TESIS - RUFINO (terminada).docx

por Fabrizio Aito RUFINO MALO

Fecha de entrega: 13-oct-2026 12:19p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3058872785
Nombre del archivo: TESIS_-_RUFINO_terminada_.docx (2.85M)
Total de palabras: 51450
Total de caracteres: 266186

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Elaboración y optimización de hamburguesa marina proteica enriquecida con tarwi (*Lupinus mutabilis*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autores:

Bach. Rufino Malo Fabrizio Aito

Cód. ORCID: 0009-0008-1514-4687

Asesor:

Dr. Castillo Martinez, Williams Esteward

Cód. ORCID: 0000-0002-7143-4450

Coasesor:

Dr. Gonzales Capcha, John Kelby

Cód. ORCID: 0000-0001-7310-0502

Nuevo Chimbote - Perú

2026

Certificación del asesor

Hoja de aval del jurado evaluador

Acta de sustentación de tesis

Recibo digital Turnitin

Informe de originalidad

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos Rufino y Sonia Malo por su apoyo día a día, quienes me apoyaron en todos los sentidos desde que inicie, en especial a mi madre quien es y será mi superheroína, asimismo a mis hermanas Faviana, Karla y Ana Lucia, quienes me consideran como su ejemplo y trato de no defraudar.

A mi abuelita Rosario, a quien con mucho cariño llamo "mamá Rosario", y a mi tía Gloria, quienes complementaron mi crianza con su cuidado y enseñanzas. Gracias por estar presentes en cada etapa de mi vida, por sus consejos, por su apoyo incondicional y por contribuir, de una u otra manera, a formar la persona que soy hoy.

A mi querido tío Teófilo, quien, aunque ya no se encuentra físicamente a mi lado, permanece siempre presente en mi corazón y en mis recuerdos. Gracias por haber sido para mí como un segundo padre, por tu cariño, tus incomparables y precisos consejos, tus enseñanzas y por cada momento compartido. Tu presencia dejó una huella profunda en mi vida y, sin duda, parte de la persona que logro ser hoy se debe a todo lo que me brindaste. Dedico este logro a tu memoria, con profundo cariño y gratitud, esperando que desde el cielo puedas sentirte orgulloso de mí.

A mi primo Renzo, mi hermano de corazón, por estar conmigo desde el inicio de este camino y nunca dejar de tenderme la mano. Gracias por cada consejo, por tu constante y desinteresada ayuda. Tu ejemplo como ingeniero me ha motivado a seguir adelante y luchar por mis sueños. Gracias porque has estado presente en cada paso desde que somos niños.

Bach. Fabrizio Rufino Malo

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi guía y fortaleza, quien ilumina mi camino y me permite seguir adelante ante cada adversidad. A Él encomiendo mis pasos y cada uno de mis logros, pues es quien guía mi vida y en cuyas manos confío mi destino.

Mi sincero reconocimiento al Dr. Williams Castillo y al Dr. John Gonzales, mis asesores, por su paciencia, conocimientos y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Sus consejos y observaciones fueron importantes para culminar este trabajo. De manera especial, al Mg. Lenin Palacios, por sus aportes y por la confianza y cercanía que me brindó. Valoro e que haya trascendido el ámbito académico y me haya aceptado como un amigo.

A Andrea, por acompañarme durante mi formación universitaria y por brindarme, a lo largo de este camino, su amor, comprensión, respeto y apoyo incondicional. Mi especial agradecimiento por permanecer a mi lado en los momentos de dificultad, cuando las exigencias de este proceso pusieron a prueba mi perseverancia. Su amor y confianza fueron un gran soporte para no desistir ante las adversidades. Gracias por creer en mí, por motivarme a seguir adelante y por formar parte de este importante logro, que representa el fin de una etapa construida con mucho esfuerzo, dedicación y constancia.

A toda mi familia Rufino Garavito, especialmente a mi abuelita y a mis tíos Rogelio, Roxana y Victoria, por su cariño, apoyo y acompañamiento a lo largo de mi formación. Sus palabras de aliento, enseñanzas y sobre todo esa confianza y orgullo que sintieron hacia mí. Gracias por estar presentes en los momentos que más lo necesité.

Bach. Fabrizio Rufino Malo

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

RESUMEN ..... **XVI**

ABSTRACT ..... **XVIII**

I. INTRODUCCIÓN **1**

II. MARCO TEÓRICO **3**

2.1. POTA O CALAMAR GIGANTE (*DOSIDICUS GIGAS*) 3

2.1.1. Generalidades ***3***

2.1.2. Descripción biológica y taxonomía ***3***

2.1.3. Distribución y pesquería en el litoral peruano ***5***

2.1.4. Composición química y valor nutricional ***5***

2.1.5. Propiedades tecnofuncionales del manto ***7***

2.1.6. Aprovechamiento agroindustrial actual y limitaciones ***7***

2.2. TARWI (*LUPINUS MUTABILIS*) 8

2.2.1. Generalidades ***8***

2.2.2. Descripción botánica y taxonomía ***9***

2.2.3. Distribución y producción en el Perú ***10***

2.2.4. Composición química y valor nutricional ***10***

2.2.5. Alcaloides quinolizidínicos y proceso de desamargado ***11***

2.2.6. Propiedades tecnofuncionales de la harina de tarwi ***12***

2.3. QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) 13

2.3.1. Generalidades ***13***

2.3.2. Descripción botánica y taxonomía ***13***

2.3.3. Distribución y producción en el Perú ***14***

2.3.4. Composición química y perfil de aminoácidos ***15***

2.3.5. Saponinas y desaponificación ***15***

2.3.6. Propiedades tecnofuncionales de la harina de quinua ***16***

2.4. HAMBURGUESA Y PRODUCTOS CÁRNICOS REESTRUCTURADOS 17

2.4.1. Definición y clasificación ***17***

2.4.2. Hamburguesas de base marina 18
2.4.3. Hamburguesas híbridas y enriquecimiento proteico vegetal 20
2.4.4. Alimentos funcionales y complementación proteica 21
2.4.5. Parámetros de calidad 21
2.4.6. Normativa y requisitos técnicos aplicables 23
2.5. PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS 23
2.5.1. Elaboración de harinas de leguminosas y pseudocereales 23
2.5.2. Tratamiento térmico y desnaturalización proteica en cefalópodos 24
2.5.3. Operaciones de molienda, tamizado y granulometría 25
2.5.4. Aditivos y coadyuvantes en productos cárnicos reestructurados 26
2.6. DISEÑO DE MEZCLAS Y OPTIMIZACIÓN DE FORMULACIONES 26
2.6.1. Fundamento del diseño de mezclas 26
2.6.2. Diseño simplex-centroide con restricciones 27
2.6.3. Modelos polinomiales de Scheffé 28
2.6.4. Metodología de superficie de respuesta y función de deseabilidad 28
2.7. MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS 29
2.7.1. Determinación de proteína por combustión (método Dumas) 29
2.7.2. Determinación de humedad por método gravimétrico 30
2.7.3. Determinación de cenizas por incineración 30
2.7.4. Determinación de grasa por extracción Soxhlet 31
2.7.5. Análisis sensorial mediante escala hedónica 32
2.8. CONTEXTO SOCIOECONÓMICO Y DE SEGURIDAD ALIMENTARIA 32
III. MATERIALES Y MÉTODOS 35
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN 35
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS 35
3.2.1. Materia prima e insumos 35
3.2.2. Material de laboratorio 37
3.2.3. Equipos 40
3.3. METODOLOGÍA DE PROCESAMIENTO 41
3.3.1. Obtención de la harina de tarwi desamargado 41
3.3.2. Obtención de la harina de quinua 43

3.3.3. Acondicionamiento y precocción de la pota 45
3.3.4. Elaboración de la hamburguesa marina proteica 48
3.3.5. Balance de materia y cálculo del rendimiento 52
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS 57
3.4.1. Caracterización proximal de las materias primas 57
3.4.2. Caracterización fisicoquímica del producto terminado 62
3.4.3. Evaluación tecnológica 66
3.4.4. Análisis sensorial mediante escala hedónica 68
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL 69
3.5.1. Variables de estudio 69
3.5.2. Restricciones de los componentes y región factible 70
3.5.3. Diseño de mezclas simplex-centroide y codificación de tratamientos 72
3.5.4. Unidades experimentales y repeticiones 73
3.6. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA 74
3.6.1. Modelo estadístico 74
3.6.2. Análisis de varianza y ajuste del modelo 75
3.6.3. Verificación de supuestos 76
3.6.4. Análisis de la evaluación sensorial 77
3.6.5. Optimización multirrespuesta 77
3.6.6. Criterio de selección de la formulación óptima 79
3.6.7. Software estadístico 80
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 81
4.1. CARACTERIZACIÓN PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS 81
4.1.1. Pota (Dosidicus gigas) 81
4.1.2. Harina de quinua (Chenopodium quinoa) 82
4.1.3. Harina de tarwi (Lupinus mutabilis) 84
4.1.4. Composición comparada de las tres materias primas 87
4.2. OBTENCIÓN DE LAS HARINAS Y DE LA HAMBURGUESA MARINA 88
4.2.1. Harina de tarwi desamargado 89
4.2.2. Harina de quinua 90
4.2.3. Pota precocida 92

4.2.4. Características del producto obtenido 93
4.2.5. Comparación de rendimientos 95
4.3. CONTENIDO PROTEICO DE LAS FORMULACIONES 98
4.3.1. Contenido proteico calculado 98
4.3.2. Comparación de tratamientos 100
4.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS HAMBURGUESAS 103
4.4.1. Humedad 103
4.4.2. pH 111
4.4.3. Color (L, a*, b*) 115*
4.4.4. Textura instrumental 119
4.4.5. Rendimiento de cocción 123
4.5. ANÁLISIS SENSORIAL DE LA HAMBURGUESA MARINA 126
4.5.1. Calificación de los atributos 127
4.5.2. Análisis de varianza 128
4.5.3. Comparación de tratamientos 129
4.5.4. Repetibilidad entre lotes del centroide 129
4.5.5. Modelos de mezcla 130
4.6. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA 132
4.6.1. Variables incluidas y criterio de optimización 132
4.6.2. Análisis del compromiso entre aporte proteico y aceptabilidad sensorial 133
4.6.3. Función de deseabilidad 136
4.6.4. Resultado de la optimizacion 138
4.6.5. Selección y validación de la formulación óptima 140
71
V. CONCLUSIONES 144
VI. RECOMENDACIONES 147
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 149
VIII. ANEXOS 159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de Dosidicus gigas 4

Tabla 2 Clasificación taxonómica de Lupinus mutabilis 9

Tabla 3 *Clasificación taxonómica de la quinua* 14

Tabla 4 *Antecedentes de formulación de hamburguesas de base marina* 19

Tabla 5 Materias primas empleadas como componentes variables de la mezcla 36

Tabla 6 *Insumos empleados en proporción fija* 36

Tabla 7 Materiales de vidrio empleados 37

Tabla 8 Material para determinaciones analíticas 37

Tabla 9 Material para el procesamiento 38

Tabla 10 Material para evaluación sensorial 39

Tabla 11 Equipo de protección de personal 39

Tabla 12 Equipos empleados en el proceso 40

Tabla 13 *Composición de la fracción variable por tratamiento* 48

Tabla 14 *Composición de la fracción fija de la formulación* 49

Tabla 15 *Balance de materia de la obtención de harina de tarwi desamargado* 53

Tabla 16 *Balance de materia de la obtención de harina de quinua* 54

Tabla 17 *Balance de materia del acondicionamiento y precocción de la pota* 56

Tabla 18 *Rendimiento global de las tres líneas de acondicionamiento de materia prima* 57

Tabla 19 Condiciones del ensayo de penetración 65

Tabla 20 *Tratamientos del diseño de mezclas simplex centroide* 70

Tabla 21 *Unidades experimentales del diseño* 73

Tabla 22 *Grados de libertad del análisis de varianza según el modelo de mezcla* 76

Tabla 23 *Criterios de optimización de la formulación* 79

Tabla 24 *Composición proximal de la carne de pota precocida* 81

Tabla 25 *Composición proximal de la harina de quinua* 83

Tabla 26 *Composición proximal de la harina de tarwi desamargado* 85

Tabla 27 Balance de materia de la obtención de harina de tarwi desamargado 89

Tabla 28 *Balance de materia de la obtención de harina de quinua* 91

Tabla 29 *Balance de materia del acondicionamiento y precocción de la pota* 92

Tabla 30 *Masa de mezcla y hamburguesas obtenidas por unidad experimental* 93

Tabla 31 *Rendimiento global de las tres líneas de acondicionamiento de materia prima* 95
Tabla 32 *Contenido proteico calculado de las formulaciones y aporte de cada componente* 99
Tabla 33 *Ordenamiento de las formulaciones según su contenido proteico calculado* 101
Tabla 34 *Humedad de la hamburguesa antes y después de la cocción* 103
Tabla 35 *Humedad de la hamburguesa cruda medida y calculada a partir de la formulación* 104
Tabla 36 Balance de agua durante la cocción, referido a una unidad de 115 g 105
Tabla 37 *Ajuste de los modelos de mezcla para la humedad* 106
Tabla 38 *pH de la hamburguesa cruda* 112
Tabla 39 *Coordenadas de color de las hamburguesas cocidas* 115
Tabla 40 *Diferencia de color de cada tratamiento respecto del centroide* 116
Tabla 41 *Firmeza de las hamburguesas cocidas y posición en la secuencia de cocción* 119
Tabla 42 Rendimiento y pérdida por cocción de las formulaciones 123
Tabla 43 Ajuste de los modelos de mezcla para el rendimiento de cocción 125
Tabla 44 *Calificación sensorial media de las unidades experimentales* 127
Tabla 45 *Análisis de varianza de los atributos sensoriales* 129
Tabla 46 *Modelos de mezcla ajustados a los atributos sensoriales* 130
Tabla 47 *Respuestas incluidas en la optimización y modelos empleados* 133
Tabla 48 *Efecto del intercambio de 5 g de harina de quinua por 5 g de harina de tarwi sobre cada atributo sensorial* 135
Tabla 49 *Deseabilidad global de los puntos del diseño* 138
Tabla 50 *Sensibilidad del óptimo frente a la ponderación de las respuestas* 139
Tabla 51 *Validación de los modelos mediante la predicción del centroide excluido del ajuste* 141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de tarwi desamargado* 42

Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de quinua..... 44

Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de obtención de carne marina de pota precocida 47

Figura 4 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la hamburguesa marina proteica 51

Figura 5 *Región experimental y tratamientos del diseño de mezclas simplex centroide*..... 72

Figura 6 *Composición proximal de las materias primas* 87

Figura 7 *Masa en cada etapa de las tres líneas de acondicionamiento* 96

Figura 8 *Contenido proteico calculado* 100

Figura 9 *Humedad de la hamburguesa cruda medida frente a la calculada* 108

Figura 10 *Humedad de la hamburguesa antes y después de la cocción*..... 109

Figura 11 *Plano cromático a* frente a b* y color medio de las formulaciones*..... 117

Figura 12 *Firmeza de las hamburguesas cocidas frente al orden de cocción* 120

Figura 13 *Superficie de respuesta del rendimiento de cocción en la región experimental* 126

Figura 14 *Perfil sensorial de las formulaciones* 128

Figura 15 *Contornos de respuesta de la aceptación general y del sabor en la región experimental* 131

Figura 16 *Relación entre el contenido proteico y la aceptación general de las formulaciones* 134

Figura 17 *Deseabilidad global en la región experimental* 140

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Datos originales de la caracterización proximal de las materias primas* 159

Anexo 2 *Reporte del analizador de nitrógeno por combustión* 160

Anexo 3 *Balances de materia de las líneas de acondicionamiento* 161

Anexo 4 *Balance de materia de la elaboración de las hamburguesas* 162

Anexo 5 *Registro fotográfico del proceso* 164

Anexo 6 *Aporte proteico de cada componente, en gramos por unidad de 115 g* 166

Anexo 7 *Hamburguesa cruda* 167

Anexo 8 *Hamburguesa cocida* 168

Anexo 9 *Lecturas de pH de las nueve unidades experimentales* 170

Anexo 10 *Determinaciones de color* 172

Anexo 11 *Curvas de carga del ensayo preliminar de penetración* 174

Anexo 12 *Masas antes y después de la cocción de las 27 piezas* 175

Anexo 13 *Cartilla análisis sensorial* 177

Anexo 14 *Base de datos de la evaluación sensorial* 179

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo elaborar y optimizar una hamburguesa marina proteica a base de carne de pota (*Dosidicus gigas*), enriquecida con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), mediante un diseño de mezclas simplex-centroide. Para ello, se caracterizaron las materias primas mediante análisis proximal y se obtuvieron las harinas de tarwi desamargado y quinua, mientras que la carne de pota fue sometida a acondicionamiento y precocción. Se evaluaron siete formulaciones conformadas por diferentes proporciones de carne de pota precocida, harina de tarwi y harina de quinua, manteniendo constantes los demás ingredientes. Las formulaciones fueron evaluadas mediante contenido proteico, humedad, pH, color instrumental, textura y rendimiento de cocción. Asimismo, se realizó una evaluación sensorial mediante una escala hedónica de nueve puntos y se aplicaron análisis de varianza, modelos de mezcla y función de deseabilidad para determinar la formulación óptima.

Los resultados de la caracterización proximal mostraron que la harina de tarwi presentó el mayor contenido de proteína, con 51,75 g/100 g, mientras que la harina de quinua presentó 72,90 g/100 g de carbohidratos. La carne de pota precocida presentó 17,86 g/100 g de proteína y 70,30 g/100 g de humedad. En las formulaciones de hamburguesa, el contenido proteico osciló entre 19,30 y 21,03 g/100 g, mientras que el rendimiento de cocción estuvo comprendido entre 77,86 y 79,16 %. La humedad varió entre 50,88 y 54,00 g/100 g en las muestras crudas y entre 40,09 y 44,27 g/100 g después de la cocción. Se determinó una relación inversa entre el contenido proteico y la aceptación general, observándose una disminución de 0,330 puntos en la aceptación por cada incremento porcentual de proteína.

La optimización multirrespuesta permitió identificar un máximo de deseabilidad de 0,651, correspondiente a una composición predicha de 82,88 g de carne de pota precocida, 8,52 g de harina de tarwi y 8,60 g de harina de quinua por cada 100 g de fracción variable. Debido a que dicha combinación no fue elaborada experimentalmente, se seleccionó como formulación óptima el tratamiento centroide, constituido por 83,33 g de carne de pota precocida, 8,33 g de harina de tarwi y 8,33 g de harina de quinua. Esta formulación presentó 20,37 g/100 g de proteína, una aceptación general de 7,13 puntos y un rendimiento de cocción de 79,16 %. Se concluyó que la combinación de pota, tarwi y quinua permitió desarrollar una hamburguesa marina con alto

contenido proteico y aceptación sensorial satisfactoria, constituyendo una alternativa para el aprovechamiento de recursos hidrobiológicos y materias primas andinas en productos de mayor valor agregado.

Palabras clave: hamburguesa marina, *Dosidicus gigas*, *Lupinus mutabilis*, *Chenopodium quinoa*, proteína, diseño de mezclas, optimización.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop and optimize a protein-enriched marine burger based on squid (*Dosidicus gigas*) meat, enriched with tarwi (*Lupinus mutabilis*) flour and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour, using a simplex-centroid mixture design. The raw materials were characterized through proximate analysis, and desamargado tarwi and quinoa flours were obtained, while squid meat was subjected to conditioning and precooking. Seven formulations were evaluated using different proportions of precooked squid meat, tarwi flour, and quinoa flour, while keeping the remaining ingredients constant. The formulations were evaluated for protein content, moisture, pH, instrumental color, texture, and cooking yield. Sensory evaluation was also performed using a nine-point hedonic scale. Analysis of variance, mixture models, and desirability functions were applied to determine the optimal formulation.

The proximate characterization showed that tarwi flour had the highest protein content, with 51.75 g/100 g, whereas quinoa flour presented 72.90 g/100 g of carbohydrates. Precooked squid meat contained 17.86 g/100 g of protein and 70.30 g/100 g of moisture. In the burger formulations, protein content ranged from 19.30 to 21.03 g/100 g, while cooking yield ranged from 77.86 to 79.16%. Moisture content ranged from 50.88 to 54.00 g/100 g in the raw samples and from 40.09 to 44.27 g/100 g after cooking. An inverse relationship was found between protein content and overall acceptance, with a decrease of 0.330 points in overall acceptance for each one-percentage-point increase in protein content.

The multi-response optimization identified a maximum desirability of 0.651, corresponding to a predicted composition of 82.88 g of precooked squid meat, 8.52 g of tarwi flour, and 8.60 g of quinoa flour per 100 g of variable fraction. Since this combination was not experimentally produced, the centroid treatment was selected as the optimal formulation, consisting of 83.33 g of precooked squid meat, 8.33 g of tarwi flour, and 8.33 g of quinoa flour. This formulation presented 20.37 g/100 g of protein, an overall acceptance of 7.13 points, and a cooking yield of 79.16%. It was concluded that the combination of squid, tarwi, and quinoa allowed the development of a marine burger with high protein content and satisfactory sensory acceptance, representing an alternative for the utilization of hydrobiological resources and Andean raw materials in value-added food products.

Keywords: marine burger, *Dosidicus gigas*, *Lupinus mutabilis*, *Chenopodium quinoa*, protein, mixture design, optimization.

I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria enfrenta el desafío de desarrollar productos que, además de satisfacer las necesidades de los consumidores, permitan aprovechar de manera eficiente materias primas de alto valor nutricional y recursos disponibles en cada región. En este contexto, el desarrollo de alimentos con mayor contenido proteico constituye una alternativa para diversificar la oferta alimentaria y generar productos con mayor valor agregado. La incorporación de materias primas de origen marino y vegetal en una misma matriz alimentaria permite aprovechar las características nutricionales y tecnológicas de cada componente, constituyendo una alternativa para el desarrollo de nuevos productos destinados al consumo humano.

La pota o calamar gigante (*Dosidicus gigas*) constituye uno de los principales recursos hidrobiológicos aprovechados en el litoral peruano. Su carne presenta un importante aporte proteico y un bajo contenido de grasa, características que favorecen su utilización como materia prima para productos alimenticios. Sin embargo, su aprovechamiento agroindustrial se encuentra principalmente orientado hacia productos congelados de transformación relativamente limitada, por lo que existe una oportunidad para incrementar su valor mediante el desarrollo de productos reestructurados destinados al consumo directo. Entre estas propuestas se encuentran las hamburguesas, debido a su facilidad de preparación, presentación y aceptación dentro de los patrones de consumo actuales.

Por otra parte, el tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa andina caracterizada por su elevado contenido proteico y por presentar propiedades nutricionales de interés para la formulación de alimentos. Su utilización como harina permite incorporarlo en diferentes matrices alimentarias y contribuir al enriquecimiento proteico de productos procesados. Sin embargo, debido a la presencia natural de alcaloides quinolizidínicos, el grano requiere un proceso de desamargado previo a su utilización como ingrediente alimentario. La quinua (*Chenopodium quinoa*), asimismo, constituye un pseudocereal de importancia nutricional, cuyo aporte de proteínas, carbohidratos y otros componentes permite complementar la formulación de productos alimenticios.

La combinación de una fuente proteica marina con materias primas vegetales como el tarwi y la quinua presenta interés desde el punto de vista nutricional y tecnológico. La carne de pota

constituye la matriz proteica principal, mientras que el tarwi permite incrementar el aporte proteico de origen vegetal y la quinua contribuye a complementar la formulación. Sin embargo, modificar las proporciones de estos componentes puede generar cambios simultáneos en características importantes del producto, tales como el contenido proteico, la humedad, el pH, el color, la textura, el rendimiento de cocción y la aceptación sensorial. Por ello, establecer una formulación adecuada requiere considerar conjuntamente las diferentes respuestas del producto y no únicamente maximizar una característica determinada.

En este sentido, los diseños de mezclas constituyen una herramienta estadística apropiada para estudiar formulaciones en las que las proporciones de los componentes están relacionadas entre sí y deben mantener una suma constante. El diseño simplex-centroide permite evaluar diferentes combinaciones de los componentes de una mezcla y establecer modelos que relacionen sus proporciones con las respuestas de interés. Asimismo, mediante la optimización multirrespuesta y la función de deseabilidad es posible buscar una solución que considere simultáneamente objetivos nutricionales, tecnológicos y sensoriales.

En consecuencia, la presente investigación tuvo como finalidad elaborar y optimizar una hamburguesa marina proteica a base de carne de pota (*Dosidicus gigas*), enriquecida con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), mediante un diseño de mezclas simplex-centroide. Para ello, se caracterizaron las materias primas, se obtuvieron las harinas de tarwi desamargado y quinua y se realizó el acondicionamiento y precocción de la pota. Posteriormente, se elaboraron diferentes formulaciones variando las proporciones de los tres componentes principales y se evaluaron sus características nutricionales, fisicoquímicas, tecnológicas y sensoriales.

Finalmente, mediante el análisis estadístico de las respuestas y la optimización multirrespuesta, se buscó establecer una formulación que permitiera alcanzar un adecuado contenido proteico, un rendimiento de cocción favorable y una aceptación sensorial satisfactoria. De esta manera, la investigación busca contribuir al aprovechamiento agroindustrial de la pota y de materias primas andinas como el tarwi y la quinua, mediante el desarrollo de un producto de mayor valor agregado y con características adecuadas para el consumo humano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Pota o calamar gigante (*Dosidicus gigas*)

2.1.1. Generalidades

La pota o calamar gigante (*Dosidicus gigas*) es un molusco cefalópodo de la familia Ommastrephidae, endémico del océano Pacífico oriental, que constituye en la actualidad uno de los recursos pesqueros de mayor relevancia económica para el Perú. Su carne, concentrada principalmente en el manto, se caracteriza por un elevado contenido proteico de alto valor biológico y un contenido lipídico reducido, condiciones que la posicionan como una fuente proteica saludable y accesible para la alimentación humana.

Desde una perspectiva agroindustrial, la pota presenta una situación particular que define el escenario en el que se inscribe la presente investigación. Pese a su abundancia, bajo costo y disponibilidad sostenida a lo largo del litoral peruano, su aprovechamiento se orienta mayoritariamente a la exportación como producto congelado con escaso valor agregado, mientras que su incorporación en productos procesados destinados al consumo interno permanece limitada. En los apartados siguientes se describen su posición taxonómica y biología, su distribución y pesquería, su composición química, sus propiedades tecnofuncionales y el estado actual de su aprovechamiento agroindustrial, elementos que sustentan su selección como materia prima principal de la hamburguesa marina proteica desarrollada en este estudio.

2.1.2. Descripción biológica y taxonomía

Dosidicus gigas es la única especie reconocida dentro del género Dosidicus, descrita originalmente por d'Orbigny en 1835.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de Dosidicus gigas

Categoría taxonómica	Denominación
Reino	Animalia
Filo	Mollusca
Clase	Cephalopoda
Orden	Oegopsida
Familia	Ommastrephidae
Género	Dosidicus
Especie	Dosidicus gigas (d'Orbigny, 1835)

Nota. Adaptado de GBIF Secretariat (2026).

La especie presenta una notable plasticidad en su desarrollo corporal. Nigmatullin et al. (2001), en la revisión biológica de referencia sobre la especie, identificaron tres grupos intraespecíficos diferenciados por el tamaño que alcanzan los individuos adultos. El grupo pequeño registra longitudes de manto de 130 a 260 mm en machos y de 140 a 340 mm en hembras; el grupo mediano, de 240 a 420 mm y de 280 a 600 mm respectivamente; y el grupo grande comprende ejemplares que superan los 400 a 500 mm en machos y que pueden exceder los 1000 mm en hembras. Esta variabilidad morfométrica tiene implicancias tecnológicas directas, dado que el espesor y las dimensiones del manto condicionan el rendimiento del fileteado y la uniformidad del tratamiento térmico aplicado durante el procesamiento.

