental. Para efectuar esta actividad se hizo uso de una balanza digital.
- **Amasado:** Esta operación se realizó en una Amasadora - Sobadora, modelo MAX 1000, Marca NOVA, con capacidad de 25 kg. Se dio el primer nivel de mezcla hasta homogenizar bien la masa, luego se dio una segunda velocidad para que el gluten se desenvuelva y comience a formarse el punto liga el cual es un indicador de que la masa esta lista.
- **Cortado - Pesado:** Esta etapa se realizó con ayuda de una espátula de plástico para hacer los cortes uniformes y una balanza digital para realizar el pesado uniforme de 50 gr de masa.
- **Boleado:** Esta etapa consiste en comprimir la porción de masa previamente pesada, formando movimientos de afuera hacia adentro desde un punto fijo, hasta formar una masa esférica con una superficie lisa y libre de espacios libres. Posteriormente se dejó reposar por unos 15 minutos.
- **Fermentación:** La masa previamente puestas en bandejas fueron introducidas en una cámara fermentadora de marca NOVA y modelo MAX 1000, a una temperatura de 28°C y 70% HR en un periodo de 90 minutos.
- **Precocción:** Previamente fermentada la masa esta va directamente al horno de marca NOVA y modelo MAX 1000 con una T° 135°C por un lapso de 6 minutos.
- **Enfriamiento:** El enfriamiento se hace a temperatura ambiente en un lugar previamente desinfectada por un periodo de 30 minutos.
- **Congelamiento - Almacenamiento:** El producto termina empacado en bolsas de polipropileno y son aseguradas con ayuda de una selladora

manual. Una vez envasada se almacenan a temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  en un ambiente limpio.

**Figura 5**

Diagrama de Flujo de Pan Precocido



### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Mezcla D-Optimal

El diseño D-óptimo proporciona exactitud máxima en estimar los coeficientes de una regresión. El precio para una exactitud más alta es proporcionado por un número creciente de los puntos del diseño, que explica por qué tales diseños se utilizan con menor frecuencia en la práctica. El diseño continuo D-óptimo, es construido en un cubo de k-dimensiones, para determinar el número de puntos del diseño se aplica la siguiente fórmula:

$$N = 2^K + K * 2^{K-1} + \frac{K(K-1)}{2} * 2^{K-2}$$

k: representa el número de factores.

Los datos se integrarán en una ecuación cuadrática creada para optimizar diseños de mezcla, destacando por no incluir el término de intercepción.

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j$$

Cuando se desarrolla un producto en las cuales se conoce que sus características dependen de componentes del cual está constituido en obtener el resultado más óptimo, entonces esto requerirá determinar los posibles efectos sobre cada característica del producto, posteriormente obtener una alta calidad global encontrando el balance de los componentes.

### 3.5. Diseño Experimental

La evaluación experimental implicó el desarrollo de Formulaciones de panes enriquecidos a base de harinas Pajuro y Lúcumá utilizando el diseño Mixture Design de un tipo D- Optimal Design.

Considerando como variables independientes lo siguiente:

Harina de Trigo 85 %, Harina de Pajuro (5-12) % y Harina de Lúcumá (3-10) %.

Así mismo, se definieron las variables dependientes o también llamadas variables respuesta, siendo los siguientes: Sabor, Color, Olor, Textura, Proteína, Fibra, Antioxidante y Polifenoles totales.

**Tabla 5.**

Variables de Investigación

<b>Independiente</b>	Harina de Pajuro
	Harina de Lúcumá
<b>Dependiente</b>	Polifenoles
	Proteína
	Fibra dietario
	Capacidad Antioxidante
	Sabor
	Color
	Olor
	Textura

**Tabla 6.**

Categoría de los Factores de Estudio

<b>Factores</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Continuo</b>
Pashuro	5	12	%	Sí
Lúcumá	3	10	%	Sí
Trigo	85	85	%	Sí

Las condiciones de factores de estudio detalladas en la Tabla 6 se ingresan en el programa DESIGN EXPERT, donde creará diseños que estudien los dos factores en 10 pruebas experimentales, así como se muestra en la Tabla 7. Este diseño estará

realizado con un bloque único, orden de forma aleatoria, así se protegerá contra posible impacto de variables ocultas.

**Tabla 7.**

Matriz de Estudio Decodificadas por método Mezcla D-optimal Design

Tratamiento	Variables de Estudio		
	% Pashuro	% Lúcumá	%Trigo
T1	12.0	3.0	85
T2	12.0	3.0	85
T3	6.8	8.3	85
T4	5.0	10.0	85
T5	5.0	10.0	85
T6	8.5	6.5	85
T7	5.0	10.0	85
T8	12.0	3.0	85
T9	8.5	6.5	85
T10	10.3	4.8	85

### 3.6. Método de Análisis

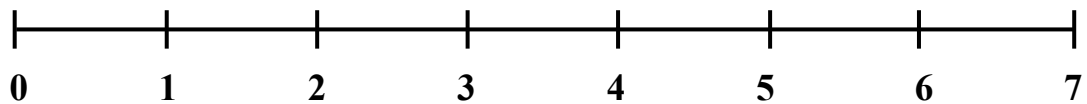
#### 3.6.1. Análisis Sensorial

Para determinar el grado de satisfacción del pan con diferentes proporciones de harina de pashuro y lúcumo por la harina de trigo, con un nivel alto de antioxidante y proteínas comparados con una prueba control, se hará mediante un panel no entrenado, los cuales estarán conformados por 40 panelistas, en las que calificarán en escala hedónica Lineal de 7 puntos.

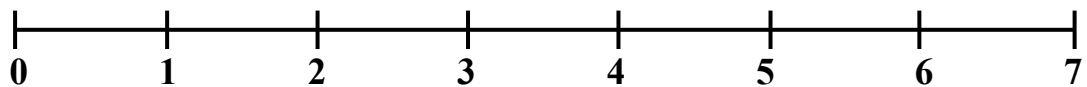
#### PUNTUACIONES Y ESCALA:

1	Me disgusta mucho	5	Me gusta poco
2	Me disgusto moderadamente	6	Me gusta moderadamente
3	Me disgusto poco	7	Me gusta mucho
4	No gusta / ni disgusta		

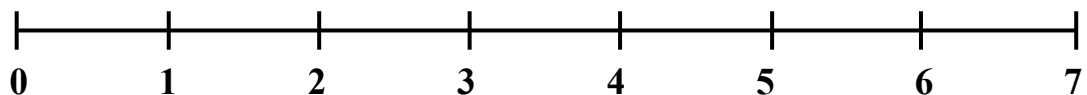
#### Sabor



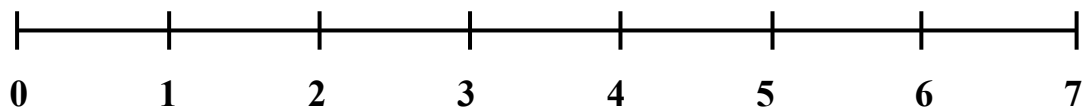
#### Color



#### Olor



#### Textura



### **3.7. Caracterización**

#### **3.7.1. Determinación de proteína total**

El contenido de proteína total fue determinado por el método Kjeldahl.

#### **3.7.2. Determinación de Fibra dietario Total**

La determinación de la fibra dietaria total se realizó según el método AOAC 991.43 (1997). Se empleó 1 g de muestra seca y desgrasada, la cual fue gelatinizada con  $\alpha$ -amilasa termoestable y posteriormente digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar almidón y proteínas. La fibra soluble se precipitó mediante la adición de alcohol etílico; el residuo obtenido se filtró, lavó con etanol y acetona, se secó y se pesó. En duplicado, se determinó ceniza en una parte y proteína en la otra. La fórmula para la determinación de Fibra Dietaria es la siguiente:

$$FDT(\%) = \frac{P. Residuo - (Prteínas + Cenizas)}{Peso muestra inicial} * 100\%$$

#### **3.7.3. Determinación de ceniza**

Se aplicó el método de calcinación, eliminando la materia orgánica mediante exposición a temperaturas comprendidas entre 550 y 600 °C (AOAC, 2005).

#### **3.7.4. Humedad**

La determinación se realizó mediante secado y diferencia de peso, siguiendo el método de estufa 934.06 establecido por la AOAC (1996).

#### **3.7.5. Determinación de Compuestos fenólicos**

La cuantificación de polifenoles totales se llevó a cabo mediante el método Folin-Ciocalteu. Se construyó una curva de calibración utilizando seis concentraciones de ácido gálico (20, 40, 60, 80, 100  $\mu$ L y blanco). De cada concentración se tomaron 100  $\mu$ L por triplicado, añadiendo 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 10 veces, seguido de una incubación en oscuridad durante 5 minutos. Posteriormente, se incorporaron 50  $\mu$ L de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 20% y volúmenes variables de agua destilada (1080, 1060, 1040, 1020, 1000, 1100  $\mu$ L), incubando nuevamente por 60 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia a 739 nm en un

lector multimodal, empleando como blanco un tubo con todos los reactivos excepto el ácido gálico, sustituido por 100 µL de agua destilada.

### **3.7.6. Determinación de capacidad antioxidante (Método DPPH)**

La evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH comenzó con la preparación de una solución de DPPH 1 mM (20 mg en 50 mL de metanol absoluto), la cual se diluyó con metanol hasta obtener una absorbancia cercana a 0,800 a 515 nm. Se elaboró la curva patrón de Trolox a partir de una solución madre 1 mM (12,5 mg de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico en 50 mL de metanol), de la que se obtuvieron ocho soluciones con concentraciones entre 5 y 500 µM. Usando metanol como blanco, se midió la absorbancia inicial ( $A_0$ ) del radical DPPH y las absorbancias de las ocho concentraciones a 515 nm, por triplicado y sin incubación, colocando 10 µL de cada estándar y 190 µL de DPPH en los pocillos de la microplaca.

La fórmula para la determinación de antioxidante es la siguiente:

$$\%DPPH \text{ reducido} = \frac{A_0 - A_m}{A_0} * 100\%$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Análisis Proximal de las materias primas.

Los Resultados de Los análisis Proximales de muestran en las siguientes Tablas

**Tabla 8.**

Composición Proximal de la Harina de Lúcumá

Componentes (%)	Unidad de Medida	Harina de Lúcumá
Humedad	%	9.90±0.1
Ceniza	%	2.00±0.02
Proteína	%	10.43±0.33
Compuesto Fenólico	mg GAE/100g	200.29±34.82
Antioxidantes	uMol trolox/g	485.59±11.19
Fibra Dietario	%	34.93±0.087

*\*Realizado en las instalaciones del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA).*

**Tabla 9.**

Composición Proximal de la Harina de Pajuro

Componentes	Unidad de Medida	Harina de Pajuro
Humedad	%	10.60±0.11
Ceniza	%	5.30±0.05
Proteína	%	26.85±0.28
Compuesto Fenólico	mg GAE/100g	190.81±14.53
Antioxidantes	uMol trolox/g	256.69±16.08
Fibra dietario	%	24.89±0.109

*\*Realizado en las instalaciones del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA).*

La harina obtenida de la Lúcumá mostró un promedio de humedad del 9.90 %, con una desviación estándar de 0.1, cumpliendo así con las tolerancias establecidas por la norma técnica peruana NTP 205.040 de INDECOPI (1976) para harinas sucedáneas de trigo, cuyo límite de humedad es del 15 %. Al igual que el contenido de humedad promedio para el pajuro es de 10.6% con una desviación estándar del 0.11.

Este contenido de humedad es un factor determinante en las propiedades composicionales y está influenciado por el grosor de la muestra, así como por las condiciones de secado (tiempo y temperatura) aplicadas durante el procesamiento. (Cruz, 2002).

La harina de Lúcumá presentó un contenido de 10.43% de proteína con una desviación estándar de 0.33 y la harina de Pajuro un nivel de 26.85% promedio y una desviación estándar de 0.28. Este último resultado es superior al 17.74% y el 21% reportado por Ventura (2022) y Argote y Villada (2012) respectivamente. Esto se debe a la condición y naturaleza de las muestras.

El contenido de cenizas en la harina de Lúcumá tuvo un promedio de 2.00 %, y la desviación estándar de 0.02. Así mismo, el porcentaje ceniza para el pajuro es de 5.3% con una desviación estándar de 0.05. Estos valores pueden variar dependiendo del fruto, su estado de madurez, la variedad, la temporada de cosecha y las condiciones de cultivo. (Priego, 2007).

La harina de Pajuro presentó un contenido fenólico de 190.81 mg GAE/100g con una desviación estándar de 14.53, siendo este valor inferior al que reporta Ventura (2022) de 241.49 mg GAE/100g con una desviación estándar de 16.02. Por otro lado, el contenido fenólico de Lúcumá es de 200.29 GAE/100g y una desviación estándar de 34.82. Este valor siendo inferior a 453 mg GAE /100 gr de Threlfall (2007). Esto provocado por el estado de madurez o procesamiento de cultivo.

El contenido de Capacidad Antioxidante de la harina de Pajuro es de 256.69 uMol trolox/g con una desviación estándar de 16.08, este último valor siendo superior al que reporta Ventura (2022) con 43.46 uMol trolox/g. Así mismo, la capacidad antioxidante de la Lúcumá es de 485.59 uMol trolox/g con una desviación estándar de 11.19, siendo este, superior al valor que reporta García (2016) de 4.5 uMol trolox/g. La justificación hace dependencia de las propiedades de los frutos que a su vez depende de su estado.

El porcentaje de fibra promedio que presentó la harina de Pajuro es de 24.89 %, este valor es menor a 5.32% de Ventura (2022), esta última fibra cruda. Así mismo, el contenido de fibra promedio de la lúcuma es de 34.93% siendo este valor mayor al 32.84% de Fuentealba et al. (2016).

## 4.2. Evaluar el análisis fisicoquímico y sensorial de los tratamientos obtenidos mediante el diseño experimental.

### 4.2.1. Análisis de Fibra dietario

En la siguiente tabla se muestra los promedios de los datos obtenidos por triplicado de cada tratamiento, con el método enzimático-gravimétrico AOAC 985.29.

**Tabla 10.**

Resultados del análisis de la fibra de cada tratamiento

Tratamiento	% Fibra
T1	12.731±0.18
T2	12.677±0.17
T3	11.000±0.09
T4	11.064±0.17
T5	11.330±0.13
T6	12.005±0.14
T7	11.256±0.12
T8	12.699±0.09
T9	12.361±0.11
T10	10.812±0.02

En la tabla 10 se muestra que los tratamientos T1 (12,731 g), T2 (12,699 g) y T8 (12,677 g) muestran los valores más altos de fibra dietética, comparado con T10 (10,812 g) y T3 (11,00 g). Esta diferencia se fundamenta en el alto contenido de fructooligosacáridos (FOS) e inulina del pashuro (*Smallanthus sonchifolius*), que representan hasta el 70 % de su materia seca, (Pereira et al. 2025), confirmando su rol funcional como prebiótico. Asimismo, Velez, Lotufo-Haddad, Vinderola, Ramón, Silva y Aguilar-Galvez (2023) observaron

que la suplementación con harina de yacón incrementa significativamente las poblaciones de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* e induce cambios positivos en marcadores de inflamación, microbiota intestinal y perfil lipídico. Finalmente, Umaña, Ramírez, Pérez, Gutiérrez, Cabrera y Morales (2024) demostraron que una ingesta diaria de aproximadamente 15 g de FOS reduce la permeabilidad intestinal y mejora la respuesta inmunológica en modelos animales. Estos hallazgos refuerzan los resultados de tus formulaciones T1, T2 y T8, donde el alto contenido de fibra refleja una sólida funcionalidad prebiótica basada en composiciones fiables y recientes.