El ciclo de vida de la especie es notablemente corto. Los tres grupos viven aproximadamente un año y únicamente los ejemplares de mayor talla del grupo grande alcanzarían los dos años de vida (Nigmatullin et al., 2001). A esta brevedad del ciclo biológico se suma una fecundidad excepcional entre los cefalópodos, con hembras capaces de producir hasta 32 millones de ovocitos y un desove que ocurre durante todo el año, con un pico de actividad entre octubre y enero en el hemisferio sur. La combinación de crecimiento rápido, ciclo de vida corto y alta fecundidad explica la elevada capacidad de renovación poblacional del recurso y sustenta su condición de pesquería de gran volumen.

2.1.3. Distribución y pesquería en el litoral peruano

Dosidicus gigas habita el océano Pacífico oriental y los límites de su rango de distribución están determinados por los gradientes de concentración de fosfatos en las aguas superficiales (Nigmatullin et al., 2001). Las condiciones de afloramiento de la corriente peruana generan un hábitat particularmente favorable para la especie, lo que convierte al litoral peruano en una de las principales zonas de captura a nivel mundial. Nigmatullin et al. (2001) estimaron la biomasa global de la especie dentro de los límites de su distribución entre 7 y 10 millones de toneladas, de las cuales entre 2 y 4 millones se encontrarían en aguas internacionales.

La magnitud de esta pesquería se refleja en las medidas de ordenamiento adoptadas por el Estado peruano. Para el año 2026, el Ministerio de la Producción estableció un Límite Máximo de Captura Total Permisible de 589 230 toneladas, cifra que corresponde al tercer incremento consecutivo dispuesto durante ese año, luego de los límites de 479 000 y 539 230 toneladas fijados previamente. Esta decisión fue adoptada sobre la base de las recomendaciones del Instituto del Mar del Perú, orientadas a equilibrar el aprovechamiento del recurso con el principio precautorio (PRODUCE, 2026).

La relevancia económica del recurso es igualmente significativa. Durante el año 2025, las exportaciones peruanas de pota alcanzaron 360 550,7 toneladas con un valor de 1 421 millones de dólares, cifra que representó el 76 % de las exportaciones nacionales de productos pesqueros congelados, siendo China el principal mercado de destino (PRODUCE, 2026). Estos datos evidencian que la pota constituye el principal recurso pesquero peruano destinado al consumo humano directo y que su cadena de valor se encuentra fuertemente orientada al mercado externo.

2.1.4. Composición química y valor nutricional

El manto de la pota presenta un perfil nutricional caracterizado por un elevado contenido de humedad, un aporte proteico considerable y un contenido lipídico marcadamente bajo, condiciones propias de la carne de cefalópodos. Esta composición se traduce en un producto de baja densidad energética y alta densidad proteica, atributo de particular interés para el desarrollo de alimentos funcionales dirigidos a poblaciones con requerimientos proteicos elevados.

La calidad de la proteína de pota ha sido documentada tanto en la materia prima deshidratada como en sus derivados tecnológicos. Calvo et al. (2016) determinaron la composición química de la harina de calamar gigante, obteniendo 77,76 % de proteína cruda, 6,33 % de grasa cruda, 8,54 % de cenizas y 2,7 % de fibra cruda, junto con un perfil de aminoácidos destacable en lisina (10,6 g de aminoácido por 100 g de proteína) y ácido glutámico (14,53 g por 100 g de proteína). Los mismos autores reportaron una relación de ácidos grasos n-6:n-3 de 1:3,4, favorable en comparación con la dieta occidental típica, y un contenido de ácido docosahexaenoico (DHA) de 10,10 %, concluyendo que la harina de calamar constituye un ingrediente con potencial de uso en panes, galletas, sazonadores y aderezos, si bien el sabor a pescado representa un factor limitante para aplicaciones más amplias.

En el caso de los productos reestructurados, Solari-Godiño et al. (2017) caracterizaron surimi liofilizado de Dosidicus gigas y obtuvieron un producto con 58,7 % de proteína y 30,5 % de carbohidratos, concluyendo que el polvo de surimi de calamar gigante puede considerarse un polvo proteico funcional por su contenido proteico, con buenas características tecnológicas y un potencial considerable en la industria alimentaria.

El valor nutricional de la especie no se limita al aporte proteico. Fernández et al. (2021), al evaluar la composición mineral de brazos de pota provenientes de tres pesquerías del Pacífico oriental, incluida la peruana, identificaron cantidades nutricionalmente relevantes de macrominerales esenciales (sodio y magnesio) y de microminerales (cromo, zinc, manganeso y selenio), tanto en la materia prima cruda como en el producto marinado y cocido. Los autores verificaron además que los niveles de plomo, mercurio, zinc y arsénico se mantuvieron por debajo de los límites superiores tolerables de ingesta, y concluyeron que las pesquerías del Pacífico evaluadas no se encuentran afectadas por actividades contaminantes de origen humano, lo que respalda la inocuidad del recurso para consumo directo.

2.1.5. Propiedades tecnofuncionales del manto

Las proteínas del manto de la pota se distribuyen en tres fracciones, sarcoplásmicas, miofibrilares y estromales, cuyo comportamiento frente al calor difiere de manera sustancial y condiciona la textura del producto final. León-Heredia et al. (2025), mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, dicroísmo circular y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo, evaluaron los cambios estructurales de estas tres fracciones en un rango de 25 a 100 °C. Los autores determinaron que las proteínas estromales presentan una marcada disminución de absorbancia entre 25 y 50 °C, lo que evidencia una sensibilidad térmica temprana, mientras que el dicroísmo circular confirmó una pérdida progresiva de hélices alfa y un incremento de estructuras de lámina beta por encima de los 60 °C. El análisis microscópico reveló morfologías diferenciadas entre fracciones, con estructuras amorfas en las proteínas sarcoplásmicas, redes fibrosas en las miofibrilares y morfologías densas y estratificadas en las estromales.

Estos hallazgos aportan el sustento estructural de un fenómeno previamente descrito a nivel tecnológico. Valencia-Pérez et al. (2008) demostraron que el tejido conectivo del manto de la pota sufre modificaciones por efecto del proceso térmico, de manera que el colágeno experimenta gelatinización y contracción térmica que incrementan la dureza del producto cuando no se controlan adecuadamente el tiempo y la temperatura de cocción. En conjunto, ambas evidencias justifican la necesidad de establecer un binomio tiempo y temperatura preciso en la etapa de precocción de la pota, tal como se plantea en la metodología de la presente investigación.

2.1.6. Aprovechamiento agroindustrial actual y limitaciones

El aprovechamiento de la pota en el Perú se concentra en la exportación de productos congelados con transformación mínima, principalmente filetes, anillas y tentáculos, mientras que su incorporación en productos de mayor valor agregado destinados al consumo interno permanece escasamente desarrollada. Esta situación configura una oportunidad tecnológica, dado que la especie reúne condiciones favorables para la elaboración de productos reestructurados como hamburguesas, nuggets y embutidos.

Diversas investigaciones respaldan esta línea de aprovechamiento. Calvo et al. (2016) propusieron la harina de calamar gigante como ingrediente funcional aplicable a productos de panificación y

sazonadores, mientras que Solari-Godiño et al. (2017) demostraron el potencial tecnológico del surimi liofilizado de la especie como polvo proteico funcional. En el ámbito nacional, Espinoza (2023) evaluó el valor nutricional y la aceptabilidad de un snack elaborado con maíz amarillo (Zea mays L.), haba (Vicia faba), mijo (Panicum miliaceum) y harina de pota (Dosidicus gigas), evidenciando la viabilidad de incorporar este recurso marino en matrices alimentarias mixtas dirigidas al consumo humano directo.

No obstante, persisten limitaciones tecnológicas que condicionan su incorporación en productos procesados. El sabor característico de la especie constituye un factor limitante para su aceptación sensorial en formulaciones de mayor inclusión (Calvo et al., 2016), y el control del binomio tiempo y temperatura durante el tratamiento térmico resulta determinante para evitar el endurecimiento del producto (Valencia-Pérez et al., 2008; León-Heredia et al., 2025). Estas limitaciones definen el marco tecnológico en el que se plantea la presente investigación, orientada a establecer una formulación optimizada que aproveche el aporte proteico de la pota manteniendo características sensoriales aceptables.

2.2. Tarwi (*Lupinus mutabilis*)

2.2.1. Generalidades

El tarwi, también conocido como chocho, altramuz andino o lupino andino (*Lupinus mutabilis Sweet*), es una leguminosa nativa de la región andina cultivada desde épocas precolombinas, cuyo grano destaca por concentrar uno de los contenidos proteicos más elevados entre las especies vegetales cultivadas. Su valor nutricional supera al de cereales convencionales e incluso al de la soya, lo que ha motivado un interés creciente en su revalorización como fuente proteica sostenible tanto en el contexto andino como en mercados internacionales (Meneses Quelal y Burbano Pulles, 2025).

Desde una perspectiva agroindustrial, el tarwi presenta una condición particular que condiciona toda su cadena de transformación. El grano contiene de forma natural alcaloides quinolizidínicos que le confieren un sabor amargo pronunciado y que resultan tóxicos en concentraciones elevadas, por lo que requiere un proceso previo de desamargado antes de su incorporación en alimentos destinados al consumo humano. Esta etapa, además de garantizar la inocuidad del producto, incide

directamente sobre el rendimiento del proceso y sobre la retención de compuestos de interés nutricional. En los apartados siguientes se describen su posición taxonómica, su producción en el Perú, su composición química, la problemática de los alcaloides y el desamargado, y las propiedades tecnofuncionales de la harina obtenida a partir de este grano.

2.2.2. Descripción botánica y taxonomía

Lupinus mutabilis Sweet es una especie perteneciente a la familia Fabaceae, grupo que reúne a las leguminosas y que se caracteriza por su capacidad de fijación biológica de nitrógeno atmosférico.

Tabla 2

Clasificación taxonómica de Lupinus mutabilis

Categoría taxonómica	Denominación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	*Lupinus*
Especie	*Lupinus mutabilis* Sweet

Nota. Adaptado de GBIF Secretariat (2026).

La especie presenta hábitos de crecimiento variables, que van desde formas determinadas hasta indeterminadas, y exige un manejo cuidadoso de la fecha de siembra. Bebeli et al. (2020) señalan que el cultivo muestra susceptibilidad a temperaturas extremas, al encharcamiento y a suelos alcalinos, limitaciones agronómicas que varían según la región y el genotipo empleado. Estas características explican que su cultivo se concentre en zonas altoandinas con condiciones edafoclimáticas específicas y que los intentos de expansión hacia otras latitudes hayan requerido programas de mejoramiento genético dirigidos.

Una característica agronómica de particular relevancia es la capacidad de la especie para fijar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis radicular, atributo que mejora la fertilidad del suelo y que favorece su inclusión en sistemas de rotación de cultivos. Esta condición, sumada a su resistencia a condiciones adversas, sustenta su consideración como un cultivo estratégico para sistemas agrícolas sostenibles.

2.2.3. Distribución y producción en el Perú

El tarwi se cultiva principalmente en la sierra peruana, en un rango altitudinal que coincide con las zonas tradicionales de producción de granos andinos. De acuerdo con información del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, la producción nacional alcanzó aproximadamente 16 000 toneladas durante el año 2023, sobre una superficie cultivada cercana a las 9 000 hectáreas, lo que representa un rendimiento promedio aproximado de 1,78 toneladas por hectárea. La producción se concentra territorialmente en La Libertad, que aporta el 32 % del total nacional, seguida de Cusco con el 15 % y Apurímac con el 9 %. La serie histórica evidencia un crecimiento sostenido pero moderado, con un incremento desde aproximadamente 11 000 toneladas en 2011 hasta las 16 000 toneladas registradas en 2023 (MIDAGRI, 2024).

Este panorama productivo revela una situación relevante para la presente investigación. Pese a su reconocido valor nutricional, el tarwi mantiene volúmenes de producción reducidos en comparación con otros granos andinos como la quinua, y su comercialización se orienta mayoritariamente al consumo directo del grano desamargado en preparaciones tradicionales, con escasa transformación industrial. Esta brecha entre potencial nutricional y aprovechamiento agroindustrial constituye precisamente el espacio de oportunidad que busca atender el desarrollo de productos como el propuesto en este estudio.

2.2.4. Composición química y valor nutricional

El grano de tarwi se distingue por un contenido proteico excepcionalmente elevado entre las especies vegetales. Bebeli et al. (2020) reportan que las semillas de L. mutabilis contienen entre 41 y 51 % de proteína y entre 14 y 24 % de aceite, valores superiores a los del lupino blanco, azul y amarillo, además de presentar un contenido de almidón notablemente bajo en comparación con otros lupinos cultivados. En la misma línea, Meneses Quelal y Burbano Pulles (2025), en una revisión sistemática reciente, sitúan el contenido proteico entre 41 y 53 % en materia seca, cifra que supera sustancialmente a la de cereales convencionales y a la de la soya, con un contenido graso de hasta 17 % predominantemente conformado por ácidos grasos insaturados y un contenido de fibra superior al 10 %.

La calidad de la proteína del tarwi resulta tan relevante como su cantidad. Meneses Quelal y Burbano Pulles (2025) destacan que la especie presenta perfiles completos de aminoácidos, con abundancia de lisina, aminoácido esencial que constituye precisamente el factor limitante en la mayoría de los cereales. Esta característica adquiere particular importancia en el marco de la presente investigación, dado que sustenta el principio de complementación proteica sobre el que se fundamenta la mezcla de tarwi con quinua y con proteína de origen marino.