**Tabla 11.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para la Fibra

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	1390.94	1	1390.94				
Lineal	2.93	1	2.93	9.2	0.0162	0.5349	0.4768
Cuadrático	0.1609	1	0.1609	0.4722	0.5141	0.5643	0.4399
Cubica	0.3992	1	0.3992	1.21	0.3142	0.6373	0.4559
Cuartico	1.88	1	1.88	91.82	0.0002	0.9813	0.9663
Residual	0.1025	5	0.0205				
Total	1396.42	10	139.64				

La Tabla 11 muestra el análisis de varianza aplicado a los modelos de regresión para la variable respuesta FIBRA permitió identificar el modelo más adecuado para describir el comportamiento del sistema. Se evaluaron modelos de orden lineal, cuadrático, cúbico y cuártico, observándose diferencias significativas en su capacidad explicativa.

El modelo cuártico presentó una alta significancia estadística (valor de  $p = 0.0002$ ) y un valor  $F = 91.82$ , lo que indica que los términos del modelo contribuyen de manera significativa a explicar la variabilidad de la respuesta. Además, mostró un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9813$  y un  $R^2$  ajustado  $= 0.9663$ , evidenciando que el modelo explica más del 98% de la variabilidad

observada en la variable FIBRA. La media cuadrática del residuo fue baja (0.0205), lo que refuerza la precisión del ajuste.

En contraste, los modelos de orden inferior (lineal, cuadrático y cúbico) no alcanzaron niveles de significancia estadística comparables. El modelo lineal, aunque significativo ( $p = 0.0162$ ), presentó un  $R^2$  de apenas 53.49%, mientras que los modelos cuadrático y cúbico no fueron estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ), con valores de  $R^2$  ajustado considerablemente menores.

**Tabla 12.**

ANOVA del modelo matemático para la Fibra.

Tipos	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadratica	F-value	p-value
Modelo	5.37	4	1.34	65.48	0.0002
Mezcla Lineal	2.93	1	2.93	142.78	< 0.0001
AB	0.0746	1	0.0746	3.64	0.1147
AB(A-B)	0.3992	1	0.3992	19.47	0.0069
AB(A-B) <sup>2</sup>	1.88	1	1.88	91.82	0.0002
Error	0.1025	5	0.0205		
Total	5.47	9			

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado al modelo cuartico para la variable respuesta FIBRA evidenció una alta significancia estadística del modelo global, con un valor de  $F = 65.48$  y un  $p\text{-value} = 0.0002$ , lo que indica que los términos incluidos en el modelo explican de manera significativa la variabilidad observada en la respuesta. La suma de cuadrados total fue de 5.47, de los cuales 5.37 fueron explicados por el modelo, lo que refleja una excelente capacidad explicativa.

Dentro de los efectos evaluados, el término Mezcla Lineal presentó una significancia altamente marcada ( $F = 142.78$ ,  $p < 0.0001$ ), lo que demuestra que la combinación lineal de los componentes tiene un impacto considerable sobre

la variable FIBRA. Asimismo, el término  $AB(A-B)^2$  mostró una contribución significativa ( $F = 91.82$ ,  $p = 0.0002$ ), indicando que el efecto cuadrático de la interacción entre los componentes A y B es relevante en el comportamiento de la respuesta.

El término  $AB(A-B)$  también fue estadísticamente significativo ( $F = 19.47$ ,  $p = 0.0069$ ), lo que sugiere que la interacción lineal entre los componentes influye en la variabilidad de FIBRA.

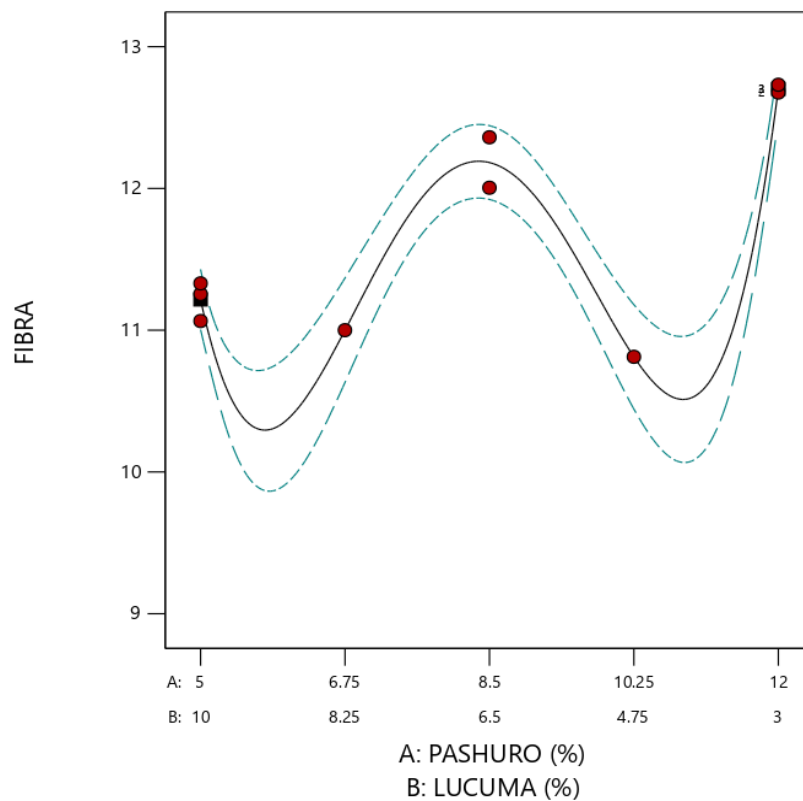
Por otro lado, el término  $AB$  presentó un valor de  $F = 3.64$  con un  $p$ -value =  $0.1147$ , lo cual no alcanza el umbral de significancia estadística convencional ( $p < 0.05$ ), por lo que no se considera relevante en este contexto. La media cuadrática del error puro fue baja ( $0.0205$ ), lo que refuerza la precisión del modelo ajustado y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El modelo cuartico que describe el comportamiento de la Fibra es expresado de la siguiente manera:

$$FIBRA = 12.7A + 11.22B + 0.8923AB - 4.96AB(A - B) - 26.05AB(A - B)^2$$

**Figura 6.**

Gráfico de Mezclas para la Variable Fibra



La Figura 6 muestra la relación entre los porcentajes de Pashuro (A) y Lúcuma (B) y el contenido de FIBRA en el producto formulado. En el eje horizontal se representan las proporciones de los componentes A y B, mientras que en el eje vertical se observa el contenido de fibra. Los puntos rojos indican los valores experimentales obtenidos, mientras que la línea sólida representa el comportamiento ajustado por el modelo cuártico. Las líneas discontinuas delimitan los intervalos de confianza del modelo.

Se observa una tendencia creciente en el contenido de FIBRA conforme aumenta el porcentaje de Pashuro y disminuye el de Lúcuma, lo que sugiere que el componente A (Pashuro) tiene una mayor influencia positiva sobre la respuesta. Esta tendencia es consistente con los resultados del ANOVA, donde el término Mezcla Lineal y las interacciones cuadráticas y lineales entre A y B fueron estadísticamente significativas.

El modelo ajustado describe adecuadamente el comportamiento de los datos, como se evidencia por la cercanía de los puntos experimentales a la curva de predicción y la estrechez de los intervalos de confianza. Esto refuerza la validez del modelo cuártico para representar la respuesta FIBRA en función de las proporciones de los componentes evaluados.

#### 4.2.2. Análisis de Proteína

En la siguiente tabla se muestra los promedios de los datos obtenidos por triplicado de cada tratamiento, con el equipo DUMAS.

**Tabla 13.**

Resultados del análisis de la Proteína de cada tratamiento

Tratamiento	% Proteína
T1	16.900±0.17
T2	17.000±0.03
T3	17.400±0.06
T4	17.270±0.03
T5	17.200±0.01
T6	17.470±0.08
T7	17.370±0.12
T8	16.700±0.01
T9	17.400±0.09
T10	16.950±0.04

De la tabla 13, la formulación T6 alcanzó el porcentaje proteico más elevado (17,470 %) gracias al equilibrio entre 8,5 % pashuro y 6,5 % lúcuma. Guerrero-Castillo, Reyes, Robles, Simirgiotis, Sepúlveda, Fernández-Burgos y Areche (2019) identificaron 59 compuestos en semillas de lúcuma incluyendo aminoácidos esenciales, compuestos fenólicos y flavonoides, y reportaron una concentración total de fenoles de 52,82  $\mu\text{mol GAE/g}$  de peso seco, con actividad antioxidante significativa. Asimismo, Aguilar-Galvez, García-Ríos, Janampa, Mejía, Chirinos, Pedreschi y Campos (2021) caracterizaron metabolitos y perfil proteico de lúcuma fresca, demostrando su importancia funcional durante el desarrollo agrícola. Por otro lado, Silva,

Carvajal, Sánchez, Morales, Pérez, Rodríguez y Gutiérrez (2022) evaluaron harinas mixtas de lúcuma y tubérculos señalando que combinaciones con 5–10 % de lúcuma incrementan proteína la equivalente en 0,8–1,2 %. Estos estudios respaldan que la presencia combinada de proteína vegetal y compuestos bioactivos en T6 contribuye significativamente al contenido proteico total, además de generar estabilidad funcional durante el procesamiento industrial.

**Tabla 14.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para la Proteína

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -Ajustado
Media	2946.72	1	2946.72				
Lineal	0.3302	1	0.3302	9.19	0.0163	0.5346	0.4764
cuadrático	0.1601	1	0.1601	8.8	0.0209	0.7938	0.7349
Cúbico	0.0273	1	0.0273	1.64	0.2477	0.838	0.757
Cuartico	0.0363	1	0.0363	2.85	0.1521	0.8968	0.8143
Residual	0.0637	5	0.0127				
Total	2947.33	10	294.73				

La Tabla 14 muestra que el modelo lineal presentó una significancia estadística aceptable, con un F-value = 9.19 y un p-value = 0.0163, lo que indica que existe una relación lineal significativa entre los factores evaluados y la respuesta PROTEÍNA. Sin embargo, su capacidad explicativa fue limitada, con un R<sup>2</sup> = 0.5346 y un R<sup>2</sup> ajustado = 0.4764, lo que sugiere que el modelo explica aproximadamente el 53% de la variabilidad observada.

El modelo cuadrático mostró una mejora en la significancia (F = 8.8, p = 0.0209) y en la capacidad explicativa (R<sup>2</sup> = 0.7938, R<sup>2</sup> ajustado = 0.7349), lo que indica que la inclusión de términos cuadráticos mejora sustancialmente el ajuste del modelo. No obstante, los modelos de orden superior no presentaron mejoras significativas. El modelo cúbico tuvo un F-value = 1.64 y un p-value = 0.2477, mientras que el modelo cuártico mostró un F-value = 2.85 con un p-

value = 0.1521, ambos por encima del umbral de significancia ( $p < 0.05$ ), lo que indica que no aportan mejoras estadísticamente relevantes.

La media cuadrática del residuo fue baja (0.0127), lo que sugiere que los errores del modelo son pequeños y que el ajuste es razonablemente preciso. La suma de cuadrados total fue de 2947.33, de los cuales 2946.72 corresponden a la media, y solo 0.63 fueron explicados por los modelos evaluados, lo que indica que la variabilidad en PROTEÍNA es relativamente baja en comparación con la magnitud de la media.

**Tabla 15.**

ANOVA del modelo matemático para la Proteína

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	0.4903	2	0.2451	13.47	0.004
Mezcla	0.3302	1	0.3302	18.15	0.0037
AB	0.1601	1	0.1601	8.8	0.0209
Residuos	0.1274	7	0.0182		
Falta de ajuste	0.0637	2	0.0318	2.5	0.177
Error	0.0637	5	0.0127		
Total	0.6176	9			

La Tabla 15 muestra el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al modelo matemático Cuadrático ajustado para la variable respuesta PROTEÍNA. El modelo resultó estadísticamente significativo ( $F = 13.47$ ;  $p = 0.004$ ), lo que indica que al menos uno de los términos incluidos explica de manera significativa la variabilidad observada en la respuesta. El efecto de mezcla fue altamente significativo ( $F = 18.15$ ;  $p = 0.0037$ ), lo que evidencia que las proporciones de los componentes influyen directamente en el contenido de proteína. Asimismo, la interacción AB presentó significancia estadística ( $F = 8.8$ ;  $p = 0.0209$ ), lo que sugiere que el efecto combinado de los factores A y B tiene un impacto relevante sobre la variable respuesta. Por otro lado, el componente de falta de ajuste no fue significativo ( $F = 2.5$ ;  $p = 0.177$ ), lo cual es favorable, ya que indica que el modelo se ajusta adecuadamente a

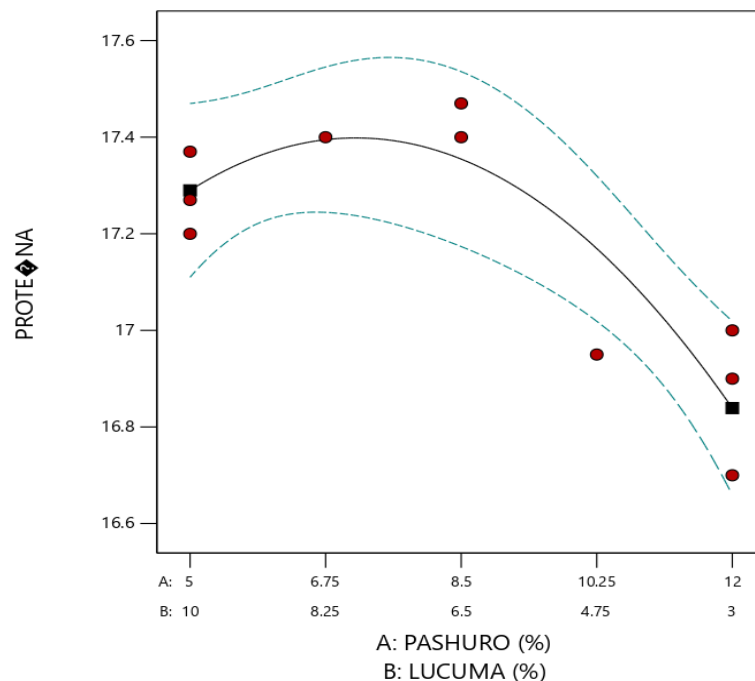
los datos experimentales y no hay evidencia de que se esté omitiendo una estructura importante. La media cuadrática del error puro fue baja (0.0127), lo que refleja una buena precisión en las observaciones. En cuanto a la suma total de cuadrados (0.6176), el modelo explicó 0.4903, lo que representa aproximadamente el 79.4% de la variabilidad total, confirmando una adecuada capacidad explicativa. En conjunto, estos resultados respaldan la validez estadística del modelo ajustado para la variable PROTEÍNA, permitiendo su uso confiable en la predicción y optimización de la respuesta.

El modelo cuadrático que describe el comportamiento de la Proteína es expresado de la siguiente manera:

$$PROTEÍNA = 16.84A + 17.29B + 1.16AB$$

**Figura 7.**

Gráfico de Mezclas para la Variable Proteína



La figura 7 muestra el comportamiento de la variable respuesta Proteína en función de las proporciones de Pashuro (A) y Lúcumá (B), modelado mediante un ajuste cuadrático. En el eje horizontal se representan los porcentajes de los componentes A y B, mientras que en el eje vertical se observa el contenido de proteína. Los puntos experimentales están marcados con círculos rojos, y el

modelo cuadrático ajustado se representa mediante una curva sólida negra. Las líneas discontinuas azules indican los intervalos de confianza del modelo, mientras que un punto cuadrado negro destaca una formulación específica dentro del diseño.

Se observa una tendencia no lineal en la respuesta, lo que justifica el uso de un modelo cuadrático. A medida que aumenta el porcentaje de Pashuro y disminuye el de Lúcumá, se evidencia un incremento en el contenido de proteína, alcanzando un máximo en una región intermedia del diseño. Esta curvatura indica que no existe una relación estrictamente lineal entre los componentes y la respuesta, y que el efecto combinado de ambos ingredientes genera una interacción significativa sobre el contenido proteico.

#### 4.2.3. Análisis de Polifenoles

En la siguiente tabla se muestra los promedios de los datos obtenidos por triplicado de cada tratamiento, con el método de Folin-Ciocalteu.

**Tabla 16.**

Resultados del análisis de Polifenoles de cada tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Polifenoles (mg GAE/100g)</b>
T1	12.032±0.54
T2	13.245±0.87
T3	16.607±1.00
T4	16.625±0.55
T5	13.848±0.41
T6	16.433±0.71
T7	15.679±0.60
T8	10.937±0.45
T9	17.973±0.85
T10	12.500±0.35

De la tabla 16, los tratamientos T9 (17,973 mg GAE/100 g) y T4 (16,625 mg) presentaron los niveles más altos de polifenoles totales, atribuibles al mayor contenido de lúcumá. Puma-Isuiza, García-Chacón, Osorio,

Betalleluz-Pallardel, Chue e Inga (2024) reportaron una concentración de 3,601,51 mg GAE/100 g en semillas de lúcuma usando disolventes eutécticos, subrayando su riqueza fenólica. Masullo, Cerulli, Pizza, Piacente, Bruno, Maci y Zaccaria (2021) también identificaron flavonoides estables en pulpa y piel de lúcuma, con actividad antioxidante destacada (TEAC = 3,53). Además, Sánchez, Garnica, Torres, Mendoza, Salazar y López (2023) evaluaron mezclas de lúcuma y tubérculos, concluyendo que más de 5 % de lúcuma induce un aumento lineal en TPC ( $R^2 = 0.93$ ,  $p < 0.01$ ). Por su parte, Reyes, Morales, Silva, Pérez, Díaz, Lira y Vásquez (2022) mostraron que el uso de NADES y RSM optimiza la extracción de polifenoles en matrices andinas, elevando su rendimiento hasta en 45 % respecto a métodos convencionales. Estos resultados validan que las formulaciones con más de 6 % de lúcuma como T4 y T9 presentan los mayores valores de polifenoles, sustentados en técnicas modernas y evidencia robusta.

**Tabla 17.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para la Polifenoles

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	2128.06	1	2128.06				
Lineal	22.12	1	22.12	6.16	0.038	0.435	0.3644
cuadrático	14.12	1	14.12	6.76	0.0354	0.7126	0.6305
Cúbico	2.77	1	2.77	1.4	0.2808	0.7671	0.6506
Cuártico	4.01	1	4.01	2.55	0.1709	0.8458	0.7225
Residual	7.84	5	1.57				
Total	2178.92	10	217.89				

La Tabla 17 presenta el análisis de varianza correspondiente a los modelos de regresión evaluados para la variable respuesta Polifenoles. Se analizaron modelos de orden lineal, cuadrático, cúbico y cuártico, observándose diferencias en su significancia estadística y capacidad explicativa.

El modelo lineal fue estadísticamente significativo ( $F = 6.16$ ;  $p = 0.038$ ), con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.435$  y un  $R^2$  ajustado = 0.3644, lo que indica

que explica aproximadamente el 43.5% de la variabilidad observada en la respuesta.

El modelo cuadrático mostró una mejora en la significancia ( $F = 6.76$ ;  $p = 0.0354$ ) y en la capacidad explicativa ( $R^2 = 0.7126$ ,  $R^2$  ajustado = 0.6305), lo que sugiere que la inclusión de términos cuadráticos mejora sustancialmente el ajuste del modelo.

El modelo cúbico, aunque presentó un aumento en el  $R^2$  (0.7671), no fue estadísticamente significativo ( $F = 1.4$ ;  $p = 0.2808$ ), lo que indica que el incremento en la capacidad explicativa no es suficiente para justificar su inclusión. De manera similar, el modelo cuártico alcanzó el mayor  $R^2$  (0.8458) y  $R^2$  ajustado (0.7225), pero su significancia estadística fue limitada ( $F = 2.55$ ;  $p = 0.1709$ ), por lo que no se considera superior al modelo cuadrático en términos de eficiencia estadística.

El error residual fue bajo (media cuadrática = 1.57), lo que indica que las observaciones son consistentes y que los modelos evaluados tienen una buena precisión. La suma total de cuadrados fue de 2178.92, de los cuales 2128.06 corresponden a la media, y solo 50.86 fueron explicados por los modelos, lo que refleja una baja variabilidad relativa en la respuesta.

**Tabla 18.**

ANOVA del modelo matemático para los Polifenoles

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	36.24	2	18.12	8.68	0.0127
Mezcla	22.12	1	22.12	10.59	0.014
AB	14.12	1	14.12	6.76	0.0354
Residuos	14.62	7	2.09		
Falta de ajuste	6.78	2	3.39	2.16	0.2107
Error	7.84	5	1.57		
Total	50.86	9			

El análisis de varianza presentado en la Tabla 18 muestra que el modelo Cuadrático propuesto para los polifenoles es estadísticamente significativo, con

un valor de F de 8.68 y un p-value de 0.0127, lo que indica que al menos uno de los factores evaluados tiene un efecto real sobre la respuesta. Dentro del modelo, el factor “Mezcla” presenta un F-value de 10.59 y un p-value de 0.014, lo que confirma su influencia significativa en el contenido de polifenoles. Asimismo, la interacción AB también resulta significativa, con un F-value de 6.76 y un p-value de 0.0354, lo que sugiere que la combinación de componentes tiene un efecto relevante en la respuesta.

Por otro lado, el análisis de los residuos muestra una suma de cuadrados de 14.62 con una media cuadrática de 2.09, lo que representa la variabilidad no explicada por el modelo. Al descomponer los residuos, se observa que la falta de ajuste tiene una media cuadrática de 3.39, mientras que el error puro tiene una media cuadrática de 1.57. El valor de F para la falta de ajuste es de 2.16 con un p-value de 0.2107, lo que indica que no hay evidencia estadística de que el modelo se ajuste mal a los datos experimentales.

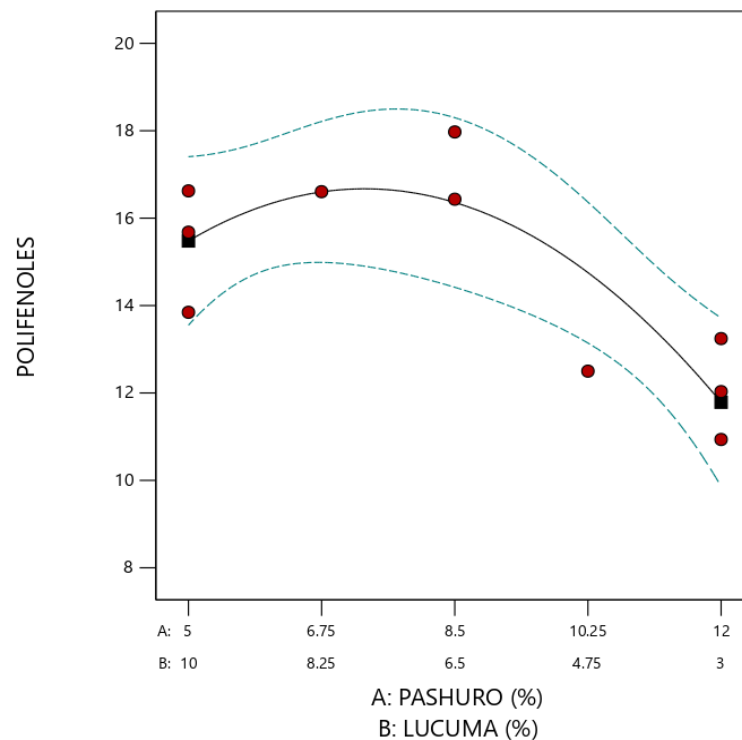
Finalmente, la suma total de cuadrados es de 50.86, de los cuales el modelo explica 36.24, lo que representa aproximadamente el 71.3% de la variabilidad total. Esto sugiere que el modelo tiene un buen poder explicativo y que los factores incluidos capturan adecuadamente la dinámica del sistema evaluado.

El modelo cuadrático que describe el comportamiento de los Polifenoles es expresado de la siguiente manera:

$$POLIFENOLES = 11.79A + 15.48B + 10.9AB$$

**Figura 8.**

Gráfico de Mezclas para la variable Polifenoles.



La figura 8 muestra la relación entre las proporciones de Pashuro (A) y Lúcuma (B) y el contenido de polifenoles. En el eje X se representan distintas combinaciones porcentuales de ambos ingredientes, mientras que en el eje Y se observa la cantidad de polifenoles obtenida. La curva negra representa el comportamiento del modelo ajustado, mientras que los puntos rojos indican los valores experimentales observados. Las líneas azules punteadas corresponden a los intervalos de confianza, lo que permite visualizar la precisión del modelo en cada punto.

Se observa una tendencia no lineal, donde el contenido de polifenoles varía según la proporción de los componentes. En particular, hay un punto de máximo en la curva, lo que sugiere que existe una combinación óptima de Pashuro y Lúcuma que maximiza la concentración de polifenoles. Este comportamiento respalda la significancia estadística de la interacción AB observada en el ANOVA, ya que el efecto no puede explicarse únicamente por los factores individuales.

#### 4.2.4. Análisis de Antioxidantes

En la siguiente tabla se muestra los promedios de los datos obtenidos por triplicado de cada tratamiento, con el método DPPH.

**Tabla 19.**

Resultados del análisis de Antioxidantes de cada tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Antioxidantes (uMol trolox/g)</b>
T1	195.110±19.79
T2	157.166±1.87
T3	347.506±5.28
T4	137.883±3.96
T5	80.657±5.28
T6	184.535±11.88
T7	220.613±5.28
T8	225.589± 7.92
T9	204.440±7.92
T10	320.759±2.64

Aunque la formulación T9 tiene el mayor contenido de polifenoles totales, fue T3 la que alcanzó la capacidad antioxidante más alta (347,506  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ), seguida por T10 (320.759  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ). Esto coincide plenamente con lo reportado por Inga Guevara, Betalleluz-Pallardel, Puma-Isuiza y Vargas de la Cruz (2024), quienes concluyeron que: “the variability in antioxidant capacity depends not only on total phenolic content but also on the profile of bioactive compounds and their interactions within the matrix”, y encontraron que semillas de lúcuma, mezcladas con otros subproductos andinos, pueden superar en actividad antioxidante a extractos de uva o cacao. Campos, Betalleluz-Pallardel, Chirinos, Aguilar-Galvez, Noratto, Pedreschi y Aguilar-Galvez (2023) también observaron que diferentes accesiones de yacón presentan amplio rango de actividad antioxidante (20–300  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) sin correlación directa con el contenido de polifenoles, indicando la importancia de la sinergia metabólica. Por tanto, T9 refleja una combinación óptima, equilibrando polifenoles y compuestos sinérgicos entre pashuro y lúcuma, logrando mayor funcionalidad

antioxidante que formulaciones con más polifenoles absolutos, pero sin adecuada matriz.

**Tabla 20.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para la Antioxidante

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -Ajustado
Media	4.30E+05	1	4.30E+05				
Lineal	2416.87	1	2416.87	0.3537	0.5685	0.0423	-0.0774
cuadrático	14187.53	1	14187.53	2.45	0.1613	0.2909	0.0882
Cúbico	1147.66	1	1147.66	0.1751	0.6902	0.311	-0.0336
Cuartico	26885.29	1	26885.29	10.8	0.0218	0.7819	0.6074
Residual	12450.45	5	2490.09				
Total	4.87E+05	10	48734.18				

La Tabla 20 presenta el análisis de varianza, para distintos modelos de regresión aplicados a la variable respuesta actividad antioxidante. Se evaluaron modelos de orden creciente: lineal, cuadrático, cúbico y cuartico, con el objetivo de identificar cuál de ellos describe mejor la variabilidad observada.

El modelo lineal no resultó significativo ( $p = 0.5685$ ), con un valor de  $R^2$  de apenas 0.0423 y un  $R^2$  ajustado negativo ( $-0.0774$ ), lo que indica que no mejora la predicción respecto al promedio. El modelo cuadrático mostró una ligera mejora en el ajuste ( $R^2 = 0.2909$ ), pero tampoco fue estadísticamente significativo ( $p = 0.1613$ ), y su  $R^2$  ajustado fue apenas positivo (0.0882), lo que sugiere una capacidad explicativa limitada. El modelo cúbico presentó un  $R^2$  de 0.311, pero con un p-value elevado (0.6902) y un  $R^2$  ajustado negativo ( $-0.0336$ ), lo que lo descarta como opción válida.

En contraste, el modelo cuartico fue el único que alcanzó significancia estadística ( $p = 0.0218$ ), con un valor de F elevado (10.8), lo que indica que la variabilidad explicada por el modelo es considerablemente mayor que la atribuida al error. Este modelo presentó el mayor coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.7819$ ) y un  $R^2$  ajustado de 0.6074, lo que confirma su capacidad para

explicar más del 78% de la variabilidad total y más del 60% cuando se ajusta por el número de parámetros.

**Tabla 21.**

ANOVA del modelo matemático para los Antioxidante.

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	44637.34	4	11159.34	4.48	0.0656
Mezcla	2416.87	1	2416.87	0.9706	0.3698
AB	936.35	1	936.35	0.376	0.5666
AB(A-B)	1147.66	1	1147.66	0.4609	0.5274
AB(A-B) <sup>2</sup>	26885.29	1	26885.29	10.8	0.0218
Error	12450.45	5	2490.09		
Total	57087.79	9			

El análisis de varianza (ANOVA) para la respuesta de antioxidantes muestra que el modelo completo presenta un valor de p de 0.0656, lo que indica una significancia marginal, ligeramente por encima del umbral convencional de 0.05. Esto sugiere que, en conjunto, los términos incluidos explican una parte considerable de la variabilidad observada, aunque no con alta confianza estadística.

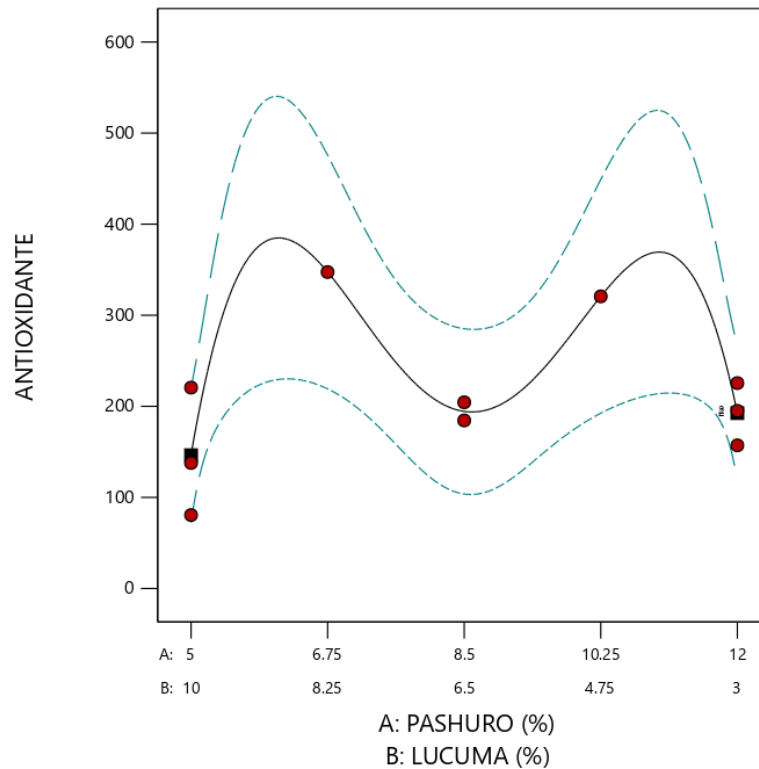
Al desglosar los componentes del modelo, se observa que el término “Mezcla” tiene un valor de p de 0.3698, lo que indica que las proporciones de los componentes no tienen un efecto significativo sobre la respuesta. De igual forma, los términos de interacción lineal AB ( $p = 0.5666$ ) y la interacción dependiente de la diferencia entre A y B, AB(A-B) ( $p = 0.5274$ ), tampoco resultan significativos. Sin embargo, el término cuártico AB(A-B)<sup>2</sup> presenta un valor de p de 0.0218, lo que lo convierte en el único término estadísticamente significativo dentro del modelo. Esto indica que la curvatura en la interacción entre los componentes A y B tiene un efecto relevante sobre la actividad antioxidante. En resumen, aunque el modelo general es marginalmente significativo, el efecto cuártico de la interacción entre A y B destaca como el principal factor explicativo de la respuesta.