En el ámbito nacional, Pantoja-Tirado et al. (2020) caracterizaron harina de tarwi obtenida en condiciones de laboratorio, reportando 49,04 % de proteína, 27,32 % de grasa, 6,33 % de humedad, 2,85 % de cenizas, 2,94 % de fibra y 11,52 % de carbohidratos, y concluyeron que esta harina constituye una materia prima óptima para el desarrollo de productos alimenticios funcionales y nutritivos en el contexto de la revalorización de cultivos andinos. Las diferencias observadas entre los valores reportados por distintos autores, particularmente en el contenido graso, se explican por la variabilidad genotípica de la especie, por las condiciones edafoclimáticas de cultivo y por las condiciones del proceso de desamargado y secado aplicado a cada lote.

2.2.5. Alcaloides quinolizidínicos y proceso de desamargado

El tarwi contiene de forma natural alcaloides quinolizidínicos, principalmente lupanina y esparteína, compuestos de sabor amargo y de carácter tóxico en concentraciones elevadas, que deben reducirse a niveles seguros antes del consumo humano. El proceso tradicional de desamargado combina las operaciones de remojo, cocción y lavados sucesivos con agua, mediante las cuales los alcaloides son lixiviados desde el grano hacia el medio acuoso.

La eficiencia de esta extracción depende de variables operativas que han sido objeto de estudio específico. Gutiérrez et al. (2016) evaluaron los factores que determinan la eficacia del desamargado del tarwi y establecieron criterios para su control, mientras que Rosas-Quina (2020) demostró que el tamaño de partícula del grano constituye un factor determinante en la extracción de alcaloides por el método convencional, de modo que la reducción del tamaño incrementa la superficie de contacto y acelera la lixiviación.

El desamargado, sin embargo, no constituye una operación exenta de consecuencias nutricionales. Meneses Quelal y Burbano Pulles (2025) advierten que este proceso, si bien resulta indispensable

para reducir los alcaloides tóxicos y mejorar la palatabilidad del grano, puede disminuir la capacidad antioxidante hasta en un 52,9 %, lo que configura un compromiso entre inocuidad y preservación funcional. A ello se suma que un desamargado incompleto compromete la inocuidad del producto final, mientras que uno excesivo puede favorecer pérdidas de proteína soluble (Gutiérrez et al., 2016). Estas consideraciones justifican que la eficacia del desamargado se verifique mediante pruebas cualitativas o cuantitativas de alcaloides residuales, y que el proceso se controle cuidadosamente en términos de tiempo, número de lavados y temperatura.

2.2.6. Propiedades tecnofuncionales de la harina de tarwi

Más allá de su aporte nutricional, la harina de tarwi presenta propiedades tecnofuncionales que condicionan su comportamiento dentro de una matriz alimentaria. Meneses Quelal y Burbano Pulles (2025) señalan que su capacidad de retención de agua y de aceite favorece su incorporación en productos de panificación, y documentan que la inclusión de esta harina en formulaciones de panificación y extrusión incrementó el contenido de proteína y fibra entre 10 y 50 %, con mejoras en la aceptabilidad sensorial en el 80 % de los ensayos evaluados. Los mismos autores reportan incorporaciones exitosas en niveles de 20 a 30 % en panes y galletas, si bien establecen que en mezclas con harina de trigo el nivel máximo de incorporación sin inhibición de la fermentación se sitúa entre 10 y 15 %.

Estas propiedades han sido aprovechadas en diversas aplicaciones desarrolladas en el ámbito nacional. Céspedes Gira (2022) describió el proceso tecnológico para la obtención de harina integral de tarwi como complemento alimenticio, estableciendo parámetros de desamargado, secado y molienda. En productos de panificación, Aguirre (2020) evaluó el efecto de la harina de tarwi en la elaboración de masa madre para pan francés, Gutiérrez (2022) desarrolló pan de molde con sustitución parcial por harina de quinua y tarwi, y Bracamonte (2023) caracterizó galletas sustituidas parcialmente por harina de tarwi y harina de kañiwa. En el campo de los ingredientes formulados, Astudillo y Farfán (2024) desarrollaron una harina proteica extruida a base de harina de arveja, kiwicha y tarwi.

De particular relevancia para la presente investigación resulta el trabajo de Valderrama et al. (2025), quienes desarrollaron una hamburguesa de origen vegetal con alto contenido proteico empleando harina de tarwi, frejol negro y harina de cushuro. La formulación, que incluyó 45 % de

harina de tarwi, alcanzó 30,48 % de proteína y una aceptabilidad sensorial del 86,67 %, con preferencia por su sabor, textura y apariencia. Este antecedente demuestra que la harina de tarwi puede incorporarse en niveles elevados dentro de matrices tipo hamburguesa manteniendo características sensoriales favorables, lo que respalda su selección como ingrediente enriquecedor en la formulación propuesta en este estudio.

2.3. Quinua (Chenopodium quinoa)

2.3.1. Generalidades

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es un pseudocereal andino reconocido por la calidad de su proteína y por la ausencia de gluten en su composición. El Perú se ubica como uno de los principales productores y exportadores mundiales de este grano, condición que contrasta con el escaso desarrollo de productos transformados en el mercado interno.

A diferencia del tarwi, cuyo factor anti nutricional corresponde a los alcaloides quinolizidínicos, la quinua concentra saponinas en la cubierta externa del grano, compuestos de sabor amargo que también exigen una etapa previa de eliminación. Los apartados siguientes describen su posición taxonómica, su producción nacional, su composición química, la problemática de las saponinas y las propiedades tecnofuncionales de la harina obtenida a partir de este grano

2.3.2. Descripción botánica y taxonomía

Chenopodium quinoa Willd. pertenece a la familia Amaranthaceae, dentro del orden Caryophyllales. Su clasificación taxonómica se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la quinua

Categoría taxonómica	Denominación
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	*Chenopodium*
Especie	*Chenopodium quinoa* Willd.

Nota. Adaptado de GBIF Secretariat (2026).

La ubicación de la especie dentro de la familia Amaranthaceae, y no dentro de las gramíneas, sustenta su denominación como pseudocereal, categoría que agrupa a las especies cuyas semillas se consumen y procesan como granos de cereal pese a no pertenecer botánicamente a ese grupo. Esta condición tiene una consecuencia tecnológica directa, ya que la quinua carece de gluten y su harina no desarrolla redes viscoelásticas equivalentes a las del trigo, lo que condiciona su nivel de incorporación en matrices alimentarias.

2.3.3. Distribución y producción en el Perú

Pantaleón Santa María et al. (2024) analizaron la dinámica de la producción y exportación de quinua en el Perú entre 2012 y 2022, y reportaron un crecimiento promedio anual del 14 % en la producción durante el periodo. La superficie cultivada pasó de 38 495 hectáreas en 2012 a 69 935 hectáreas en 2022, con rendimientos de 1,14 y 1,64 toneladas por hectárea respectivamente, mientras que la producción se incrementó de 44 213 toneladas en 2012 a 113 542 toneladas en 2022, tras alcanzar un máximo de 114 725 toneladas en 2014.

En el plano comercial, los mismos autores señalan que aproximadamente el 46 % de la producción nacional se destina anualmente a la exportación. El valor exportado alcanzó su máximo en 2014 con 195 132 619 dólares FOB y descendió a 91 094 780 dólares en 2022, comportamiento explicado por la caída del precio unitario, que pasó de 5,34 dólares por kilogramo en 2014 a 1,96 dólares por kilogramo en 2022. Los principales mercados de destino en 2022 fueron Estados

Unidos, con el 35 % de participación, Canadá con el 10 %, y los Países Bajos e Italia con el 5 % cada uno.

Este panorama evidencia que la cadena de valor de la quinua se encuentra orientada mayoritariamente al grano sin procesar destinado al mercado externo, con escaso desarrollo de productos transformados de mayor valor agregado, situación análoga a la observada en la pota y en el tarwi.

2.3.4. Composición química y perfil de aminoácidos

Pantoja-Tirado et al. (2020) caracterizaron harina de quinua obtenida en condiciones de laboratorio y reportaron 72,39 % de carbohidratos, 9,05 % de proteína, 10,48 % de humedad, 2,53 % de grasa, 2,44 % de cenizas y 3,11 % de fibra, y concluyeron que constituye una materia prima óptima para el desarrollo de productos alimenticios funcionales.

Valores proteicos superiores han sido reportados en harinas de procedencia comercial. Keyes et al. (2026) determinaron 15,28 ± 0,92 g por 100 g de proteína y 5,69 ± 1,14 g por 100 g de fibra dietética en harina de quinua, así como 39,40 ± 1,60 g por 100 g de proteína en un concentrado proteico obtenido de la misma especie. Esta amplitud en los valores responde a la variabilidad genotípica, a las condiciones de cultivo y al grado de procesamiento del grano, particularmente a la remoción de la cubierta externa durante la desaponificación.

El aprovechamiento nutricional de la especie no se restringe al grano. Pathan y Siddiqui (2022), en una revisión dedicada a las hojas y brotes de quinua, documentaron que estas fracciones vegetativas también concentran nutrientes y componentes bioactivos de interés alimentario.

2.3.5. Saponinas y desaponificación

Karydogianni et al. (2026) señalan que las saponinas se localizan principalmente en la cubierta externa del grano de quinua, con concentraciones que varían entre 0,01 % y 4,65 % de la materia seca según la variedad y las condiciones ambientales. Las variedades dulces contienen hasta 0,11 % de saponinas, mientras que las amargas superan ese umbral, con cantidades que oscilan entre 140 y 2300 mg por 100 g de peso seco. Los mismos autores indican que estos compuestos confieren

el sabor amargo característico, razón principal de su eliminación previa al consumo, y precisan que por debajo del 0,12 % exhiben actividades biológicas beneficiosas.

La eliminación de saponinas se realiza tradicionalmente por vía húmeda, mediante lavado, o por vía seca, mediante descascarado mecánico. El Hazzam et al. (2022) optimizaron el proceso húmedo mediante un diseño Box-Behnken y establecieron como condiciones óptimas una temperatura de 50 °C, un tiempo de tratamiento de 60 a 69 minutos y un volumen de agua de 6,99 a 7,50 mL por gramo de semilla, aplicados en un solo lavado con agitación y sin fase de remojo, con lo cual alcanzaron una eliminación de saponinas de 96,53 % a 96,77 %.

Los mismos autores evaluaron el efecto del proceso sobre las propiedades nutricionales y tecnofuncionales del grano. El contenido proteico no registró cambios significativos, con valores de 11,58 a 18,46 g por 100 g antes del tratamiento y de 13,34 a 16,06 g por 100 g después. En contraste, la capacidad de retención de agua mejoró entre 32 % y 58 %, mientras que la actividad emulsificante disminuyó de manera marcada, entre 65 % y 92 %, reducción que los autores correlacionaron con la remoción de saponinas. El contenido de compuestos fenólicos totales se incrementó tras el lavado, alcanzando valores de 139 a 188 mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g.

Estos hallazgos tienen implicancia directa sobre la presente investigación, dado que la desaponificación modifica de manera diferenciada las propiedades funcionales de la harina, favoreciendo la retención de agua, pero comprometiendo la capacidad emulsificante, atributos ambos relevantes en la formulación de productos cárnicos reestructurados.

2.3.6. Propiedades tecnofuncionales de la harina de quinua

Keyes et al. (2026) caracterizaron las propiedades tecnofuncionales de tres ingredientes derivados de quinua y reportaron, para la harina, una capacidad de retención de agua de 67,93 ± 0,92 %, una capacidad de retención de aceite de 93,23 ± 5,60 %, una estabilidad de emulsión expresada como tasa de separación de 0,28 ± 0,07 % por minuto, una capacidad espumante de 10,00 ± 2,00 % y una concentración mínima de gelificación de 18 %. El concentrado proteico de la misma especie presentó una capacidad de retención de agua de 148,76 ± 0,59 % y una concentración mínima de

gelificación de 12 %, lo que llevó a los autores a concluir que dicho ingrediente resulta adecuado como fortificante proteico en sistemas de base vegetal y libres de gluten.

Estas propiedades han sido aprovechadas en aplicaciones alimentarias diversas. Bahmanyar et al. (2021) evaluaron la sustitución de proteína de soya y pan rallado por harina de quinua y harina de alforfón en hamburguesas de carne, y determinaron que las formulaciones con quinua destacaron por su mayor contenido de minerales como magnesio, fósforo, hierro y zinc, además de obtener una mayor aceptación general y una mejor puntuación en el atributo sabor frente a las formulaciones tradicionales con soya. Los mismos autores reportaron una mejor estabilidad en el tiempo de las hamburguesas con quinua durante el análisis de vida útil.

En productos de base marina, Cardoso et al. (2024) emplearon quinua junto con caballa y el alga *Saccorhiza polyschides* en la formulación de una hamburguesa funcional orientada a la prevención del deterioro cognitivo, obteniendo elevados contenidos de selenio y yodo con buena bioaccesibilidad. En panificación, Huatuco Lozano et al. (2020) evaluaron la sustitución parcial de harina de trigo por harina de granadilla y harina de quinua en galletas dulces, mientras que Gutiérrez (2022) desarrolló pan de molde con sustitución parcial por harina de quinua y tarwi.

Finalmente, Siche et al. (2016) aplicaron un diseño simplex-centroide y la función de deseabilidad para optimizar la aceptabilidad sensorial de pan dulce enriquecido con *Chenopodium quinoa*, antecedente doblemente relevante para esta investigación por combinar la misma especie y la misma herramienta estadística empleada en el presente estudio.

2.4. Hamburguesa y productos cárnicos reestructurados

2.4.1. Definición y clasificación

Los productos cárnicos reestructurados son aquellos en los que el músculo se reduce de tamaño mediante picado, molienda o corte, y las partículas resultantes se vuelven a unir para conformar una pieza con textura y apariencia semejantes a las del músculo entero. La hamburguesa constituye el ejemplo más difundido de esta categoría, al tratarse de un producto de carne picada moldeada en forma de disco, con incorporación de sal, aditivos, condimentos y, con frecuencia, ingredientes de origen vegetal que actúan como ligantes o extensores.

Cheng et al. (2024) clasifican las técnicas de reestructuración en tres grupos. Las técnicas físicas comprenden el tratamiento térmico, el procesamiento por alta presión, el ultrasonido, los campos eléctricos pulsados y el sistema Pi-Vac, y actúan modificando la estructura de las proteínas; los autores señalan que el ultrasonido facilita la degradación de las miofibrillas, las cuales contribuyen a unir la mezcla cárnica, mejorando la microestructura y las características sensoriales. Las técnicas químicas emplean polisacáridos comestibles como almidón, celulosa, alginato, carragenina y goma konjac en calidad de agentes gelificantes y ligantes, junto con sal y fosfatos que favorecen la extracción proteica y la retención de agua. Las técnicas enzimáticas se basan en la transglutaminasa, que cataliza el entrecruzamiento proteico mediante enlaces epsilon-(gamma-glutamil)-lisilo, descritos por los autores como relativamente estables y difíciles de romper.

La presente investigación se sitúa dentro de las técnicas físicas y químicas convencionales, ya que la cohesión de la matriz se obtiene mediante el picado de la carne marina, la extracción de proteína soluble favorecida por la sal y la acción ligante de las harinas incorporadas, sin recurrir a enzimas ni a tecnologías de procesamiento no térmico

2.4.2. Hamburguesas de base marina

El desarrollo de hamburguesas elaboradas con recursos hidrobiológicos responde a dos motivaciones convergentes, el aprovechamiento de especies subutilizadas o de bajo valor comercial y la incorporación de proteína de alta calidad con bajo contenido lipídico en formatos de consumo práctico. La tabla siguiente resume los principales antecedentes de formulación de hamburguesas de base marina considerados en esta investigación.

Tabla 4

Antecedentes de formulación de hamburguesas de base marina

Especie base	Ingrediente incorporado	Principal hallazgo
Tambica (*Oligosarcus robustus*)[a]	Sin ingrediente añadido	Carne cruda con 82,3 % de humedad, 13,1 % de proteína, 3,1 % de minerales y 1,5 % de grasa
Tilapia del Nilo[b]	Harina de residuos de marañón al 5 % y 10 %	Sin diferencias significativas en la composición centesimal, salvo en agua y carbohidratos
Tilapia del Nilo[c]	Harina de taro, suero de leche y colágeno	El suero y la harina de taro redujeron la pérdida de peso y el encogimiento
Pescado[d]	Harina de linaza al 5 %, 10 % y 15 %	Mayor rendimiento de cocción que el control; mejor aceptación general con 10 %
Salmón y bagre rayado[e]	Hongo ostra al 10 % y 15 % y aislado de proteína de soya al 2 %	Reducción de los valores de TBARS y mejora del rendimiento de cocción
Lubina y dorada[f]	Cultivos bioprotectores de bacterias ácido-lácticas	Vida útil extendida hasta 12 días
Tambacu[g]	Harina de cáscara de maracuyá al 3,1 %, 3,7 % y 4,3 %	Menor dureza, elasticidad y masticabilidad; reducción de cenizas y sodio
Bonito[h]	Alga marina roja	El tratamiento de mayor aceptación alcanzó 30,60 % de proteína y 229,65 kcal por 100 g
Caballa[i]	Quinua y alga *Saccorhiza polyschides*	Selenio de 48 a 61 µg y yodo de 221 a 255 µg por 100 g
Bonito atlántico[j]	Garbanzo, *Spirulina*, *Fucus vesiculosus* e hidrocoloides	Fibra 1,5 veces mayor y proteína 2,8 veces mayor que el control

Nota. [a] Castro et al. (2020). [b] Amaral et al. (2021). [c] Maciel et al. (2021). [d] Duman (2022). [e] Pachekrepapol et al. (2022). [f] Iacumin et al. (2022). [g] Silva et al. (2023). [h] Méndez-Ancca et al. (2023). [i] Cardoso et al. (2024). [j] Solinho et al. (2025).

Del conjunto de antecedentes se desprenden tres constantes. La primera es que la incorporación de harinas e ingredientes vegetales mejora el rendimiento de cocción y reduce las pérdidas por encogimiento, atributo tecnológico crítico en matrices de alta humedad como las de base marina.

La segunda es que dichas incorporaciones incrementan el aporte proteico y de fibra sin comprometer de manera significativa la aceptabilidad sensorial, siempre que se respeten niveles moderados de inclusión. La tercera es que la mayoría de los estudios emplea diseños factoriales o comparaciones entre formulaciones discretas, y solo una fracción reducida aplica herramientas de optimización de mezclas, lo que sitúa el enfoque metodológico de esta tesis en un espacio poco explorado.

2.4.3. Hamburguesas híbridas y enriquecimiento proteico vegetal

Las hamburguesas híbridas combinan proteína animal y proteína vegetal en una misma matriz, categoría que se diferencia tanto de la hamburguesa cárnica tradicional como de los análogos completamente vegetales. Mercês et al. (2024), en una revisión integrativa sobre el tema, identificaron que es posible desarrollar hamburguesas híbridas y vegetales empleando fuentes proteicas diversas como soya, frijol blanco, arveja texturizada, pseudocereales y castañas de cajú. Los autores señalan que las formulaciones híbridas logran reducir el contenido de grasas saturadas al combinar carne con proteínas vegetales, mientras que las vegetales destacan por su alto contenido de proteína y fibra y su bajo contenido graso, y advierten que el principal reto reside en replicar la textura y el sabor característicos de la hamburguesa de carne.

En el plano experimental, Bahmanyar et al. (2021) sustituyeron proteína de soya y pan rallado por harina de quinua y harina de alforfón en hamburguesas de carne, y obtuvieron formulaciones con mayor contenido de magnesio, fósforo, hierro y zinc, mayor aceptación general y mejor estabilidad durante el almacenamiento. Por su parte, Valderrama et al. (2025) desarrollaron una hamburguesa de base vegetal con 45 % de harina de tarwi, 8,77 % de frejol negro, 2,33 % de harina de cushuro y 36 % de huevo, alcanzando 30,48 % de proteína, 36,19 % de humedad, 22,06 % de grasa y 8,91 % de carbohidratos, con una aceptabilidad sensorial del 86,67 %.

El producto propuesto en esta tesis se inscribe en la categoría híbrida, al combinar una matriz proteica de origen marino con harinas de tarwi y quinua, con la particularidad de que la proporción de cada componente se determina mediante un diseño de mezclas y no mediante niveles fijos de sustitución.

2.4.4. Alimentos funcionales y complementación proteica

El concepto de alimento funcional designa a aquel producto que, además de su valor nutricional, aporta un beneficio demostrable sobre una o más funciones del organismo o reduce el riesgo de enfermedad, y que se consume como parte de la dieta habitual y no en forma de cápsulas o pastillas. Arias Escobar et al. (2024) desarrollan una revisión de alcance sobre las perspectivas en el desarrollo y consumo de este tipo de alimentos y su promoción en la salud, mientras que Zamora y Barboza (2020) documentan el consumo de alimentos funcionales en población universitaria, segmento que coincide con el público objetivo de la presente investigación.

El fundamento nutricional de la formulación propuesta reside en la complementación proteica. Las proteínas de las leguminosas, como el tarwi, son ricas en lisina pero limitantes en aminoácidos azufrados, mientras que las proteínas de origen marino aportan un perfil completo de aminoácidos esenciales. La combinación de ambas fuentes en una misma matriz permite obtener un perfil aminoacídico más equilibrado que el de cualquiera de los componentes por separado, principio que sustenta la mezcla de carne marina, harina de tarwi y harina de quinua planteada en este estudio

2.4.5. Parámetros de calidad

2.4.5.1. Parámetros fisicoquímicos

La caracterización fisicoquímica de una hamburguesa comprende la composición proximal, esto es humedad, proteína, grasa, cenizas y carbohidratos, así como el pH y el color instrumental. El contenido proteico constituye la variable respuesta principal de esta investigación, dado que el objetivo del producto es el enriquecimiento proteico. El pH condiciona la capacidad de retención de agua y la estabilidad microbiológica, mientras que el color, expresado en las coordenadas L, *a* y b*, determina la primera impresión del consumidor y resulta especialmente sensible a la incorporación de harinas, que tienden a modificar la luminosidad y la tonalidad del producto.

2.4.5.2. Parámetros tecnológicos (CRA y rendimiento de cocción)

La capacidad de retención de agua se define como la habilidad de una matriz proteica para retener el agua propia y la añadida durante la aplicación de fuerzas externas como el corte, la cocción o el prensado, y constituye uno de los principales determinantes de la jugosidad, el rendimiento de

cocción y la textura de los productos cárnicos reestructurados (Cheng y Sun, 2008). Los mismos autores indican que esta propiedad depende de la interacción entre las proteínas miofibrilares, el pH del sistema, la fuerza iónica, la temperatura de cocción y la presencia de ingredientes funcionales capaces de formar geles o unir agua dentro de la matriz cárnica. Una menor capacidad de retención de agua se traduce en mayores pérdidas por cocción y en productos más secos y de textura más dura.

El rendimiento de cocción, expresado como el porcentaje de masa retenida tras el tratamiento térmico, y la reducción de diámetro y espesor constituyen las medidas prácticas de este fenómeno. Los antecedentes revisados coinciden en que la incorporación de harinas e hidrocoloides mejora ambos indicadores, tal como reportaron Duman (2022) con harina de linaza y Maciel et al. (2021) con harina de taro y suero de leche.

2.4.5.3. Parámetros sensoriales

La evaluación sensorial afectiva mide el grado de agrado o desagrado del consumidor frente al producto. Wichchukit y O'Mahony (2015) analizan la escala hedónica de nueve puntos y el ordenamiento hedónico en ciencia de los alimentos, y señalan que, a diferencia de las pruebas discriminativas o descriptivas, que requieren panelistas entrenados, las pruebas hedónicas pueden aplicarse con panelistas no entrenados o semientrenados, puesto que buscan capturar la respuesta subjetiva de aceptación más que una caracterización técnica del producto. Los atributos habitualmente evaluados en hamburguesas son color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general, siendo este último el criterio de decisión más frecuente en la selección del tratamiento óptimo.

2.4.5.4. Parámetros microbiológicos e inocuidad

Los productos de base marina presentan una elevada perecibilidad debida al deterioro enzimático y microbiano, condición que obliga a un control estricto de la cadena de frío y de las condiciones de manipulación. Castro et al. (2020) detectaron niveles elevados de *Staphylococcus* coagulasa positiva en la carne cruda de la especie que evaluaron, lo que evidencia la necesidad de controles rigurosos durante el procesamiento. Amaral et al. (2021) verificaron que todas sus formulaciones cumplieron con los estándares microbiológicos establecidos por la legislación de su país, mientras que Pachekrepapol et al. (2022) observaron que la adición de hongo ostra incrementó el recuento

total de microorganismos viables, aunque este se mantuvo dentro de límites aceptables para consumo humano y no varió significativamente durante el almacenamiento.

Una estrategia complementaria para el control del deterioro es el empleo de cultivos bioprotectores. Iacumin et al. (2022) aplicaron cuatro cultivos iniciadores de bacterias ácido-lácticas en hamburguesas de lubina y dorada y lograron extender la vida útil del producto hasta doce días, con reducción del nitrógeno básico volátil total y mejora del perfil sensorial frente a las muestras no inoculadas.

2.4.6. Normativa y requisitos técnicos aplicables

En el Perú, los criterios microbiológicos exigibles a los alimentos y bebidas destinados al consumo humano se encuentran establecidos en la Norma Sanitaria NTS N.° 071-MINSA/DIGESA-V.01, aprobada mediante Resolución Ministerial N.° 591-2008/MINSA del 29 de agosto de 2008, la cual fija los límites de aceptación por grupo de alimento y constituye el marco de referencia para la verificación de la inocuidad del producto desarrollado.

El marco normativo aplicable se complementa con las Normas Técnicas Peruanas sobre carne y productos cárnicos administradas por el Instituto Nacional de Calidad, que establecen definiciones, requisitos de composición y métodos de ensayo para esta categoría de productos. La identificación de la norma específica aplicable a hamburguesas y su verificación documental deben realizarse directamente ante dicha institución, por cuanto el acceso al texto íntegro de estas normas es restringido.

2.5. Procesamiento de las materias primas

2.5.1. Elaboración de harinas de leguminosas y pseudocereales

La obtención de harina a partir de granos andinos comprende una secuencia común de recepción y selección, limpieza, acondicionamiento, secado, molienda, tamizado y envasado. La etapa de acondicionamiento es la que introduce la mayor diferencia entre especies, dado que responde al factor antinutricional propio de cada grano. En el tarwi corresponde al desamargado por lixiviación de alcaloides quinolizidínicos, cuya eficacia depende del tiempo de remojo, del número de lavados y del tamaño de partícula del grano (Gutiérrez et al., 2016; Rosas-Quina, 2020). En la quinua

corresponde a la desaponificación, que El Hazzam et al. (2022) optimizaron por vía húmeda a 50 °C durante 60 a 69 minutos con 6,99 a 7,50 mL de agua por gramo de semilla, alcanzando una eliminación de saponinas de 96,53 % a 96,77 %.

El tratamiento térmico aplicado durante el acondicionamiento y el secado modifica de manera medible las propiedades de la harina resultante. Carboni et al. (2024), al comparar harina de lenteja cruda y tratada térmicamente, registraron un aumento de la fibra dietética de 25,4 % a 27,6 %, una disminución de las cenizas de 3,3 % a 1,8 % y un incremento de la capacidad de retención de agua de aproximadamente 2,5 a 3,2 g de agua por gramo de harina. El análisis por calorimetría diferencial de barrido evidenció gelatinización parcial del almidón, con una caída de la entalpía de 4,60 J/g en la harina cruda a 1,56 J/g en la tratada. Estos cambios explican por qué dos harinas procedentes del mismo lote de grano pueden comportarse de manera distinta en una formulación si difieren las condiciones de secado.