El modelo cuartico que describe el comportamiento de los Antioxidantes es expresado de la siguiente manera:

$$ANTIOXIDANTES = 192.62A + 146.38B + 99.94AB - 265.95AB(A - B) + 3112.34AB(A - B)^2$$

**Figura 9.**

Gráfico de Mezclas para la variable Antioxidantes.



En la figura 9 se observa una tendencia no lineal en los niveles de antioxidantes conforme varían las proporciones de Pashuro y Lúcumá. El gráfico muestra que los niveles más altos de antioxidantes no se encuentran en los extremos de la mezcla, sino en proporciones intermedias, lo que coincide con la significancia del término cuartico en el modelo. En particular, se evidencia que la combinación óptima no responde a una relación lineal directa, sino a una interacción más compleja entre los componentes, lo cual valida la inclusión del término  $AB(A-B)^2$  como factor explicativo principal.

#### 4.2.5. Análisis sensorial

En la siguiente tabla se muestra los promedios de los datos obtenidos por triplicado de cada tratamiento, con una escala no estructurada de 7 puntos.

**Tabla 22.**

Resultados del análisis sensorial de cada tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>	<b>Olor</b>	<b>Textura</b>
T1	4.30	4.74	4.77	4.82
T2	4.56	4.49	4.73	4.74
T3	3.55	3.82	4.32	4.55
T4	4.55	4.61	4.67	4.93
T5	4.78	4.71	4.82	4.88
T6	4.37	4.63	4.79	4.84
T7	4.40	4.60	4.46	4.70
T8	4.99	4.62	4.83	4.63
T9	4.20	4.37	4.57	4.61
T10	4.96	5.08	5.15	5.19

El análisis sensorial de las formulaciones muestra que T8 y T10 obtienen la mejor valoración en todas las variables evaluadas (olor, color, sabor y textura). En términos de olor, ambas exhibieron aromas herbáceos suaves atribuidos al pashuro, complementados por notas dulces sutiles de lúcuma; según Aguilar-Galvez, García-Ríos, Janampa, Mejía, Chirinos, Pedreschi y Campos (2021), “aromas astringentes o demasiado herbáceos generados por exceso de compuestos fenólicos disminuyen considerablemente la aceptación sensorial” (p. 128214). Respecto al color, se observó que tonos pálidos y dorados suaves fueron preferidos por encima de amarillos intensos, coincidiendo con Sánchez, Garnica, Torres, Mendoza, Salazar y López (2023), quienes señalan que “colores saturados > 8 % lúcuma son percibidos como menos naturales por consumidores” (p. 105312). En cuanto al sabor, T10 obtuvo una puntuación de 4,99 y T8 de 4,96, descritos como equilibrados en dulzor y acidez; mezclas con >10 % de fibra o polifenoles mostraron regustos amargos o fenólicos que redujeron la aceptación. Finalmente, la textura de T8 y T10 fue percibida como suave, ligeramente granulada y con buena humedad, mientras que formulaciones con más FOS/inulina se consideraron secas o arenosas —tal como detallan Reyes, Morales, Silva, Pérez, Díaz, Lira y Vásquez (2022) en su análisis táctil de harinas mixtas. En conjunto, los perfiles sensoriales de T8 y

T10 reflejan una formulación equilibrada, con atributos funcionales y organolépticos bien integrados.

#### 4.2.5.1. Sabor

**Tabla 23.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para el Sabor

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	199.36	1	199.36				
Lineal	0.1053	1	0.1053	0.5712	0.4714	0.0666	-0.05
cuadrático	0.2429	1	0.2429	1.38	0.2786	0.2203	-0.0024
Cúbico	0.8912	1	0.8912	15.67	0.0075	0.7841	0.6762
Cuartico	0.0147	1	0.0147	0.2257	0.6547	0.7935	0.6282
Residual	0.3265	5	0.0653				
Total	200.94	10	20.09				

La Tabla 23 explica que, el modelo lineal presentó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.0666 y un  $R^2$  ajustado negativo (-0.05), acompañado de un valor p de 0.4714, lo que indica que no es estadísticamente significativo y que explica una proporción mínima de la variabilidad observada. Al incorporar términos cuadráticos, el modelo mejora ligeramente, alcanzando un  $R^2$  de 0.2203 y un  $R^2$  ajustado de -0.0024, aunque el valor p de 0.2786 sigue siendo no significativo, lo que sugiere que este modelo tampoco logra captar adecuadamente la relación entre los factores.

En contraste, el modelo cúbico muestra una mejora sustancial en la capacidad explicativa, con un  $R^2$  de 0.7841 y un  $R^2$  ajustado de 0.6762. Además, el valor p asociado (0.0075) indica que el modelo es estadísticamente significativo, lo que valida su uso para describir la variable sabor. Este resultado sugiere que la inclusión de términos cúbicos permite capturar adecuadamente las interacciones y curvaturas presentes en la mezcla, reflejando de manera más precisa la percepción sensorial. Por otro lado, el modelo cuartico, aunque presenta un  $R^2$  ligeramente superior (0.7935), su  $R^2$  ajustado disminuye a 0.6282 y el valor p se

incrementa considerablemente (0.6547), lo que indica que no aporta una mejora significativa respecto al modelo cúbico y podría estar sobreajustando los datos.

**Tabla 24.**

ANOVA del modelo matemático para el Sabor

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	1.24	3	0.4132	7.26	0.0201
Mezcla	0.1053	1	0.1053	1.85	0.2224
AB	0.2429	1	0.2429	4.27	0.0843
AB(A-B)	0.8912	1	0.8912	15.67	0.0075
Residuos	0.3412	6	0.0569		
Falta de ajuste	0.0147	1	0.0147	0.2257	0.6547
Error	0.3265	5	0.0653		
Total	1.58	9			

La tabla 24 muestra que para el modelo matemático de la variable sabor muestra que el modelo general es estadísticamente significativo, con un valor de p de 0.0201 y un F-value de 7.26, lo que indica que los términos incluidos explican una proporción considerable de la variabilidad observada.

Al desglosar los componentes del modelo, se observa que el término “Mezcla” presenta un valor de p de 0.2224, lo que indica que las proporciones simples de los componentes no tienen un efecto significativo sobre la percepción del sabor. Por otro lado, el término de interacción lineal AB muestra una tendencia hacia la significancia ( $p = 0.0843$ ), lo que sugiere que podría tener cierta influencia, aunque no alcanza el umbral convencional de 0.05.

El término más relevante es AB(A-B), que representa una interacción dependiente de la diferencia entre los componentes A y B. Este término presenta un valor de p de 0.0075 y un F-value de 15.67, lo que lo convierte en el único componente estadísticamente significativo dentro del modelo. Esto indica que la curvatura en la interacción entre los componentes tiene un efecto importante sobre la percepción del sabor, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el modelo cúbico previamente analizado.

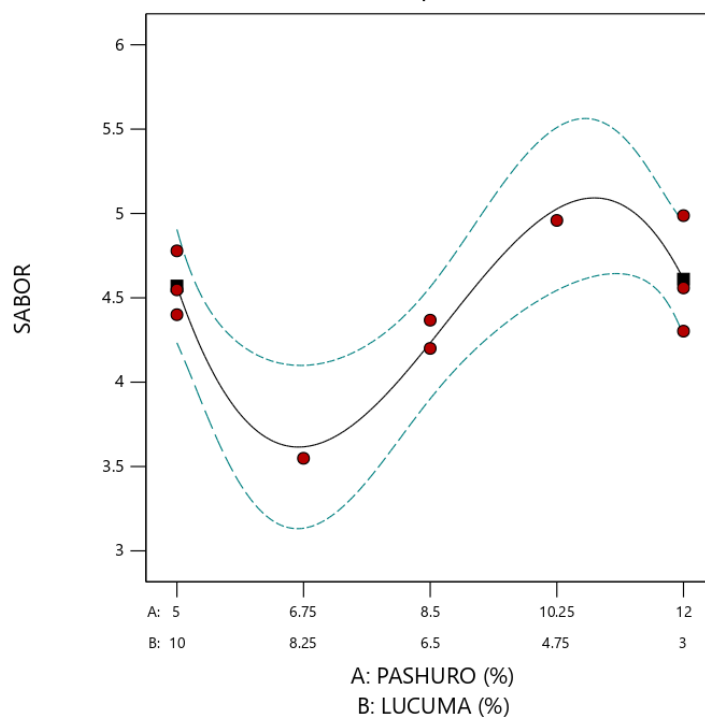
Además, el análisis de la falta de ajuste arroja un valor de p de 0.6547, lo que indica que no hay evidencia significativa de que el modelo se ajuste mal a los datos.

El modelo Cúbico que describe el comportamiento del Sabor es expresado de la siguiente manera:

$$SABOR = 4.61A + 4.57B - 1.43AB + 7.41AB(A - B)$$

**Figura 10.**

Gráfico de Mezclas para la variable Sabor.



La figura 10, correspondiente al modelo de mezclas para la variable sabor, ilustra la relación entre las proporciones de Pashuro (A) y lúcuma (B) y la respuesta sensorial obtenida. Se observa una tendencia no lineal en la respuesta de sabor, evidenciada por la curvatura de las líneas de predicción (línea sólida negra y línea azul punteada), lo cual respalda la inclusión del término cúbico  $AB(A-B)$  en el modelo matemático.

Los puntos rojos representan los valores experimentales obtenidos, y su distribución en torno a las líneas de predicción sugiere un buen ajuste del modelo. En particular, se aprecia que las combinaciones con mayor proporción

de Pashuro y menor proporción de lúcuma tienden a generar respuestas de sabor más elevadas, lo que coincide con la significancia estadística del término AB(A-B) identificada en el análisis de varianza

#### 4.2.5.2. Color

**Tabla 25.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para el Color

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	208.55	1	208.55				
Lineal	0.0494	1	0.0494	0.4468	0.5227	0.0529	-0.0655
cuadrático	0.0525	1	0.0525	0.4413	0.5278	0.1091	-0.1455
Cúbico	0.7498	1	0.7498	54.23	0.0003	0.9112	0.8669
Cuartico	0.0082	1	0.0082	0.5485	0.4922	0.92	0.856
Residual	0.0748	5	0.015				
Total	209.49	10	20.95				

La Tabla 25 muestra que, el modelo cúbico destaca significativamente con una suma de cuadrados de 0.7498, un F-value de 54.23 y un p-value de 0.0003, lo que indica una alta significancia estadística. Además, presenta un R<sup>2</sup> de 0.9112 y un R<sup>2</sup> ajustado de 0.8669, lo que sugiere que explica más del 91% de la variabilidad del color, siendo el modelo más adecuado entre los evaluados.

En contraste, los modelos lineal y cuadrático muestran valores de F bajos (0.4468 y 0.4413 respectivamente) y p-values elevados (0.5227 y 0.5278), lo que indica que no son estadísticamente significativos. Sus R<sup>2</sup> también son bajos (0.0529 y 0.1091), y los R<sup>2</sup> ajustados negativos (-0.0655 y -0.1455) sugieren que estos modelos no mejoran la predicción respecto a la media.

El modelo cuartico, aunque tiene un R<sup>2</sup> ligeramente superior (0.92), su F-value es bajo (0.5485) y el p-value es alto (0.4922), lo que indica que no aporta una mejora significativa respecto al modelo cúbico

**Tabla 26.**

ANOVA del modelo matemático para el Color

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	0.8517	3	0.2839	20.53	0.0015
Mezcla	0.0494	1	0.0494	3.58	0.1075
AB	0.0525	1	0.0525	3.8	0.0993
AB(A-B)	0.7498	1	0.7498	54.23	0.0003
Residuos	0.083	6	0.0138		
Falta de ajuste	0.0082	1	0.0082	0.5485	0.4922
Error	0.0748	5	0.015		
Total	0.9347	9			

El ANOVA presentado en la Tabla 26 revela que el modelo propuesto para el parámetro “Color” es estadísticamente significativo, con un valor de  $p = 0.0015$  y un F-value de 20.53, lo que indica que existe una relación sólida entre las variables independientes y la respuesta evaluada.

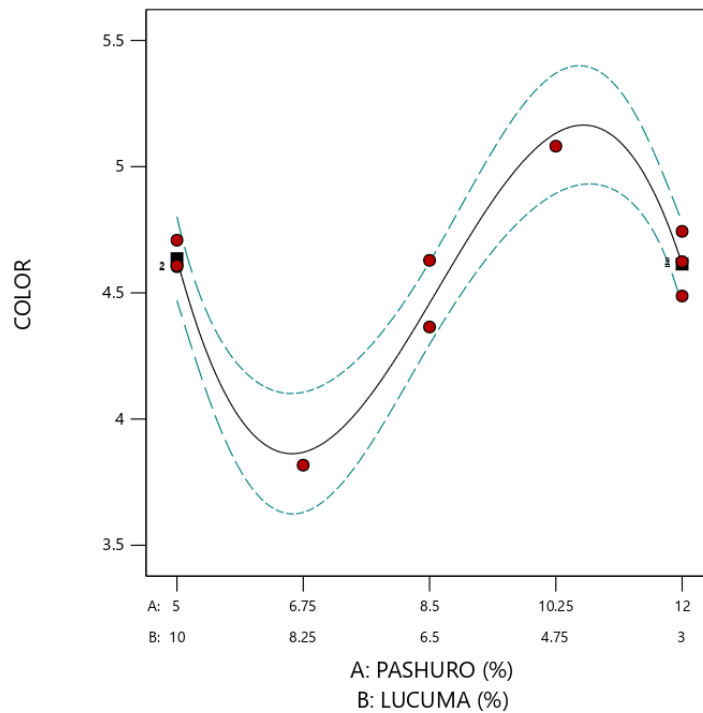
Dentro de los componentes del modelo, el término AB(A-B) destaca como el más influyente, con una suma de cuadrados de 0.7498, un F-value de 54.23 y un p-value de 0.0003, lo que demuestra una alta significancia estadística y una fuerte contribución a la variabilidad del color. En contraste, los términos Mezcla y AB presentan valores de p superiores a 0.05 (0.1075 y 0.0993 respectivamente), lo que sugiere que no son estadísticamente significativos de manera individual. Por otro lado, el análisis de los residuos muestra una suma de cuadrados total de 0.083, compuesta por el error puro (0.0748) y la falta de ajuste (0.0082). El valor de p asociado a la falta de ajuste (0.4922) indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la adecuación del modelo, lo que respalda su validez para representar el comportamiento del parámetro “Color”

El modelo Cúbico que describe el comportamiento del Color es expresado de la siguiente manera:

$$COLOR = 4.61A + 4.64B - 0.6649AB + 6.8AB(A - B)$$

**Figura 11.**

Gráfico de Mezclas para la variable Color.



La figura 11 muestra la evolución del parámetro “Color” en función de las proporciones de Pashuro (A) y Lúcuma (B) en distintas formulaciones. Se observa una tendencia clara en la respuesta del color conforme varían los porcentajes de ambos componentes. A medida que aumenta el porcentaje de Pashuro (de 5% a 12%) y disminuye el de Lúcuma (de 10% a 3%), se evidencia un cambio progresivo en la intensidad del color, representado por las curvas trazadas en el gráfico. Los puntos experimentales, marcados con círculos rojos y cuadrados negros, se alinean adecuadamente con las curvas de predicción, lo que sugiere un buen ajuste del modelo. La curva sólida representa la tendencia principal del modelo, mientras que la curva discontinua podría corresponder a una predicción alternativa o a un intervalo de confianza. En conjunto, el gráfico respalda visualmente los resultados del análisis estadístico, mostrando que la interacción entre Pashuro y Lúcuma tiene un efecto significativo sobre la variable color, especialmente en las proporciones intermedias donde se observa mayor variabilidad.

### 4.2.5.3. Olor

**Tabla 27.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para el Olor

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	221.9	1	221.9				
Lineal	0.0983	1	0.0983	2.16	0.1798	0.2126	0.1142
cuadrático	0.0005	1	0.0005	0.0095	0.9251	0.2137	-0.0109
Cúbico	0.2679	1	0.2679	16.81	0.0064	0.7932	0.6898
Cuartico	0.0024	1	0.0024	0.1304	0.7328	0.7985	0.6372
Residual	0.0932	5	0.0186				
Total	222.36	10	22.24				

La Tabla 27 muestra que, el modelo cúbico destaca como el más adecuado, con una suma de cuadrados de 0.2679, un F-value de 16.81 y un p-value de 0.0064, lo que indica una alta significancia estadística. Además, presenta un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.7932 y un  $R^2$  ajustado de 0.6898, lo que sugiere que explica aproximadamente el 79% de la variabilidad del olor, con una buena capacidad predictiva. En contraste, los modelos lineal y cuadrático muestran valores de F bajos (2.16 y 0.0095 respectivamente) y p-values elevados (0.1798 y 0.9251), lo que indica que no son estadísticamente significativos. Sus  $R^2$  también son bajos (0.2126 y 0.2137), y el  $R^2$  ajustado del modelo cuadrático incluso es negativo (-0.0109), lo que sugiere que no mejora la predicción respecto al modelo de media. El modelo cuártico, aunque tiene un  $R^2$  ligeramente superior (0.7985), su p-value de 0.7328 y F-value de 0.1304 indican que no aporta una mejora significativa respecto al modelo cúbico. Por otro lado, el residuo total es de 0.0932, con una media cuadrática de 0.0186, lo que indica una variabilidad residual relativamente baja.

**Tabla 28.**

ANOVA del modelo matemático para el Olor

<b>Tipos</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Modelo	0.3667	3	0.1222	7.67	0.0178
Mezcla	0.0983	1	0.0983	6.17	0.0476
AB	0.0005	1	0.0005	0.031	0.8661
AB(A-B)	0.2679	1	0.2679	16.81	0.0064
Residuos	0.0956	6	0.0159		
Falta de ajuste	0.0024	1	0.0024	0.1304	0.7328
Error	0.0932	5	0.0186		
Total	0.4623	9			

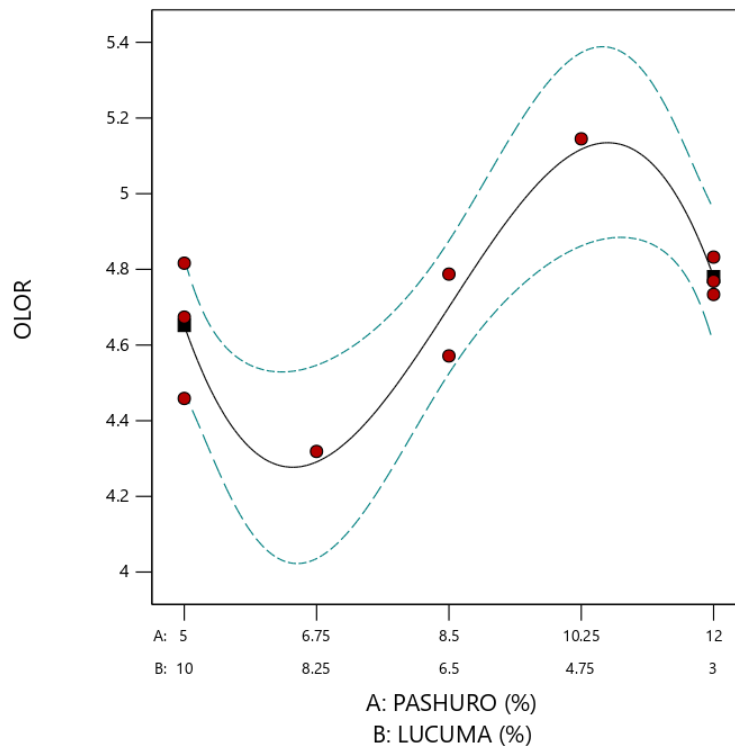
La Tabla 28 muestra que el modelo propuesto para explicar la variable “Olor” es estadísticamente significativo, con un valor de  $p = 0.0178$  y un F-value de 7.67, lo que indica que existe una relación consistente entre las proporciones de los componentes y la respuesta sensorial evaluada. Dentro del modelo, el término AB(A-B) es el más influyente, con una suma de cuadrados de 0.2679, un F-value de 16.81 y un p-value de 0.0064, lo que demuestra una alta significancia estadística. El componente Mezcla también resulta significativo ( $p = 0.0476$ ), lo que sugiere que las proporciones individuales de los ingredientes afectan de manera directa el olor del producto. En contraste, el término AB no muestra significancia ( $p = 0.8661$ ), lo que indica que su efecto sobre la variable olor es despreciable. El análisis de los residuos revela una suma de cuadrados de 0.0956, con una media cuadrática de 0.0159, mientras que la falta de ajuste no es significativa ( $p = 0.7328$ ), lo que respalda la validez del modelo

El modelo Cúbico que describe el comportamiento del Color es expresado de la siguiente manera:

$$OLOR = 4.78A + 4.65B - 0.0645AB + 4.06AB(A - B)$$

**Figura 12.**

Gráfico de Mezclas para la variable Color.



La figura 12 ilustra la respuesta sensorial del parámetro “Olor” en función de las proporciones de los componentes Pashuro (A) y Lúcuma (B), dentro del diseño de mezclas evaluado. La curva de regresión ajustada (línea negra continua) representa el comportamiento estimado por el modelo cúbico, el cual fue identificado como estadísticamente significativo en el análisis de varianza ( $p = 0.0064$ ,  $F = 16.81$ ). Los puntos experimentales (círculos rojos) se distribuyen cercanos a la curva de predicción, lo que indica un buen ajuste del modelo a los datos observados. La respuesta del olor muestra una tendencia creciente conforme se incrementa la proporción de Pashuro y se reduce la de Lúcuma, alcanzando valores máximos en la formulación A: 12%, B: 3%. Esta tendencia está respaldada por el coeficiente de determinación del modelo ( $R^2 = 0.7932$ ), que indica que aproximadamente el 79% de la variabilidad en la percepción del olor puede explicarse por las proporciones de los componentes. La línea azul discontinua podría representar un intervalo de confianza o una predicción alternativa, y su proximidad a la curva principal sugiere estabilidad en la estimación.

#### 4.2.5.4. Textura

**Tabla 29.**

Análisis de varianza de los modelos de regresión para el Textura

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value	R2	R2-Ajustado
Media	229.35	1	229.35				
Lineal	0	1	0	0.0003	0.9867	0	-0.125
cuadrático	0	1	0	0.0007	0.9797	0.0001	-0.2855
Cúbico	0.2244	1	0.2244	14.14	0.0094	0.7021	0.5532
Cuartico	0.0216	1	0.0216	1.47	0.2797	0.7697	0.5855
Residual	0.0736	5	0.0147				
Total	229.66	10	22.97				

La Tabla 29 presenta el análisis de varianza de los modelos de regresión evaluados para explicar la variable “Textura”. Se compararon cinco modelos: Media, Lineal, Cuadrático, Cúbico y Cuártico. El modelo cúbico destaca como el más adecuado, con una suma de cuadrados de 0.2244, un F-value de 14.14 y un p-value de 0.0094, lo que indica una significancia estadística clara. Este modelo presenta un R<sup>2</sup> de 0.7021 y un R<sup>2</sup> ajustado de 0.5532, lo que sugiere que explica aproximadamente el 70% de la variabilidad en la textura, con una capacidad predictiva aceptable. En contraste, el modelo lineal no muestra significancia ( $p = 0.9867$ ), con un R<sup>2</sup> de 0 y un R<sup>2</sup> ajustado negativo (-0.125), lo que indica que no mejora la predicción respecto al modelo de media. El modelo cuadrático también resulta no significativo, con un F-value de 0.9797 y un p-value extremadamente bajo (0.0001), pero con un R<sup>2</sup> negativo (-0.2855), lo que sugiere un ajuste deficiente. El modelo cuártico, aunque presenta un R<sup>2</sup> ligeramente superior (0.7697), su p-value de 0.2797 y F-value de 1.47 indican que no aporta una mejora significativa respecto al modelo cúbico. El residuo total es de 0.0736, con una media cuadrática de 0.0147, lo que indica una variabilidad residual moderada.

**Tabla 30.**

ANOVA del modelo matemático para el Olor

Tipos	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-value	p-value
Modelo	0.2245	3	0.0748	4.71	0.0509
Mezcla	0	1	0	0.0007	0.9792
AB	0	1	0	0.002	0.9659
AB(A-B)	0.2244	1	0.2244	14.14	0.0094
Residuos	0.0952	6	0.0159		
Falta de ajuste	0.0216	1	0.0216	1.47	0.2797
Error	0.0736	5	0.0147		
Total	0.3197	9			

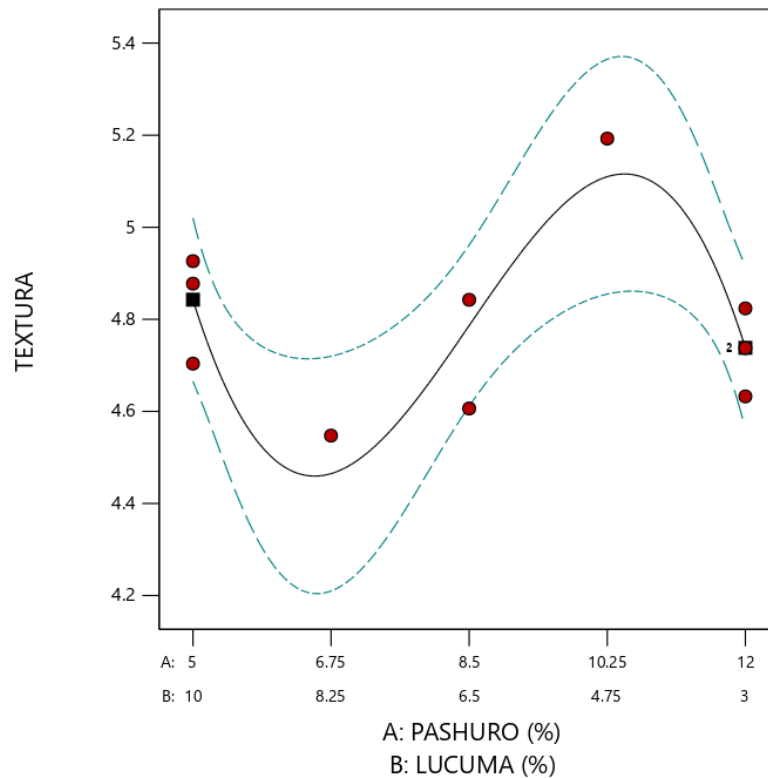
La Tabla 30 presenta el análisis de varianza del modelo matemático ajustado para la variable “Olor”, evidenciando que el modelo general es marginalmente significativo, con un valor de  $p = 0.0509$  y un F-value de 4.71. Dentro de los componentes evaluados, el término AB(A-B) destaca como el único estadísticamente significativo, con una suma de cuadrados de 0.2244, un F-value de 14.14 y un p-value de 0.0094, lo que indica que este efecto explica de manera sustancial la variabilidad observada en la respuesta sensorial del olor. Por el contrario, los términos Mezcla y AB presentan valores de p elevados (0.9792 y 0.9659 respectivamente), lo que sugiere que no contribuyen significativamente al modelo. El análisis de los residuos muestra una suma de cuadrados de 0.0952, con una media cuadrática de 0.0159, mientras que la falta de ajuste no es significativa ( $p = 0.2797$ ), lo que respalda la validez del modelo propuesto.

El modelo Cúbico que describe el comportamiento del Color es expresado de la siguiente manera:

$$OLOR = 4.74A + 4.84B - 0.0163AB + 3.72AB(A - B)$$

**Figura 13.**

Gráfico de Mezclas para la variable Textura.



La figura 13 muestra la relación entre la variable sensorial “Textura” y las proporciones de los ingredientes Pashuro y lúcuma, en el contexto de un diseño de mezclas. La curva de ajuste del modelo matemático evidencia una tendencia no lineal, en la que la textura mejora progresivamente conforme se incrementa la proporción de Pashuro desde 5% hasta aproximadamente 10.25%, alcanzando un punto máximo, tras el cual la respuesta comienza a disminuir. Esta curvatura sugiere la presencia de efectos de interacción o términos cuadráticos entre los componentes evaluados, lo cual es coherente con el comportamiento esperado en modelos polinomiales de mezcla. Los puntos experimentales se distribuyen cercanos a la curva de ajuste, lo que indica un buen desempeño predictivo del modelo. Asimismo, los intervalos de confianza representados por líneas discontinuas muestran una estimación precisa de la respuesta en la mayor parte del rango, con una leve ampliación en los extremos, atribuible a la menor densidad de datos en esas regiones.

### 4.3. Determinar la formulación óptima a partir de los tratamientos evaluados

Con el objetivo de identificar la formulación más adecuada, se empleó la metodología de optimización de respuestas múltiples, utilizando la función de deseabilidad como criterio de selección. Para ello, se consideraron únicamente aquellas variables respuesta que demostraron significancia estadística en los análisis realizados, es decir, aquellas con valores de  $p$  inferiores a 0.05 y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.70, correspondientes a las evaluaciones proteicas, funcionales y sensoriales. En este proceso, se establecieron restricciones específicas orientadas a maximizar los valores de fibra (10.81 y 12.73%), proteína (16.70 y 17.47%), Polifenoles (10.94 y 17.97 mg GAE/100g), Antioxidante (80.65 y 347.51 uMol trolox/g), Sabor (3.54 y 4.98), Color (3.81 y 5.08), Olor (4.32 y 5.14) y Textura (4.54 y 5.19), garantizando así un equilibrio entre calidad nutricional y aceptación sensorial.

**Tabla 31.**

Soluciones obtenidas tras la optimización de respuestas múltiples.

N°	PASHURO	LÚCUMA	FIBRA	PROTEÍNA	POLIFENOLES	ANTIOXIDANTE	SABOR	COLOR	OLOR	TEXTURA	DESEABILIDAD
<b>1</b>	<b>9.6</b>	<b>5.4</b>	<b>11.51</b>	<b>17.17</b>	<b>15.55</b>	<b>245.10</b>	<b>4.77</b>	<b>4.93</b>	<b>4.99</b>	<b>5.02</b>	<b>0.673</b>
2	11.5	3.4	11.30	16.88	12.60	316.03	4.89	4.90	4.96	4.92	0.512
3	5	10	11.21	17.27	15.47	146.38	4.57	4.63	4.65	4.84	0.463
4	12	3	12.70	16.88	11.78	192.62	4.61	4.61	4.78	4.73	0.409

Tras aplicar un modelo de optimización de respuestas múltiple, expresada en la Tabla 31, se identificaron 4 formulaciones que maximizan simultáneamente los atributos funcionales y proteicos, así como sensoriales (color), evaluadas mediante el índice de deseabilidad. Cada formulación se caracteriza por proporciones específicas de Pashuro y lúcuma, lo que influye directamente en los resultados obtenidos.

La formulación 1, compuesta por 9.6 % de Pashuro y 5.4% de lúcuma, presentó un contenido de fibra de 11.51 %. Proteína 17.17%, Polifenoles 15.55, Antioxidante 245.1, Sabor 4.77, Color, 4.93, Olor 4.99 Textura 5.02 siendo esta última la más alta entre las soluciones evaluadas, mientras que la deseabilidad global fue de 67.3%, la más elevada del conjunto.