En el caso específico del tarwi, Céspedes Gira (2022) describió el proceso tecnológico completo para obtener harina integral destinada a consumo humano, con caracterización de la materia prima, desamargado, secado bajo diseño factorial de tiempo y temperatura, molturación en molino de martillos y tamizado a 500 µm. Respecto a los niveles de incorporación viables, Meneses Quelal y Burbano Pulles (2025) documentan inclusiones exitosas de 20 % a 30 % de harina de *Lupinus mutabilis* en panes y galletas, aunque establecen que en mezclas con harina de trigo el límite sin inhibición de la fermentación se sitúa entre 10 % y 15 %.

2.5.2. Tratamiento térmico y desnaturalización proteica en cefalópodos

El músculo de los cefalópodos responde al calor de manera distinta al de los peces con aleta, debido a la mayor proporción de tejido conectivo y a la presencia de paramiosina. Valencia-Pérez et al. (2008) demostraron que el proceso térmico modifica el tejido conectivo del manto de pota, de modo que el colágeno experimenta gelatinización y contracción térmica que incrementan la dureza del producto cuando no se controlan el tiempo y la temperatura de cocción.

León-Heredia et al. (2025) aportaron el sustento molecular de ese comportamiento al evaluar tres fracciones proteicas del manto en un rango de 25 a 100 °C. Las proteínas estromales mostraron una marcada disminución de absorbancia entre 25 y 50 °C, lo que indica sensibilidad térmica

temprana, mientras que por encima de los 60 °C el dicroísmo circular registró pérdida progresiva de hélices alfa y aumento de estructuras de lámina beta. La microscopía electrónica reveló morfologías diferenciadas, con estructuras amorfas en las proteínas sarcoplásmicas, redes fibrosas en las miofibrilares y morfologías densas y estratificadas en las estromales.

La consecuencia tecnológica es que el binomio tiempo y temperatura de la precocción debe fijarse en un punto que asegure la inocuidad y la coagulación proteica sin llevar la contracción del colágeno a niveles que endurezcan la matriz, ya que esa dureza se arrastra al producto reestructurado final y no se corrige en etapas posteriores.

2.5.3. Operaciones de molienda, tamizado y granulometría

El tamaño de partícula de la harina condiciona tanto su composición como su comportamiento funcional dentro de la formulación. Carboni et al. (2024) separaron harina de lenteja en cinco fracciones granulométricas, desde la mayor o igual a 1,0 mm hasta la menor a 0,125 mm, y determinaron que las fracciones gruesas concentran mayor contenido de fibra y menor contenido de carbohidratos que las finas, mientras que la fracción más fina registró el menor contenido de fibra, cercano a 24 %. El contenido proteico, en cambio, se mantuvo constante entre fracciones.

Olakanmi et al. (2024) evaluaron harina de haba molida a 0,14, 0,50 y 1,0 mm y reportaron que la fracción más fina presentó mayor daño de almidón junto con mayores niveles de proteína y grasa, además de una capacidad espumante y un comportamiento de gelificación superiores. La capacidad de gelificación fue de 14 % en las fracciones fina y media frente a 20 % en la gruesa, y la harina gruesa produjo gotas de aceite significativamente mayores en emulsión. Los mismos autores observaron que la digestión del almidón mejoró conforme aumentó el tamaño de partícula.

En el tarwi, la granulometría opera además sobre una etapa previa. Rosas-Quina (2020) demostró que el tamaño de partícula del grano determina la eficiencia de extracción de alcaloides por el método convencional, dado que la reducción del tamaño incrementa la superficie de contacto y acelera la lixiviación. La molienda cumple así una doble función en esta especie, ya que interviene en la inocuidad del ingrediente y no solo en su funcionalidad.

2.5.4. Aditivos y coadyuvantes en productos cárnicos reestructurados

La cohesión de una matriz cárnica reestructurada depende de la extracción de proteína miofibrilar soluble en sal y de la acción de ingredientes capaces de formar geles o retener agua. Cheng et al. (2024) señalan que los polisacáridos comestibles, entre ellos el almidón, la celulosa, el alginato, la carragenina y la goma konjac, actúan como agentes gelificantes y ligantes, mientras que la sal y los fosfatos favorecen la extracción proteica y la retención de agua. Los mismos autores indican que la tendencia actual apunta a la reducción de sodio mediante sustitución parcial por cloruro de potasio o cloruro de calcio, y describen el uso de transglutaminasa microbiana como alternativa enzimática de ligado.

Cheng y Sun (2008) precisan que la capacidad de retención de agua depende de la interacción entre las proteínas miofibrilares, el pH del sistema, la fuerza iónica, la temperatura de cocción y la presencia de ingredientes funcionales capaces de unir agua dentro de la matriz, y advierten que una menor capacidad de retención se traduce en mayores pérdidas por cocción y en productos más secos y de textura más dura.

En la formulación desarrollada en esta investigación, las harinas de tarwi y quinua cumplen una función doble, ya que aportan proteína vegetal complementaria y actúan simultáneamente como agentes de retención de agua dentro de la matriz, papel que en las formulaciones convencionales suelen desempeñar el pan rallado o los almidones añadidos.

2.6. Diseño de mezclas y optimización de formulaciones

2.6.1. Fundamento del diseño de mezclas

El diseño de mezclas es un tipo particular de diseño experimental en el que los factores no son independientes entre sí, sino proporciones de los componentes de una formulación que deben sumar siempre la unidad. Esta restricción de cierre, formalizada por Scheffé (1958), implica que la variable de interés no es la cantidad absoluta de cada ingrediente sino su proporción relativa dentro de la mezcla, de modo que el incremento de un componente obliga necesariamente a la disminución de al menos otro. Como consecuencia, el espacio experimental deja de ser un cubo,

como ocurre en los diseños factoriales convencionales, y adopta la forma de un símplex, que en el caso de tres componentes corresponde a un triángulo equilátero.

Squeo et al. (2021), en una revisión sobre el uso de estos diseños en el sector alimentario, identifican dos categorías principales, los diseños símplex reticular y los diseños símplex centroide, y señalan que los diseños óptimos, en particular el D-óptimo, se emplean cuando el dominio restringido impide la aplicación de los diseños estándar. Los mismos autores advierten sobre dos problemas recurrentes en la literatura, la dificultad para interpretar los coeficientes del modelo y la validación inadecuada del mismo, y subrayan que la validación debe realizarse siempre para garantizar la precisión de las predicciones.

2.6.2. Diseño simplex-centroide con restricciones

El diseño símplex centroide fue propuesto por Scheffé (1963) y evalúa los vértices del símplex, los puntos medios de sus aristas y el centroide de la región factible. Para una mezcla de tres componentes, esta estructura genera siete puntos experimentales, correspondientes a los tres vértices, los tres puntos medios de arista y el centroide global, distribución que permite explorar de manera sistemática tanto los extremos como las combinaciones intermedias del espacio de formulación.

En aplicaciones alimentarias, las proporciones de los componentes rara vez pueden variar entre cero y la unidad, ya que existen límites tecnológicos que acotan cada ingrediente. Squeo et al. (2021) explican que cuando las proporciones no pueden abarcar todo el rango se deben aplicar restricciones que generan subdominios regulares o irregulares, y precisan que al reducirse el símplex los componentes pueden transformarse en los denominados pseudocomponentes. Esta transformación permite conservar la estructura estándar del diseño dentro de la región factible acotada, que es el procedimiento aplicado en la presente investigación.

El antecedente más próximo al enfoque metodológico de este estudio corresponde a Presenza et al. (2022), quienes emplearon un diseño símplex centroide con tres pseudocomponentes, carne separada mecánicamente de tambaquí, avena y almidón de yuca, generando siete formulaciones que incluyeron componentes puros, mezclas binarias y combinaciones ternarias. Los autores evaluaron propiedades fisicoquímicas, seguridad microbiológica, perfil de textura, rendimiento de

cocción, color y análisis sensorial descriptivo y afectivo. La formulación óptima contuvo 82,5 % de carne separada mecánicamente, 5 % de avena y 5 % de almidón de yuca, alcanzó una puntuación de 7,58 en la escala hedónica de nueve puntos para aceptación global y representó una reducción de costo cercana al 9,69 % frente al control sin harinas.

2.6.3. Modelos polinomiales de Scheffé

Debido a la restricción de cierre, los modelos de regresión aplicables a mezclas carecen de término independiente, puesto que este resulta redundante cuando las proporciones suman la unidad. Scheffé (1958) formuló en consecuencia los denominados polinomios canónicos, cuyas formas de uso más extendido son la lineal, la cuadrática y la cúbica especial.

El modelo lineal expresa la respuesta como la suma ponderada de los componentes, según $y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$, donde cada coeficiente representa la respuesta esperada del componente puro correspondiente. El modelo cuadrático incorpora los términos de interacción binaria, según $y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3$, en los que un coeficiente positivo indica sinergia entre los dos componentes y uno negativo indica antagonismo. El modelo cúbico especial añade el término de interacción ternaria $\beta_{123} x_1 x_2 x_3$, que recoge el efecto conjunto de los tres componentes y cuya estimación requiere que el diseño incluya el punto centroide.

Squeo et al. (2021) advierten que en el contexto de mezclas los coeficientes del modelo no se relacionan con los efectos en el sentido de los diseños factoriales, razón por la cual la interpretación de los resultados debe apoyarse en las superficies de respuesta y no en la lectura directa de los coeficientes.

2.6.4. Metodología de superficie de respuesta y función de deseabilidad

La metodología de superficie de respuesta permite representar gráficamente el comportamiento de cada variable dependiente dentro de la región factible y localizar las zonas de respuesta óptima. Kidane (2021) documenta su aplicación en el modelado y la optimización de procesos alimentarios, señalando que reduce el número de ensayos necesarios respecto a la experimentación por prueba y error.

Cuando el objetivo consiste en optimizar simultáneamente varias respuestas que no alcanzan su óptimo en el mismo punto del espacio experimental, se recurre a la función de deseabilidad propuesta por Derringer y Suich (1980). El procedimiento transforma cada respuesta en un valor de deseabilidad individual comprendido entre cero y uno, donde cero corresponde a un resultado inaceptable y uno al valor más favorable, y combina luego esos valores mediante una media geométrica que constituye la deseabilidad global. La formulación óptima es aquella que maximiza dicha deseabilidad global, lo que obliga a que ninguna respuesta individual sea inaceptable, dado que un valor nulo en cualquiera de ellas anula el conjunto.

Siche et al. (2016) aplicaron precisamente esta combinación de diseño símplex centroide y función de deseabilidad para optimizar la aceptabilidad sensorial de pan dulce enriquecido con *Chenopodium quinoa*, antecedente que valida la pertinencia de la estrategia estadística adoptada en la presente investigación, en la que deben conciliarse el aporte proteico, las características fisicoquímicas y la aceptabilidad sensorial del producto.

2.7. Métodos analíticos aplicados

2.7.1. Determinación de proteína por combustión (método Dumas)

El método Dumas cuantifica el nitrógeno total mediante combustión seca de la muestra a temperaturas cercanas a los 900 °C en atmósfera de oxígeno puro. El nitrógeno se libera como N_2 gaseoso y se mide por conductividad térmica, y el contenido proteico se obtiene multiplicando el nitrógeno total por un factor de conversión, habitualmente 6,25.

La equivalencia de este método frente al Kjeldahl tradicional ha sido establecida mediante estudios interlaboratorio. Wiles et al. (1998), en un ensayo con once laboratorios y matrices lácteas, obtuvieron medias globales de 8,818 g de N por 100 g por Kjeldahl y 8,810 g de N por 100 g por Dumas, y no hallaron evidencia de un sesgo consistente entre métodos que resultara preocupante para el comercio de productos lácteos. En cuanto a la precisión, los autores reportaron que para muestras con más de 2 g de N por 100 g las desviaciones estándar relativas de repetibilidad y reproducibilidad del método Dumas se mantuvieron de manera consistente en torno a 0,35 % y 0,75 % respectivamente, valores notablemente menores que los correspondientes al Kjeldahl.

En el ámbito hispanohablante, Gregorio et al. (2016) compararon ambos métodos en veinticuatro muestras de alimentos de distinta naturaleza y no encontraron diferencias estadísticamente significativas, con un coeficiente de correlación de 0,99843. Los autores destacan como ventajas del Dumas la reducción del tiempo de análisis de aproximadamente diez horas a siete minutos por muestra, la menor variabilidad atribuible a error humano y la eliminación del uso de reactivos peligrosos como el ácido sulfúrico. Estas evidencias sustentan la elección del método de combustión para la determinación proteica en la presente investigación.

2.7.2. Determinación de humedad por método gravimétrico

El método gravimétrico determina el contenido de humedad por diferencia de masa, sometiendo una muestra de peso conocido a secado en estufa a temperatura controlada hasta alcanzar peso constante, y atribuyendo la pérdida de masa al agua evaporada. Su condición de método de referencia se sustenta en la sencillez del principio y en la trazabilidad directa de la medición a una pesada.

Bianco D. et al. (2014) evaluaron la validez de un método alternativo de secado por microondas doméstico frente al método gravimétrico de referencia en estufa de aire a 130 a 133 °C, aplicado a harina precocida de maíz blanco, y no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos a un nivel de p menor a 0,05. El resultado confirma la robustez del método gravimétrico de estufa como referencia para matrices de tipo harina, que es la condición de las materias primas vegetales empleadas en este estudio.

2.7.3. Determinación de cenizas por incineración

La determinación de cenizas se basa en la incineración de la muestra en mufla, operación que combustiona por completo la materia orgánica y deja como residuo la fracción mineral inorgánica, cuantificada por pesada directa. Aunque el principio es sencillo, las condiciones operativas influyen de manera medible sobre el resultado.