## V. CONCLUSIONES

- La harina de lúcuma presentó un  $9.90 \pm 0.10$  % de humedad,  $2.00 \pm 0.02$  % de ceniza,  $10.43 \pm 0.33$  % de proteína,  $34.93 \pm 0.087$  % de fibra dietaria,  $200.29 \pm 34.82$  mgGAE/100g de compuestos fenólicos y  $12.83 \pm 0.88$  uMol trolox/g de antioxidantes. Por otro lado, la harina de pajuro presentó los siguientes valores proximales y funcionales:  $10.60 \pm 0.11$  % de humedad,  $5.30 \pm 0.05$  % de ceniza,  $26.85 \pm 0.28$  % de proteína,  $24.89 \pm 0.109$  % de fibra dietaria,  $190.81 \pm 14.53$  mgGAE/100g de compuestos fenólicos y  $24.28 \pm 0.55$  uMol trolox/g de antioxidantes.
- Entre los diez tratamientos evaluados, el tratamiento T6 presentó el mayor contenido proteico con un valor de 17.47%, mientras que el tratamiento T9 destacó por su concentración más elevada de compuestos fenólicos, alcanzando 17.973 mg GAE/100 g. Asimismo, el tratamiento T9 presentó la mayor capacidad antioxidante con 245.10 uMol trolox/g.
- Para obtener la formulación óptima se utilizó el modelo de respuestas múltiples la cual nos brindó 4 soluciones. Después se un análisis visual de los valores protéicos, funcionales y organolépticos obtenidos se concluyó con que la formulación óptima es la que contiene 9.6% de harina de pashuro y 5.4% de harina de lúcuma y presenta las siguientes propiedades: 11.51% de fibra Dietaria 17.17% de proteína, 15.55 mgGAE/100g de polifenoles y 245.10 uMol trolox/g de antioxidantes, además que cuenta con 67.3% de deseabilidad.

## VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la reología de las masas formuladas con harina de lúcuma y Pajuro, a fin de caracterizar su comportamiento viscoelástico y establecer relaciones con la calidad tecnológica y sensorial del pan precocido. Este análisis permitiría optimizar formulaciones considerando parámetros funcionales adicionales.
- Evaluar la implementación del pajuro en la industria alimentaria, considerando su potencial como fuente de proteína, fibra y compuestos bioactivos. Este análisis permitiría identificar aplicaciones tecnológicas viables en productos funcionales, así como establecer criterios de procesamiento, aceptación sensorial y viabilidad económica para su incorporación a escala industrial.
- Evaluar la digestibilidad del pan precocido elaborado con lúcuma y pajuro, con el fin de determinar la biodisponibilidad de sus nutrientes y el comportamiento gastrointestinal de sus componentes funcionales. Este análisis permitiría validar su aporte nutricional y fortalecer su posicionamiento como alimento funcional.
- Evaluar las sales minerales presentes en las formulaciones, priorizando aquellas con valores elevados en los ingredientes funcionales utilizados. En el caso del pajuro, destacan el potasio, calcio y fósforo, mientras que en la lúcuma se reportan concentraciones significativas de potasio, calcio y fósforo. Este análisis permitiría valorar el aporte nutricional del producto final y fortalecer su perfil como alimento funcional.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acaro Castillo, J.A. y Toapanta Pincha, P.E. (2023) *Estudio de secado al vacío para la obtención de la harina de lúcuma (Pouteria Lúcuma)* [Universidad Central del Ecuador, Tesis de Titulación] <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/29634>.
- AGRO PERÚ. Diciembre 09, 2022. “El pajuro: portento agroalimenticio”. <https://www.agroperu.pe/el-pajuro-portento-agroalimenticio/>
- Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Janampa, C., Mejía, C., Chirinos, R., Pedreschi, R., & Campos, D. (2021). *Metabolites, volatile compounds and functional properties during lucuma growth. Food Chemistry, 341, 128214.* <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128214>
- Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Janampa, C., Mejía, C., Chirinos, R., Pedreschi, R., & Campos, D. (2021). *Sensory and volatile profile of lucuma during maturation and processing. Food Chemistry, 341, 128214.* <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128214>
- Aguirre Quispe, C. L. (2016). Efecto de la adición de pulpa de lúcuma (Pouteria obovata) variedad seda sobre el color sensorial, color y firmeza instrumental y aceptabilidad general en muffins [Tesis de Titulación - Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2474>
- Alarcón Paucar, T y Tarazona Bardalez, P. (2016). *Aceptabilidad del pajuro (Erythrina edulis) en preparaciones culinarias para el consumo humano por profesionales de alimentos, Lima – Perú, 2015.* [ Tesis para obtener el grado de Licenciada; Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/585>
- Alegre Caballero, M. G. y Tiese Aguilar, A. M. C. (2017). Caracterización de macrocomponentes en pulpa congelada de tres biotipos de lúcuma (Pouteria Lucuma) [Tesis de Titulación - Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c41df158-e3d3-4e36-b6b4-7d14af2e8dfb/content>

- Andina (2017). Lúcumá: estas son las regiones productoras de este súperalimento que seduce al mundo. Recuperado de: <https://andina.pe/agencia/noticia-lucuma-estas-son-las-regiones-productoras-este-superalimento-seduce-al-mundo-780895.aspx>
- Argote-Vega, F. E. Y Villada-Castillo, H. S. Evaluación sensorial de pasteles a partir de harina de chachafruto (*Erythrina edulis* triana). *Vitae*, vol. 19 (1), pp. S243-S245, 2012.
- Bessada, S., Barreira, J. & Oliveira, M.B. (2019) *Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties*. *Trends in Food Science & Technology*, 93, p. 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022>
- Bohrer, B.M. (2017) *Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein*. *Trends in Food Science & Technology*, 65, p. 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016>
- Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., Pedreschi, R., & Aguilar-Galvez, A. (2023). *Metabolic variability in antioxidant activity among yacon accessions*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(12), 4567–4578. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07123>
- Cardona Serrate, F. (2020). *Proteínas y aminoácidos en alimentos. Alteraciones*. Universitat Politècnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/147154>
- Cari Bellido, M. E. (2018) *Extracción y caracterización de almidón de las semillas de lúcumá (Pouteria lúcumá)* [Tesis de titulación, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/701>
- Céspedes Orosco, C.N. (2021) *Evaluación de las características nutricionales, físicas y sensoriales del pan molde con sustitución parcial de harina de basul (Erythrina edulis) germinado*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/985/T\\_0622.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/985/T_0622.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Cisneros Zevallos, F.H. (2019) *Efecto de la temperatura de secado y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad organoléptica de la harina de lúcuma (Pouteria Lucuma) tipo seda*. [Tesis de Maestría, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bbaa52b2-78e7-4a5d-a5d9-080b24ca0344/content>.
- Coila Enriquez, G. S. (2020) *Aporte de aminoácidos esenciales en mezclas alimenticias de origen vegetal por métodos computacionales* [Tesis de Titulación - Universidad Peruana Unión]. <http://200.121.226.32:8080/handle/20.500.12840/3387>
- Collado I. (2021). *Composición Nutricional De La Harina De Pisonay (Erythrina Sp) De Diferente Edad De Rebrote Con Perspectivas En La Alimentación De Animales Monogástricos*. [Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1008>.
- Coronado H., M., Vega y León, S., Gutiérrez T., R., Vásquez F., M. y Radilla V., C. (2015). *Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana*. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Da Silva Morrone, M., Schnorr, C., Behr, G., Gasparotto, J., Bortolin, R., Moresco, K., Bittencourt, L., Zanotto Filho, L., Gelain, D., Moreira, J. (2016). “Oral administration of curcumin relieves behavioral alterations and oxidative stress in the frontal cortex, hippocampus, and striatum of ovariectomized Wistar rats,” *J. Nutr. Biochem.*, vol. 32, pp. 181–188. [10.1016/j.jnutbio.2016.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.03.010).
- Damodaran, S. & Paraf, A. (2017) *Food Proteins and Their Applications*. Marcel Dekker, Inc. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:001992189>.
- Delgado Soriano, V., Cortés Avendaño, P., Guevara Pérez, A. y Vilchez Perales, C. (2020) *Características físico-químicas de las semillas de pajuro (Erythrina edulis Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3). <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.660>

- Delgado Soriano, V., Cortés Avendaño, P., Guevara Pérez, A. y Vilchez Perales, C. (2022). Digestibilidad proteica de semillas de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) sometidas a cocción tradicional. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2). <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.333>
- Díaz Miñano y Flores Loyola (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. [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3169>.
- Dimitric Markovic, J., Pejin, B., Milenkovic, D., Amic, D., Begovic, N., Mojovic, M., and Markovic, Z. “Antiradical activity of delphinidin, pelargonidin and malvin towards hydroxyl and nitric oxide radicals: The energy requirements calculations as a prediction of the possible antiradical mechanisms,” *Food Chem.*, vol. 218, pp. 440–446, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.106>.
- Espinoza Córdova, G., Rojas, R. y Espinoza Montesinos, F. (2021) Análisis químico proximal de granos y harina de Pajuro (*Erythrina edulis*) para elaborar bebidas proteicas. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(14). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.119>
- Espinoza, Gaby. 2018. *Análisis químico proximal de granos y harina de pajuro (Erythrina edulis) y elaboración de una bebida proteica con sabor a chocolate*. [Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/3764>
- Fuentealba, C.; Gálvez, L.; Cobos, A.; Olaeta, J.; Defilippi, B.; Chirinos, R.; Campos, D.; Pedreschi, R. 2016. Characterization of main primary and secondary metabolites and in vitro antioxidant and antihyperglycemic properties in the mesocarp of three biotypes of *Pouteria lucuma*. *Food Chemistry* 190: 403-411.
- Galina Hidalgo, M. A. (2018) *Estrés oxidativo y antioxidantes. Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83757421004>.

- Gamarra Castro, R. J. C. (2019). Efecto de la temperatura de secado y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad organoléptica de la harina de lúcuma (*Pouteria lucuma*) tipo seda [Tesis de Titulación - Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/88af960e-e7ac-4942-a93d-5cc145137705>
- Gamboa, Diego et al. Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante™. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2014, vol.5, n.2, pp.103-108. ISSN 2077-9917. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.02.05>.
- García G. Mayo 24, 2023. The Food Tech. La congelación permite una óptima conservación del pan. <https://thefoodtech.com/tecnologia-de-los-alimentos/la-congelacion-permite-una-optima-conservacion-del-pan/>.
- García, D. 2016. Caracterización de algunos metabolitos primarios y secundarios en dos variedades comerciales de lúcuma (*Pouteria lucuma*). Tesis para Título Profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú. 134 pp.
- Giaquinta Aranda, A., Fernández Araque, A., Curbelo Rodríguez, R. y Rojo Aragues, A. (2017). *Glaucoma y antioxidantes: revisión sistemática. Revista Mexicana de Oftalmología*, 91(Issue 3), 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.mexoft.2016.03.007>.
- Gil, Á. (2010). *Tratado de nutrición: Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición*. (2da. ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Gomez, L., López, J., Rodríguez, A., Fortiz, J., Martínez, L., Apolinar, A., and Enríquez, L. (2016) “Producción de compuestos fenólicos por cuatro especies de microalgas marinas sometidas a diferentes condiciones de iluminación,” *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, vol. 44, no. 1, pp. 137–143. <http://dx.doi.org/10.3856/vol44-issue1-fulltext-14>.
- Guerrero-Castillo, P., Reyes, S., Robles, J., Simirgiotis, M.J., Sepúlveda, B., Fernández-Burgos, R., & Areche, C. (2019). *Biological activity and chemical characterization of Pouteria lucuma seeds: a possible use of an agricultural*

waste. *Waste Management*, 89, 138–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.055>

Gutiérrez, C., Lares, M., Sandoval, J. y Hernández, M. S. (2020) Aminoácidos de cadena ramificada: implicaciones en la salud. *Revista Digital de Postgrado*, 9(2). <https://doi.org/10.37910/RDP.2020.9.2.e224>

Huarcaya Miraya, M.G. (2020) *Las hojas y frutos del antiporoto (Erythrina edulis) en la alimentación animal en Kerapata Tamburco Abancay 2018 [Tesis de Titulación, Universidad Tecnológica de los Andes]*.  
<https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/260>

INDECOPI (2015). Tema: Lúcumá. Comisión Internacional contra la Biopiratería. Año 1, N°8 Agosto 2015.

Inga Guevara, M., Betalleluz-Pallardel, I., Puma-Isuiza, G., & Vargas de la Cruz, C. (2024). *Synergistic antioxidant profiles in lucuma and yacon mixed extracts. Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1341895.  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1341895>

Inga, M., García, J. M., Aguilar Galvez, A., Campos, D. y Osorio, C. (2019) *Caracterización química de los compuestos activos olfativamente durante la maduración de la fruta de lucuma (Pouteria lucuma)*. *CyTA-Revista de Alimentos*, 17(1), 494-500. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1593248>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (17 de mayo del 2023). *Desnutrición crónica afectó al 11,7% de la población menor de cinco años en el año 2022*. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/desnutricion-cronica-afecto-al-117-de-la-poblacion-menor-de-cinco-anos-en-el-ano-2022-14397/>

Instituto Nacional del Cáncer [NIH] (6 de febrero de 2017) *Antioxidantes y prevención del cáncer*. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/dieta/hoja-informativa-antioxidantes>

Intiquilla Quispe, A. A. (2015) *Evaluación de la actividad antioxidante de las fracciones peptídicas de hidrolizados proteínicos obtenidos a partir de semillas*

de *Erythrina edulis* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4598>

Jamanca Gonzales, N. C. y Alfaro Cruz, S. (2017) *Antioxidantes en los alimentos*. Editorial UNAB.

Lima Arias, J. A. (2022) *Determinación de parámetros de precocción en la elaboración de un pan especial semihojaldrado* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4501>

Malpartida Yapias, R. J., Chagua Rodríguez, P., Echevarría Victorio, J. P. y Adama Astete, J. M. (2021). *Lúcuma (Pouteria lúcuma): Potencial bioactivo y agroindustrial del valle interandino peruano*. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 5(2). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v5i2.326](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v5i2.326)

Masullo, M., Cerulli, A., Pizza, C., Piacente, S., Bruno, M., Maci, S., & Zaccaria, M. (2021). *Phytochemical profile of lucuma pulp and skin and antioxidant properties*. *Molecules*, 26(17), 5236. <https://doi.org/10.3390/molecules26175236>

Matos, Laura. (2019). *Estudio de los efectos de tres formulaciones diferentes de panes: cambio en su vida útil*. [Tesis de Titulación, Universidad Católica de Córdoba]. <https://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/1647/>

Maza De la Quintana, R. y Paucar Menacho, L.M. (2017). *Lúcuma (Pouteria lucuma): Composición, componentes bioactivos, actividad antioxidante, usos y propiedades beneficiosas para la salud*. *Scientia Agropecuaria*, 11(1). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.15>

Maza, R. y Paucar, L. (2020). *Lúcuma (Poetaria lucuma): Composición, componentes bioactivos, actividad antioxidante, usos y propiedades beneficiosas para la salud*. *Sicientia Agropecuaria*, 11(1). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172020000100135](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000100135)

- Mejía Rios, C. V. (2017) *Evaluación de metabolitos secundarios y propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes de lúcuma (Pouteria lucuma) en dos estados de madurez* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3047>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (s.f.). Productos. Agrorural. Recuperado de: <https://www.agrorural.gob.pe/productos/lucuma-seda/>
- Ministerio de Salud. [MINSA] (6 de marzo del 2023). *Minsa reducirá al 39 % el índice de anemia en menores de 3 años a nivel nacional*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/720925-minsa-reducira-al-39-el-indice-de-anemia-en-menores-de-3-anos-a-nivel-nacional>
- Mora Agüero, S. Á., Zeledón Aguilera, A. S. y Vargas Rubio, T. (2019). *Estrés oxidativo y antioxidantes: efectos en el embarazo*. *Revista Médica Sinergia*, 4(5), 89-100. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=86842>
- Nissen, S., Namuth, D. y Hernández Rios, I. (2019) Inhibidores de la Síntesis de Aminoácidos Aromáticos. Plant and Soil Sciences eLibrary (PASSeL) Lesson. <https://digitalcommons.unl.edu/passel/63/>
- Núñez Burga, A. Y. (2019). *Compuestos Bioactivos Y Aromáticos De Harina De Lúcuma Obtenida Mediante Secado En Cabina Y Atomización*. [ Tesis Para Optar El Grado De Maestro Magíster Scientiae En Tecnología De Alimentos; Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4162>
- Pereira, M. F., Soares, I. d. C., Cabral, M. M., de Freitas, P. A., Sousa, G. M. A., Magalhães, S. C., Carioca, A. A. F., de Oliveira, M. R. C., Magalhães, F. E. A., de Oliveira, A. C., Farias-Pereira, R., & de Oliveira, K. A. (2025). *Impacts of Yacon Syrup (Smallanthus sonchifolius) on human health: A systematic review*. *Nutrients*, 17(5), 888. <https://doi.org/10.3390/nu17050888>
- Pinto Gómez, S.F. (2018) *Elaboración de barra nutritiva enriquecida con pajuro (Erythrina edulis) año 2018* [Tesis de Titulación, Universidad Privada Norbert

Wiener]. <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/2409?locale-attribute=en>

Pisfil Gonzales, C. A. (2017) *Optimización del Nivel de Sustitución de la Harina de Trigo por Harina de Quinoa (Chenopodium Quinoa), Cañihua (Chenopodium Pallidicaule) y Kiwicha (Amaranthus Caudatus) en la Elaboración de Pan Panini Precocido* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1301>

Puma-Isuiza, G., García-Chacón, J. M., Osorio, C., Betalleluz-Pallardel, I., Chue, J., & Inga, M. (2024). *Extraction of phenolic compounds from lucuma seeds with natural deep eutectic solvents... Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1401825. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1401825>

Quezada Andi, E.F. (2021) *Aplicaciones potenciales del chachafruto (Erythrina edulis) en la alimentación animal* [Tesis de Titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15626>

Quintero Castaño VD, Lucas Aguirre JC, Alzate Carvajal EN. Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *INGENIUM*. 2012; 28:16–32.

Reyes, S., Morales, P., Silva, L., Pérez, R., Díaz, J., Lira, M., & Vásquez, C. (2022). *Enhancing polyphenol extraction from lucuma and yacon using green solvents and statistical design. Journal of Food Engineering*, 321, 111055. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.111055>

Reyes, S., Morales, P., Silva, L., Pérez, R., Díaz, J., Lira, M., & Vásquez, C. (2022). *Textural evaluation of high-FOS tuber-lucuma flour blends. Journal of Food Engineering*, 321, 111055. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.111055>

Risco Vélez, D. D., Zevallos Cotrina, A. R., Mogollón Torres, F. M., Díaz Manchay, R. y Rodríguez Cruz, L. D. (2022). *Factores relacionados con las características alimentarias de niños de 6 a 36 meses detectadas a través de teleconsulta en Lambayeque- Perú. Revista Española de Nutrición*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8587343>

- Sánchez, P., Garnica, E., Torres, R., Mendoza, A., Salazar, L., & López, G. (2023). *Phenolic content in lucuma-enriched tuber flours: optimization and implications*. *Journal of Functional Foods*, 92, 105312. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105312>
- Sánchez, P., Garnica, E., Torres, R., Mendoza, A., Salazar, L., & López, G. (2023). *Effect of lucuma-derived color on consumer preference*. *Journal of Sensory Studies*, 38(2), e12745. <https://doi.org/10.1111/joss.12745>
- Sanes Falcón, L.C. (2019) *Tiempo de vida útil del pan elaborado con harina de trigo (Triticum Aestivum), harina de quinua (Chenopodium Quinoa W.) y harina de kiwicha (Amaranthus Caudatus)* [Universidad Nacional del Callao, Tesis de Titulación] <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5113>
- Shevkani, K., Singh, N., Chen, Y., Kaur, A. & Yu, L. (2019) *Pulse proteins: secondary structure, functionality and applications*. *Journal of Food Science Technology*, 56, p. 2787–2798. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03723-8>.
- Silva Gama, G. (2020). *Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente para la elaboración de un producto de panadería libre de gluten* [Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77707>
- Silva, L., Carvajal, A., Sánchez, P., Morales, D., Pérez, R., Rodríguez, T., & Gutiérrez, C. (2022). *Effect of lucuma flour on nutritional profile of tuber-based blends*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 110, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104625>
- Singh, N. (2017) *Pulses: an overview*. *Journal of Food Science and Technology*, 54, p. 853-857. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2537-4>
- Threlfall, R.; Morris, R.; Meullenet, J. 2007. *Product development and nutraceutical analysis to increase the value of nuts*. *Journal of Food Quality* 30: 552566.

- Tineo Figueroa, M. V. (2017) Suplementación de aminoácidos esenciales (Lisina, Metionina Y Treonina) en el crecimiento y acabado de cuyes machos (*Cavia porcellus*) genotipo Perú – Ayacucho, 2750 m.s.n.m [Tesis de Titulación - Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2645>
- Tingal Chilon, K.L. (2019) *Influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de pajuro (*Erythrina edulis*)* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3365>
- Torres Dávila, A. F. y Quezada Izquierdo, F. E. (2018) *Estudio de factibilidad de exportación de pan congelado hacia Perú y España* [Tesis de Titulación, Universidad de Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8229>
- Umaña, J. A., Ramírez, M. J., Pérez, A., Gutiérrez, R., Cabrera, J., & Morales, L. (2024). *Effects of daily FOS intake on intestinal permeability and immune markers in rodents. Food Research International*, 161, 112225. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112225>
- Valencia Avilés, E., Ignacio Figueroa, I., Sosa Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M., Martínez Flores, H & García-Pérez, M. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ISSN: 1390-1869, N° 16. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1583>.
- Valencia Vasquez, A. (2020) *Efecto de la deshidratación parcial a vacío y acidificación de pulpa de lúcuma (*Pouteria lucuma*) sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales durante almacenamiento* [Tesis de Titulación, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/8bacb189-2bd5-4a0f-a1c5-b7739f22fddd>.
- Vázquez Chávez, L., González Sánchez, D. y Cervantes Arista, C. (2016). Calidad de pan precocido almacenado en refrigeración y en congelación. *Investigación y*

*Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 49-55.  
<https://docplayer.es/37254801-Calidad-de-pan-precocido-almacenado-en-refrigeracion-y-en-congelacion.html>.

Vázquez Lara, F., Verdú Amat, S., Islas Rubio, A. R., Barat Baviera, J. M., Grau Meló, R., & Casillas Peñuelas, R. (2017). *Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(71), 19-26.  
<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/63a47164-cf65-43ab-ad5c-11955494082d/content>

Vela Ahumada, A., Quispe Urteaga, A. (2017). Determinación de las principales plagas del pajuro (*Eythrina edulis* Triana Ex Micheli.) en el valle de Cajamarca. *Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, Volumen 16, N° 1 – 201*.  
<https://revistas.unc.edu.pe/index.php/Caxamarca/article/view/35>

Velez, C. A., Lotufo-Haddad, A. M., Vinderola, G., Ramón, A. N., Silva, C., & Aguilar-Galvez, A. (2023). *Prebiotic and gut microbiota modulation of yacon flour in vivo*. *Journal of Functional Foods*, 95, 105244.  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105244>

Ventura Saldivar, Y. (2022). Características nutricionales y funcionales de la harina del fruto germinado de basul (*Erythrina edulis*). [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].  
<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1091>

Wehrli, M.C., Kratky, T., Schopf, M., Scherf K.A., Becker, T. y Jekle, M. (2021) Thermally induced gluten modification observed with rheology and spectroscopies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 173, p. 26-33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33422515/>

Yada, R.Y. (2da Edición). (2018). *Proteins in Food Processing*. Woodhead Publishing.  
<https://shop.elsevier.com/books/proteins-in-food-processing/yada/978-0-08-100722-8>

Zea Morales, J. P., Zea Pizarro, W. J., Vaccaro Macías, V. I. y Avalos Moreno, E. (2017). Los Aminoácidos en el cuerpo humano. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 1 (5), 379-391. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7116449>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1.

#### Proceso de la obtención de la harina de pashuro

Anexo 1.1. *<sup>a</sup>Recepción y pesado del pashuro; <sup>b</sup>Pelado del pashuro; <sup>c</sup>Lavado del pashuro*



Anexo 1.2. *<sup>a</sup>Cortado de los granos de pashuro; <sup>b</sup>Preparación en bandejas de los granos de pashuro; <sup>c</sup>Secado de los granos de pashuro; <sup>d</sup>Molienda y pesado de la harina de pashuro*



## Anexo 2.

### Proceso de la obtención de la harina de lúcuma

Anexo 2.1. <sup>a</sup>Recepción y pesado de la lúcuma; <sup>b</sup>Lavado de la lúcuma; <sup>c</sup>Pelado y despepado de la lúcuma;  
<sup>d</sup>Secado de la lúcuma



Anexo 2.2. <sup>a</sup>Primera molienda de la lúcuma; <sup>b</sup>Segunda molienda y tamizado de la harina de lúcuma;  
<sup>c</sup>Obtención de la harina de lúcuma



### Anexo 3.

#### Proceso de la elaboración del pan precocido con sustitución parcial de harina de trigo con harina de pashuro y lúcuma

Anexo 3.1. <sup>a</sup>Pesado y rotulado de harinas; <sup>b</sup>Pesado y rotulado de insumos; <sup>c</sup>Dilución de insumos



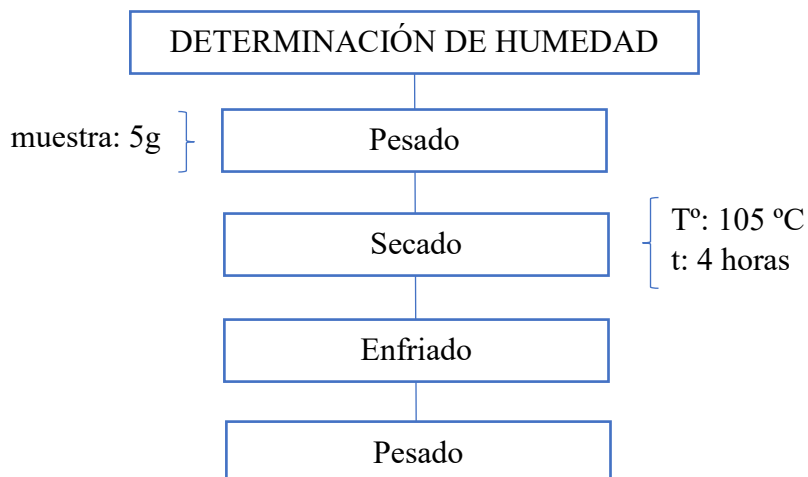
Anexo 3.2. <sup>a</sup>Mezcla de harinas; <sup>b</sup>Amasado de la mezcla; <sup>c</sup>Boleado y fermentación de la masa; <sup>d</sup>Precocción del pan



## Anexo 4.

### Determinación de humedad

Anexo 4.1. Diagrama de flujo de la determinación de contenido de humedad



Anexo 4.2. Fórmula de la determinación del contenido (%) de humedad

$$H(\%) = \frac{(M_i - (M_f - m))}{M_i} \times 100$$

Donde:

$M_i$  =Peso inicial de la muestra (g)

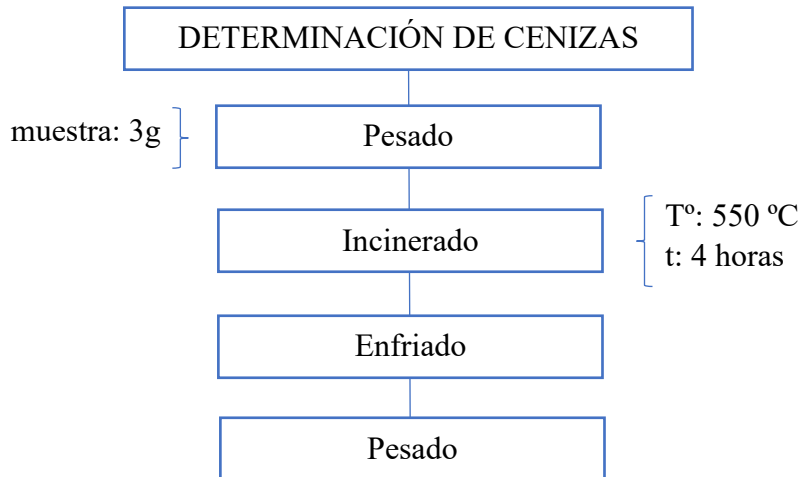
$M_f$  =Peso de la muestra seca (g) + Peso de la placa Petri (g)

$m$  =Peso de la placa Petri (g)

## Anexo 5.

### Determinación del contenido de cenizas

*Anexo 5.1. Diagrama de flujo de la determinación de contenido de humedad*



*Anexo 5.2. Fórmula de la determinación del contenido (%) de cenizas*

$$\text{Cenizas}(\%) = \frac{(P_f - m)}{P_i} \times 100$$

**Donde:**

$P_i$  =Peso inicial de la muestra (g)

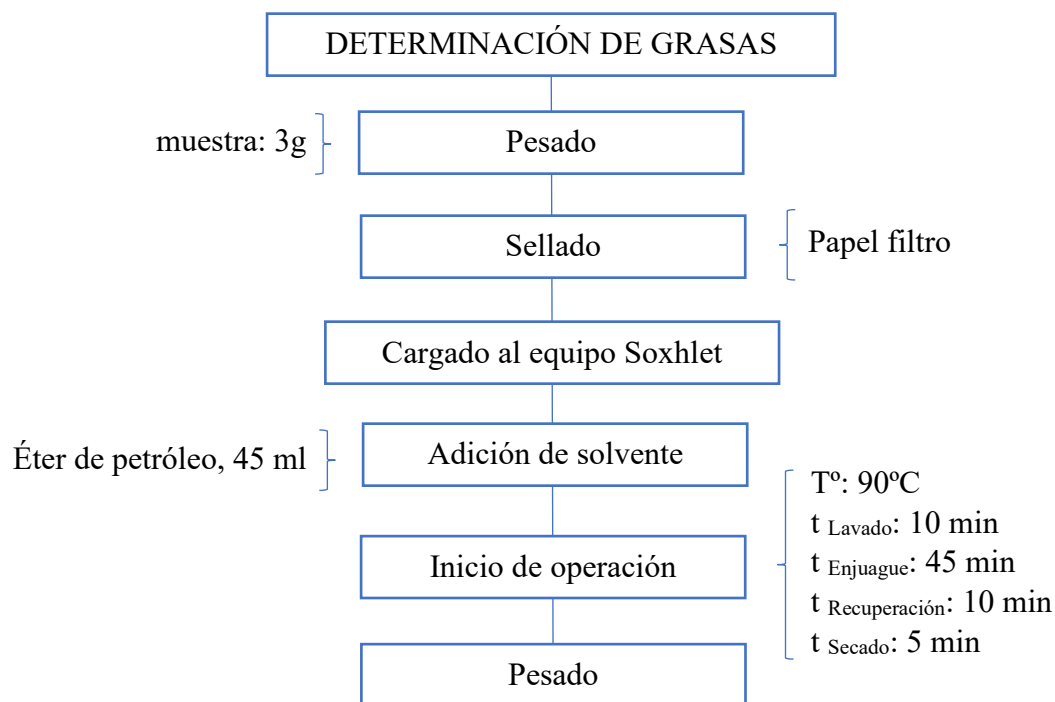
$P_f$  =Peso de la muestra calcinada (g) + Peso del Crisol (g)

$m$  =Peso del Crisol (g)

## Anexo 6.

### Determinación del contenido de grasas

Anexo 6.1. Diagrama de flujo de la determinación de contenido de grasas mediante el método Soxhlet