Quirino et al. (2023) compararon seis variantes metodológicas aplicadas a veinticuatro materiales de ocho tipos de alimento, con tres réplicas analíticas por método. Las variantes evaluadas fueron 550 °C durante 3 horas como control, 600 °C durante 3 horas, 550 °C durante 6 horas, y tres

esquemas de doble ciclo de 3 más 3 horas a 550 °C con suministro de aire fresco, con agua destilada y con peróxido de hidrógeno. Los autores concluyeron que el método control no posee robustez suficiente y puede sobrestimar la ceniza cruda en algunos alimentos, y recomendaron el empleo de 550 °C en dos ciclos de 3 horas con adición de agua entre ciclos.

Respecto al efecto del tamaño de muestra, Liu (2019) evaluó un diseño factorial con muestras de 1 g y 4 g, temperaturas de 550 °C y 600 °C y duraciones de 6 y 16 horas. Para las muestras no algales, que incluyeron granos, harina de soya y forraje, la temperatura y la duración afectaron significativamente la medición, mientras que el tamaño de muestra no lo hizo. El autor observó además que la incineración durante 6 horas a 550 °C produjo contenidos de ceniza mayores que la incineración a 600 °C durante 6 horas o a 550 °C durante la noche, y propuso como método estandarizado la incineración de 1 a 4 g de muestra a 600 °C durante la noche para todo tipo de biomasa.

2.7.4. Determinación de grasa por extracción Soxhlet

El método Soxhlet es una técnica de extracción sólido-líquido en la que un solvente orgánico en reflujo continuo disuelve y arrastra los compuestos lipídicos de una muestra sólida, cuantificándose la grasa por diferencia gravimétrica entre el peso del matraz antes y después de la extracción y la evaporación del solvente.

Mariezcurrena Berasain et al. (2010) estandarizaron esta metodología en carne de cerdo evaluando tres tipos de solvente, dos tiempos de ebullición de 25 y 50 minutos y dos tamaños de muestra de 3 g y 6 g, sobre un total de 120 muestras. Las condiciones óptimas correspondieron a una muestra de 3 g, solvente cloroformo y metanol en proporción 2:1 y 50 minutos de ebullición. La mezcla cloroformo y metanol extrajo 27 % más grasa que los éteres y mostró una eficiencia 50 % mayor al prolongar la ebullición, mientras que la recuperación de grasa disminuyó aproximadamente 9 % al aumentar el tamaño de muestra de 3 g a 6 g.

Conviene señalar que el efecto del tamaño de muestra difiere según el analito. Mientras Liu (2019) no encontró efecto del tamaño de muestra sobre la determinación de cenizas en matrices vegetales, Mariezcurrena Berasain et al. (2010) sí lo detectaron sobre la extracción de grasa, lo que obliga a

mantener constante la masa de muestra entre réplicas y entre tratamientos cuando se determina el contenido lipídico.

2.7.5. Análisis sensorial mediante escala hedónica

La escala hedónica es un método de evaluación sensorial afectiva que mide el grado de agrado o desagrado del consumidor hacia un producto, habitualmente mediante una escala verbal y numérica de nueve puntos que va desde el rechazo máximo hasta el agrado máximo. Wichchukit y O'Mahony (2015) analizan sus fundamentos y limitaciones, y precisan que, a diferencia de las pruebas discriminativas o descriptivas, que exigen panelistas entrenados capaces de identificar diferencias objetivas entre muestras, las pruebas hedónicas admiten panelistas no entrenados o semientrenados, puesto que su propósito es capturar la respuesta subjetiva de aceptación y no una caracterización técnica del producto. Esta condición justifica el empleo de un panel semientrenado en la evaluación sensorial de la presente investigación.

2.8. Contexto socioeconómico y de seguridad alimentaria

El panorama mundial de la seguridad alimentaria muestra una mejora reciente pero insuficiente. Según el informe conjunto de la FAO, el FIDA, UNICEF, el PMA y la OMS (2025), en 2024 el hambre afectó al 8,2 % de la población mundial, equivalente a unos 673 millones de personas, cifra inferior al 8,5 % registrado en 2023 y al 8,7 % de 2022. La inseguridad alimentaria moderada o grave alcanzó al 28,0 % de la población, es decir 2300 millones de personas, con una leve disminución respecto al 28,4 % del año previo, aunque todavía 335 millones por encima del nivel de 2019. En América Latina y el Caribe la prevalencia del hambre se situó en 5,1 %, equivalente a 34 millones de personas. En el plano nutricional, el mismo informe registra un retraso del crecimiento infantil de 23,2 % en 2024 y una prevalencia de anemia en mujeres de 15 a 49 años de 30,7 % en 2023, indicador este último que ha empeorado respecto al 27,6 % de 2012.

En el Perú, la deficiencia de micronutrientes constituye el problema nutricional de mayor persistencia. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2024), sobre la base de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2023, el 43,1 % de la población de 6 a 35 meses de edad padeció anemia, con una prevalencia de 50,3 % en el área rural frente a 40,2 % en la urbana y un máximo departamental de 70,4 % en Puno. La desnutrición crónica afectó al 11,5

% de los menores de cinco años, con 20,3 % en el ámbito rural frente a 8,1 % en el urbano. La magnitud y la persistencia de estas cifras evidencian que el déficit no se resuelve únicamente por vía de la suplementación y que requiere estrategias complementarias orientadas a incrementar la densidad nutricional de los alimentos de consumo habitual.

La población universitaria constituye un grupo de riesgo específico por sus patrones de consumo. Maza Avila et al. (2022), en una revisión sistemática de cincuenta y siete artículos publicados entre 2000 y 2020, determinaron que el 87,72 % de los estudiantes universitarios no practica hábitos alimentarios saludables. Los autores reportan un elevado consumo de dulces en el 57,89 % de los casos, de grasas en el 45,61 % y de comida rápida y productos ultraprocesados en el 45,61 %, junto con una ingesta insuficiente de frutas y verduras en el 71,93 %. Estas conductas se asocian a consecuencias sanitarias en el 73,91 % de los casos, entre ellas sobrepeso en el 47,21 %, enfermedades cardiovasculares en el 18,18 % y diabetes en el 14,55 %. El perfil de consumo de este grupo, caracterizado por la preferencia de precio y conveniencia sobre valor nutricional, define el espacio para productos que combinen formato práctico y densidad proteica elevada.

Frente a esta problemática, los alimentos funcionales se han consolidado como una estrategia de intervención dietética. Arias Escobar et al. (2024) desarrollan una revisión de alcance sobre las perspectivas en el desarrollo y consumo de este tipo de productos y su promoción en la salud, mientras que Zamora y Barboza (2020) documentan específicamente el consumo de alimentos funcionales en población universitaria, segmento que coincide con el destinatario del producto propuesto. En el caso peruano, Villena-Tejada et al. (2021) registran el empleo de plantas medicinales y alimentos funcionales como recurso sanitario en poblaciones andinas, lo que evidencia una base cultural preexistente para la aceptación de este tipo de productos. La detección temprana del riesgo nutricional resulta igualmente relevante, y Serón-Arbeloa et al. (2022) revisan los instrumentos de tamizaje y evaluación de la desnutrición aplicables en distintos contextos clínicos y poblacionales.

La dimensión económica del problema presenta una paradoja que da sentido a esta investigación. Las tres materias primas empleadas cuentan con disponibilidad y volumen suficientes, pero su cadena de valor se orienta mayoritariamente al grano o al producto sin transformar y al mercado externo. En el caso de la pota, las exportaciones peruanas alcanzaron en 2025 un volumen de 360

550,7 toneladas y un valor de 1421 millones de dólares, equivalente al 76 % de las exportaciones nacionales de productos pesqueros congelados (PRODUCE, 2026). En la quinua, Pantaleón Santa María et al. (2024) reportan que aproximadamente el 46 % de la producción nacional se destina anualmente a la exportación, con 113 542 toneladas producidas en 2022. El tarwi, en contraste, mantiene volúmenes reducidos, con cerca de 16 000 toneladas producidas en 2023 sobre unas 9000 hectáreas, concentradas en La Libertad con el 32 %, Cusco con el 15 % y Apurímac con el 9 % (MIDAGRI, 2024).

La convergencia de estos tres elementos, un déficit nutricional persistente en la población peruana, un grupo etario con patrones de consumo desfavorables y recursos locales abundantes pero escasamente transformados para el consumo interno, configura el marco socioeconómico en el que se inscribe el desarrollo de una hamburguesa marina proteica enriquecida con tarwi y quinua. El producto propuesto no responde únicamente a un objetivo tecnológico, sino que articula la revalorización de recursos subutilizados con una necesidad nutricional documentada en un segmento poblacional específico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional del Santa, ubicada en el distrito de Nuevo Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash. Las actividades se distribuyeron entre los siguientes ambientes según la naturaleza de cada etapa.

El acondicionamiento de las materias primas y las operaciones unitarias de remojo, desamargado, lavado, escurrido y secado se realizaron en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. La molienda, el tamizado y la elaboración de las harinas de tarwi y quinua se ejecutaron en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la misma escuela, ambiente en el que además se determinaron las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de las materias primas y del producto terminado.

La trituración de la pota precocida y la elaboración de las hamburguesas se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales, donde se dispone del cutter industrial empleado para el picado de la carne marina. Las pruebas de textura y color, así como la evaluación sensorial, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad. De manera complementaria se contó con el soporte del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial y de la Planta Piloto de Ingeniería Agroindustrial para el desarrollo experimental.

3.2. Materiales, equipos y reactivos

3.2.1. Materia prima e insumos

Los insumos empleados se clasificaron en dos grupos según su rol dentro del diseño experimental. El primero corresponde a las tres materias primas que constituyen los componentes variables de la mezcla, cuyas proporciones se modificaron entre tratamientos conforme al diseño símplex centroide. El segundo reúne los insumos que se mantuvieron en proporción fija e idéntica en los siete tratamientos.

Tabla 5

Materias primas empleadas como componentes variables de la mezcla

Materia prima	Característica	Procedencia
Pota (*Dosidicus gigas*)	Manto fresco, seleccionado por apariencia, olor, color y textura	Mercado Buenos Aires, Nuevo Chimbote
Tarwi (*Lupinus mutabilis*)	Grano seco de tamaño grande, desamargado en laboratorio	Mercado La Perla, zona alta de Chimbote
Quinua (*Chenopodium quinoa*)	Grano blanco tipo perlado de producción local, desaponificado en laboratorio	Mercado La Perla, zona alta de Chimbote

Nota. Las tres materias primas fueron acondicionadas en laboratorio antes de su incorporación a la formulación, conforme al procedimiento descrito más adelante.

Tabla 6

Insumos empleados en proporción fija

Insumo	Función en la formulación	Procedencia
Albúmina de huevo	Agente ligante y aporte proteico complementario	Tienda virtual Ango.PE
Pan rallado	Agente ligante y absorbente de humedad	Panadería El Hornito, urbanización Buenos Aires, Nuevo Chimbote
Sal refinada yodada	Extracción de proteína soluble y aporte de sabor	Establecimientos mayoristas de abarrotes, Nuevo Chimbote
Ajo en polvo	Condimento	Condimentos Gisel, mercado central de Chimbote
Perejil en polvo	Condimento	Condimentos Gisel, mercado central de Chimbote
Comino	Condimento	Condimentos Gisel, mercado central de Chimbote
Glutamato monosódico	Potenciador de sabor	Tienda MASS, Chimbote
Ácido ascórbico	Antioxidante	Productos Químicos Perú, Lima
Ácido acético alimentario (E260)	Regulador de pH, concentración de 4 % a 6 %	Productos Químicos Perú, Av. José Gálvez 214, Chimbote

Nota. Las proporciones empleadas de cada insumo se detallan en la formulación descrita más adelante.

3.2.2. Material de laboratorio

3.2.2.1. Material de vidrio

Tabla 7

Materiales de vidrio empleados

Material	Especificación	Función en la investigación
Vasos de precipitado	De vidrio borosilicato, 100, 250 y 500 mL	Preparación de muestras y medición de pH
Probetas graduadas	Graduación de 50, 100 y 250 ml	Medición de solvente de extracción y agua
Balones de extracción	De vidrio borosilicato, 250–500 mL	Recepción de la grasa extraída en el Soxhlet
Varillas de agitación	De vidrio, 20–30 cm	Homogenización de la suspensión para pH
Embudos	75–100 mm de diámetro	Trasvase de solventes
Pipetas	volumétricas, 1–25 mL	Dosificación de volúmenes

3.2.2.2. Material para determinaciones analíticas

Tabla 8

Material para determinaciones analíticas

Material	Especificación	Función en la investigación
Desecador	Isolab,	Enfriamiento de cápsulas y crisoles antes del pesado
Cápsulas para humedad	De aluminio	Determinación de humedad por gravimetría
Crisoles de porcelana	15 ml	Determinación de cenizas en mufla
Pinzas para crisol	De acero inoxidable	Manipulación de material caliente
Dedales de extracción	33 x 100 mm	Contención de la muestra en la extracción Soxhlet
Cápsulas para analizador Dumas	De aluminio	Pesado y sellado de la muestra para combustión
Espátulas	De acero inoxidable	Manipulación de muestra en polvo
Soluciones buffer pH 4,00, 7,00	HANNA	Calibración del potenciómetro

3.2.2.3. Material para el procesamiento

Tabla 9

Material para el procesamiento

Material	Especificación	Función en la investigación
Bandejas de acero inoxidable	Acero inoxidable grado alimentario, tipo 304, superficie lisa	Secado y manipulación de muestras
Utensilios multipropósito	De acero inoxidable y/o plástico grado alimentario; VWR o Pyrex	Manipulación, medición y mezcla
Recipientes para remojo y desamargado	Recipientes de plástico o acero inoxidable, grado alimentario, capacidad aproximada de 5–10 L	Hidratación del tarwi y lavados sucesivos
Coladores o tamices manuales	Acero inoxidable o plástico grado alimentario, malla fina	Escurrido del tarwi y de la quinua
Tabla de corte y cuchillos	Tabla de polietileno grado alimentario y cuchillos de acero inoxidable	Troceado de la pota
Termómetro	Termómetro digital de penetración, rango aproximado de −50 a 300 °C, resolución de 0,1 °C	Control de la cocción de la pota y de la temperatura interna de la hamburguesa
Moldes para hamburguesa	Acero inoxidable o material grado alimentario, diámetro aproximado de 10–12 cm y espesor regulable	Conformado de las porciones