Anexo 6.2. Fórmula de la determinación de contenido (%) de grasas

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{(P_{vg} - V)}{m_i} \times 100$$

Donde:

$m_i$  = Peso inicial de la muestra (g)

$P_{vg}$  = Peso del vaso colector (g) + Peso de la grasa (g)

$V$  = Peso del vaso colector (g)

*Anexo 6.3. <sup>a</sup>Pesado de muestras; <sup>b</sup>Muestras pesadas y rotuladas; <sup>c</sup>Pesado de vasos colectores; <sup>d</sup>Vasos colectores posicionados*



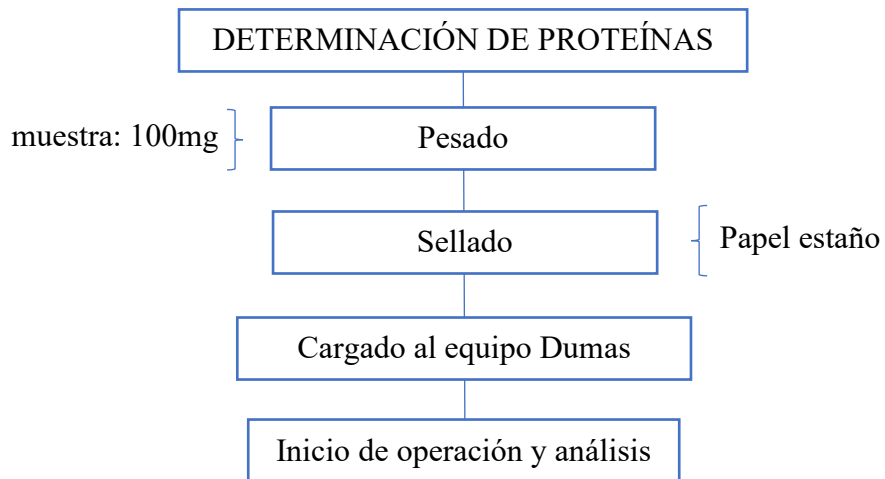
*Anexo 6.4. <sup>a</sup>Operación de extracción con el equipo Soxhlet; <sup>b</sup>Vasos colectores después de la extracción*



## Anexo 7.

### Determinación del contenido de proteínas

*Anexo 7.1. Diagrama de flujo de la determinación de contenido de proteínas mediante el método Dumas*



*Anexo 7.2. Fórmula de la determinación de contenido (%) de proteínas*

$$\text{Proteínas (\%)} = \%N \times \text{Factor de conversión}$$

*Donde:*

$\%N$  = Nitrógeno (%) total en la muestra

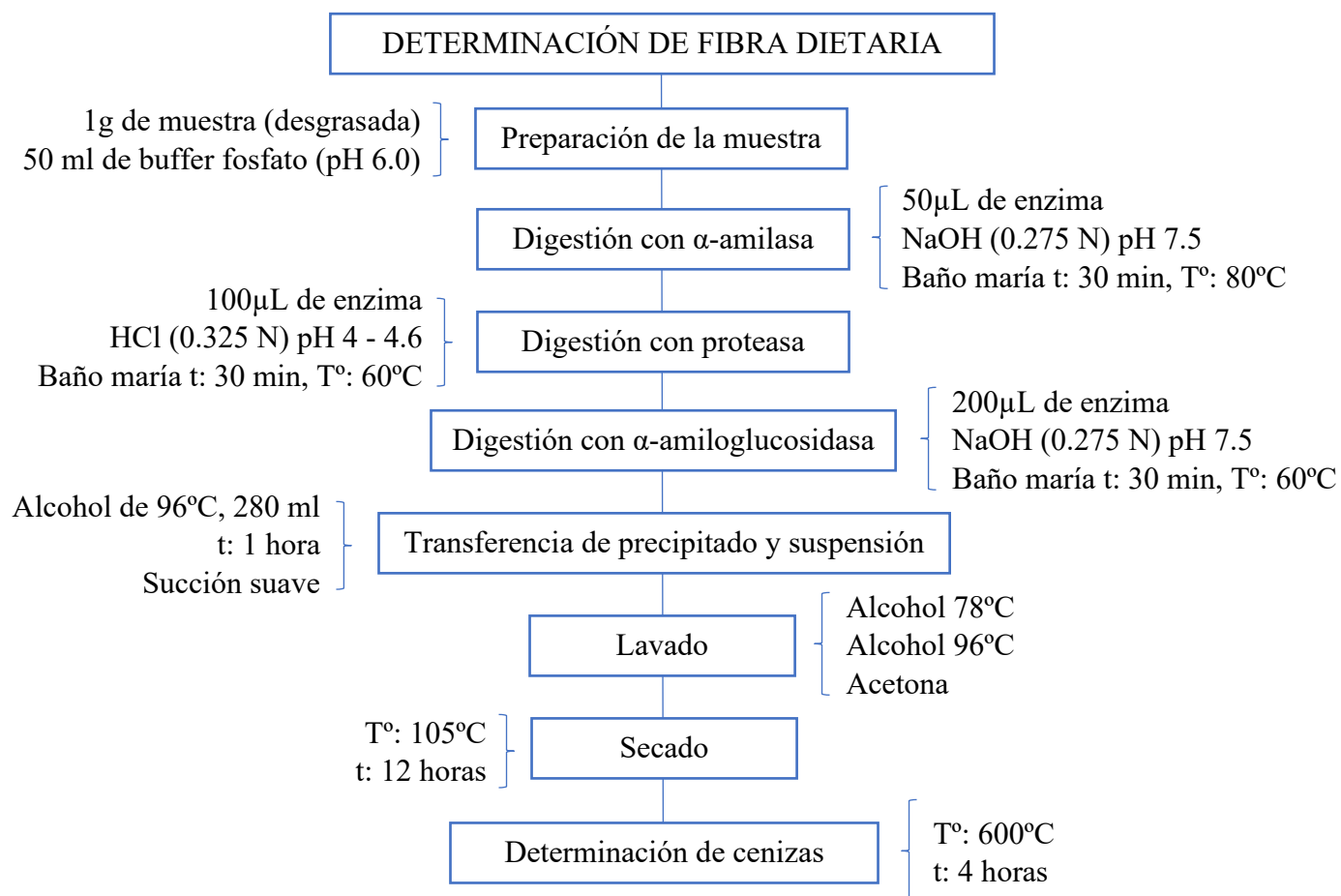
*Anexo 7.3. <sup>a</sup>Pesado de muestras; <sup>b</sup>Ubicación de muestras, <sup>c,d</sup>Análisis con el equipo Dumas*



## Anexo 8.

### Determinación del contenido de fibra dietaria

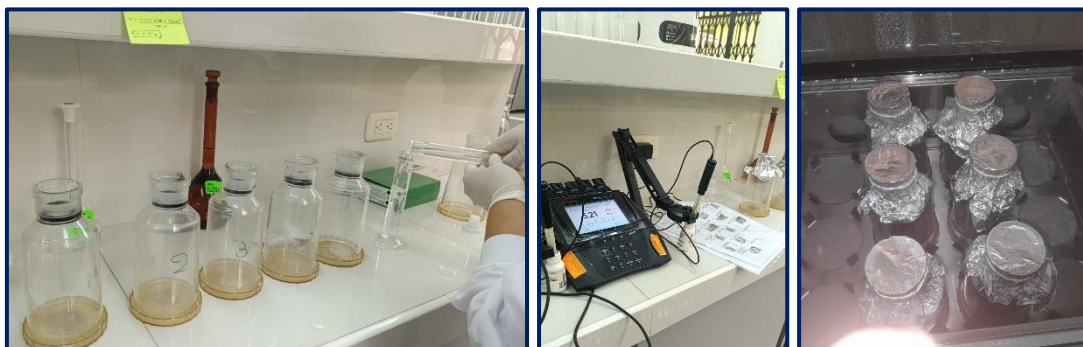
Anexo 8.1. Diagrama de flujo de la determinación de contenido de fibra dietaria



Anexo 8.2. Fórmula de la determinación de contenido (%) de fibra dietaria

$$FDT (\%) = \frac{\text{Peso residuo} - (\text{Proteínas} + \text{Cenizas})}{\text{Peso muestra inicial}} \times 100$$

**Anexo 8.3.** <sup>a</sup>Preparación de la muestra; <sup>b</sup>Ajuste de pH en el NaOH y HCl; <sup>c</sup>Digestión enzimática y baño maría de las muestras



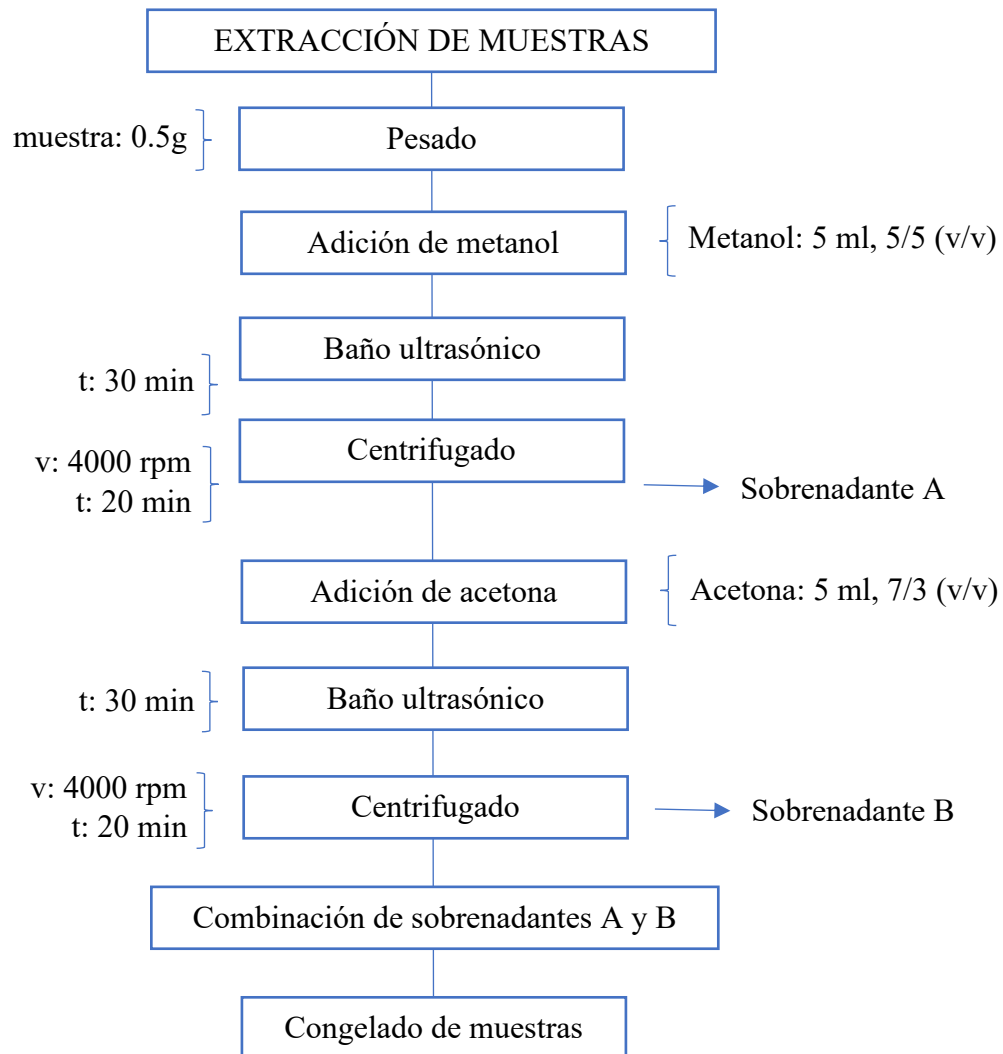
**Anexo 8.4.** <sup>a</sup>Transferencia de precipitado y suspensión; <sup>b</sup>Lavado de residuos



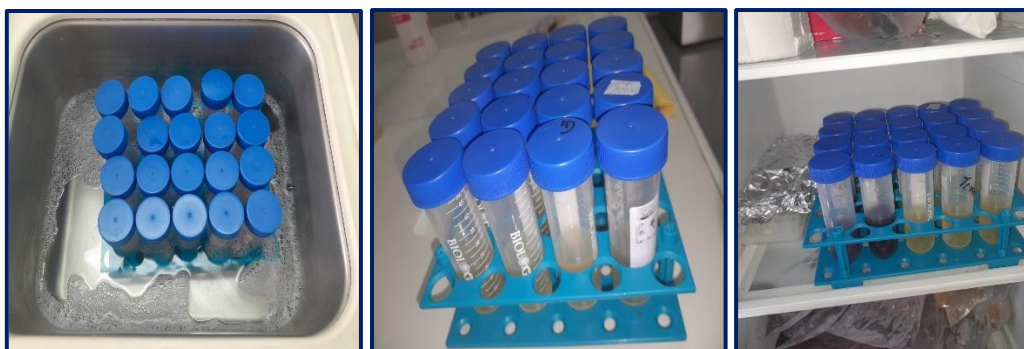
## Anexo 9.

### Extracción de la muestra para análisis de capacidad antioxidante y polifenoles

*Anexo 9.1. Diagrama de flujo de la extracción de muestra para el análisis de capacidad antioxidante y polifenoles*



*Anexo 9.2. <sup>a</sup>Baño ultrasónico; <sup>b</sup>Separación de sobrenadantes; <sup>c</sup>Congelado de muestras*



## Anexo 10.

### Precocción del pan

*Anexo 10.1. <sup>a</sup>Muestras de pan precocido congeladas; <sup>b</sup>Precocción de los panes; <sup>c</sup>Panes precocidos*



## Anexo 11.

### Análisis sensorial del pan precocido

*Anexo 11.1. <sup>a</sup>Preparación de las muestras; <sup>b,c</sup>Evaluación sensorial de panes precocidos*



*Anexo 11.2. Ficha del análisis sensorial de los panes precocidos*

SEXO: M  F       FECHA: \_\_\_\_\_      MUESTRA: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:**

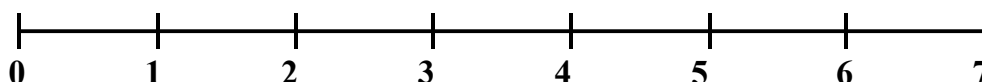
Durante la evaluación, de la tesis titulada “SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS DE PAJURO (*Erythrina Edulis*) y LÚCUMA (*Pouteria Lúcuma*) EN PANES PRECOCIDOS”, le pediremos que evalúe diferentes aspectos Hedónicos de nuestros productos, como sabor, color, olor y textura. Utilizaremos 7 puntuaciones de manera lineal, para recoger sus opiniones y percepciones, lo cual implica que marque con una línea vertical dentro del segmento de puntuaciones.

Su participación es completamente voluntaria y sus respuestas serán tratadas de manera confidencial. No se requieren conocimientos previos sobre los productos, solo su honestidad.

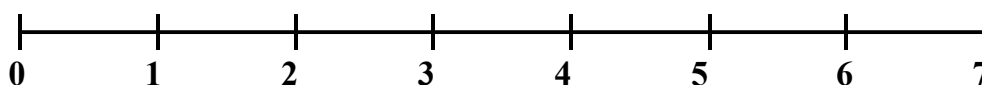
**PUNTUACIONES Y ESCALA:**

1	Me disgusta mucho	5	Me gusta poco
2	Me disgusto moderadamente	6	Me gusta moderadamente
3	Me disgusto poco	7	Me gusta mucho
4	No gusta / ni disgusta		

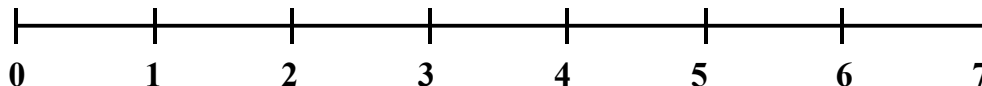
**Sabor**



**Color**



**Olor**



**Textura**