3.2.2.4. Material para evaluación sensorial

Tabla 10

Material para evaluación sensorial

Material	Especificación	Función en la investigación
Platos descartables	Platos descartables de grado alimentario, individuales, de superficie limpia y sin olor	Presentación de las muestras a los panelistas
Vasos descartables	Vasos descartables de grado alimentario, capacidad aproximada de 150–250 mL	Contención del agua de enjuague entre muestras
Fichas de evaluación sensorial	Formato impreso con escala hedónica de 9 puntos y códigos aleatorios para las muestras	Registro de las puntuaciones hedónicas
Servilletas y lapiceros	Servilletas de papel y lapiceros de tinta azul o negra	Apoyo al panelista durante la evaluación

3.2.2.5. Equipo de protección personal

Tabla 11

Equipo de protección de personal

Material	Función en la investigación
Mandil de laboratorio	Protección durante el procesamiento y los análisis
Guantes	Manipulación higiénica de materias primas y reactivos
Mascarilla	Protección respiratoria
Gorro o cofia	Prevención de contaminación del producto
Lentes de seguridad	Protección ocular durante el manejo del solvente

3.2.3. Equipos

Tabla 12

Equipos empleados en el proceso

Equipo	Marca y modelo	Función en la investigación
Estufa de secado	Memmert EH-60	Secado de granos y determinación de humedad
Cocina	Indurama CE-90	Cocción previa de la pota
Molino	Thomas Scientific ML-2	Molienda de granos desamargados y desaponificados
Tamizador	Endecotts EFL 2000	Uniformización del tamaño de partícula de las harinas
Cutter	Scharfen TC 11	Picado y homogeneización de la carne de pota
Plancha eléctrica	Taurus Asteria II	Cocción de las hamburguesas
Analizador de nitrógeno por combustión	Hanon D50/D200	Determinación de proteína total
Mufla	Arsa AR340	Determinación de cenizas
Equipo de extracción Soxhlet	Raypa SX-6	Determinación de grasa
Potenciómetro	Thermo Scientific Orion Versa Star	Determinación de pH
Texturómetro	Brookfield CT3	Determinación de la firmeza por ensayo de penetración
Colorímetro	Konica Minolta CR-400	Medición de las coordenadas L*, a* y b*
Congelador	Thermo Scientific ULT1386-6-V	Conservación de muestras a −86 °C
Balanza	Ohaus BL2000	Pesado de materias primas e ingredientes
Balanza analítica	Ohaus Explorer EX225D	Pesado de muestras para análisis

3.3. Metodología de procesamiento

3.3.1. Obtención de la harina de tarwi desamargado

3.3.1.1. Descripción del proceso

Se empleó tarwi seco de grano grande adquirido en el mercado La Perla, ubicado en la zona alta de Chimbote. La materia prima fue recepcionada y evaluada visualmente antes de iniciar su procesamiento.

Los granos se seleccionaron manualmente retirando aquellos que presentaban daños, así como piedras, pajas, polvo y otros cuerpos extraños. A continuación, se lavaron con agua para eliminar las impurezas superficiales adheridas al grano.

Los granos limpios se hidrataron en agua en una relación de una parte de grano por tres partes de agua durante 18 horas, operación destinada a ablandar el grano y a facilitar la posterior migración de los alcaloides hacia el medio acuoso. Seguidamente se sometieron a cocción a 100 °C durante 45 minutos en la cocina Indurama CE-90.

El desamargado se realizó mediante lavados sucesivos durante cuatro días, con cambio de agua cada ocho horas, lo que representa doce cambios de agua a lo largo del proceso, empleando una relación de [completar] partes de agua por parte de grano en cada cambio. El proceso se dio por concluido cuando se dejo de ver espuma en el agua.

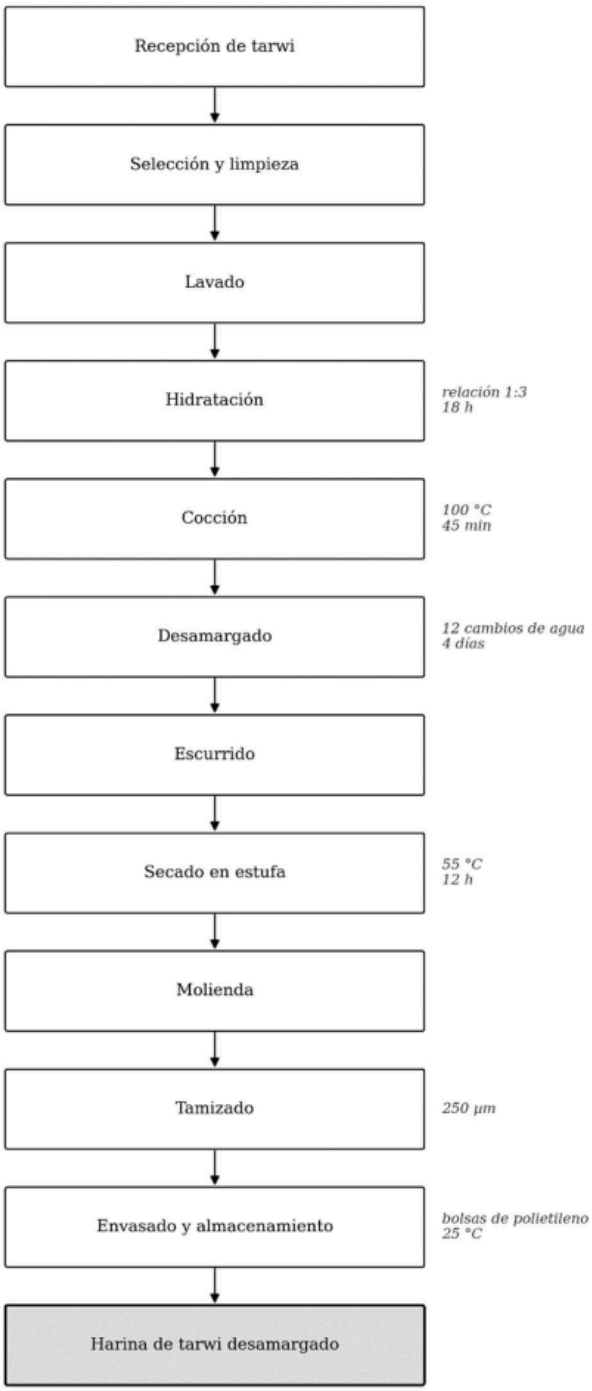
Los granos desamargados se escurrieron para eliminar el exceso de agua superficial y se secaron en la estufa Memmert EH-60 a 55 °C durante 12 horas. Una vez secos, se molieron en el molino Thomas Scientific ML-2 hasta obtener un producto con características de harina, y se tamizaron en el tamizador Endecotts EFL 2000 hasta una abertura de 250 µm micrómetros con la finalidad de uniformizar el tamaño de partícula. bolsas de polietileno de grado alimentario con cierre hermético y se almacenó a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) protegida de la humedad y de agentes contaminantes, hasta su utilización en la elaboración de las hamburguesas.

La secuencia de remojo, cocción y lavados sucesivos aplicada corresponde al procedimiento tradicional de desamargado descrito por Gutiérrez et al. (2016), en el que los alcaloides quinolizidínicos son lixiviados desde el grano hacia el medio acuoso.

3.3.1.2. Diagrama de flujo

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de tarwi desamargado



3.3.2. Obtención de la harina de quinua

3.3.2.1. Descripción del proceso

Se empleó quinua blanca tipo perlada de producción local, adquirida en el mercado La Perla, ubicado en la zona alta de Chimbote. La materia prima fue recepcionada y sometida a inspección visual antes de iniciar su procesamiento.

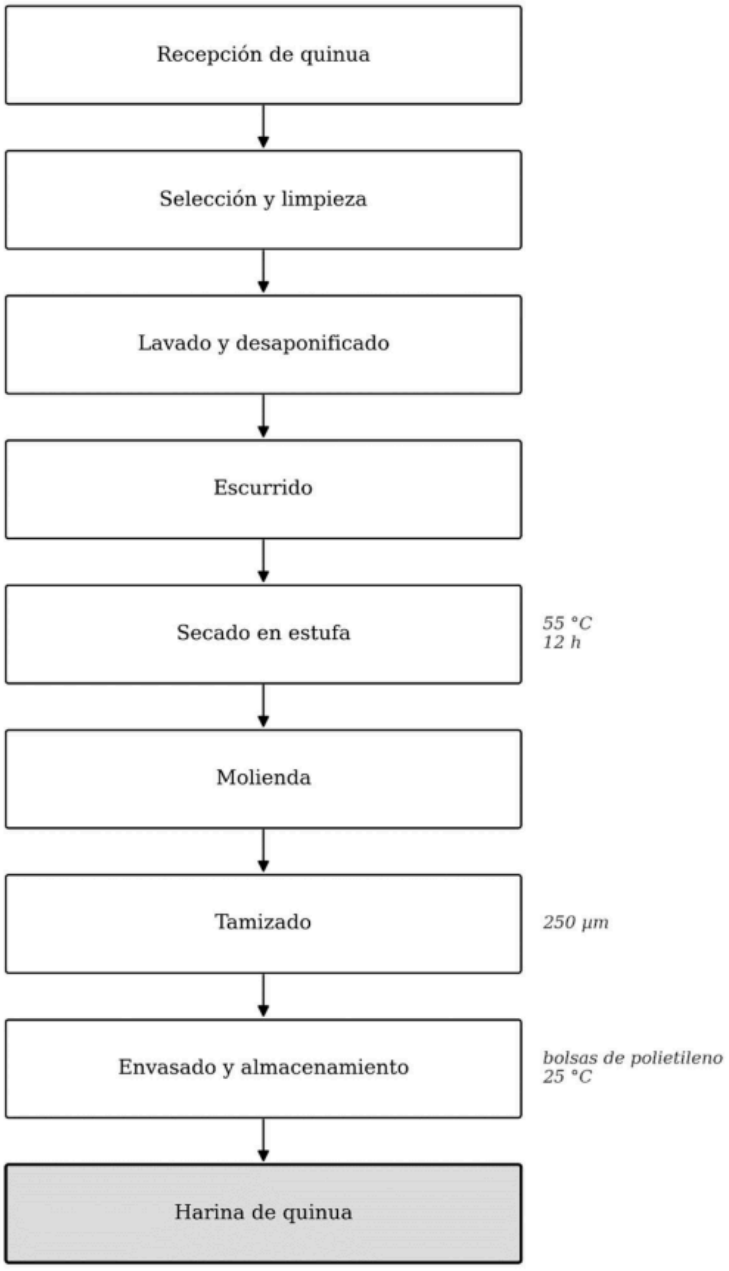
Los granos se seleccionaron manualmente retirando granos dañados, semillas de otras especies, restos vegetales, polvo y otros cuerpos extraños. A continuación, se sometieron a lavado con agitación vigorosa para eliminar las saponinas concentradas en la cubierta externa del grano, operación realizada mediante 3 lavados durante 10 minutos cada uno, con una relación de 3 partes de agua por parte de grano. El proceso se dio por concluido cuando el agua de lavado presentó ausencia de espuma visible y el grano presentó características sensoriales adecuadas, sin sabor amargo perceptible. Tras el lavado, la quinua se escurrió para eliminar el exceso de agua superficial y facilitar el secado posterior. El secado se realizó en la estufa Memmert EH-60 a 55 °C durante 12 horas. Cabe precisar que la quinua no recibió tratamiento térmico de cocción, de modo que su acondicionamiento se limitó a las operaciones de lavado, escurrido, secado, molienda y tamizado.

Una vez seca, la quinua se molió en el molino Thomas Scientific ML-2 hasta obtener una harina fina y uniforme, y se tamizó en el tamizador Endecotts EFL 2000 hasta una abertura de 250 µm con la finalidad de uniformizar el tamaño de partícula. La harina obtenida se envasó en bolsas de polietileno de grado alimentario con cierre hermético y se almacenó a 25 °C, protegida de la humedad y de agentes contaminantes, hasta su utilización en la elaboración de las hamburguesas.

3.3.2.2. Diagrama de flujo

Figura 2

Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de quinua



3.3.3. Acondicionamiento y precocción de la pota

3.3.3.1. Descripción del proceso

La pota fue adquirida en el mercado Buenos Aires de Nuevo Chimbote y recepcionada para su procesamiento. Al momento de la recepción se realizó una evaluación visual y sensorial de la materia prima, considerando apariencia, olor, color y textura.

Se seleccionaron los ejemplares aptos para el procesamiento, retirando aquellos que presentaron alteraciones en el olor, el color, la textura o la integridad del manto. La materia prima seleccionada se lavó con agua potable para retirar restos de arena, mucosidad, sangre, hielo y otras materias extrañas adheridas a su superficie.

A continuación, se retiraron la piel, las vísceras, la pluma y las demás partes no aprovechables, y se realizó un segundo lavado con agua potable para eliminar los residuos generados durante esta operación. Los mantos limpios se trocearon en piezas con la finalidad de facilitar su manipulación y favorecer una transferencia de calor uniforme durante la precocción.

Las piezas se sometieron a precocción en agua a 90 °C durante 35 minutos, empleando la cocina Indurama CE-90 y una relación de tres litros de agua por kilogramo de pota. Esta operación constituye una modificación metodológica respecto del procesamiento convencional de materia prima cruda, orientada a modificar la estructura del tejido conectivo del manto antes de su incorporación a la formulación.

Finalizada la precocción, el producto se escurrió durante 10 minutos en colador de acero inoxidable con la finalidad de eliminar el agua de cocción y el líquido liberado durante el tratamiento térmico, operación que permitió controlar la humedad libre de la materia prima. Posteriormente se distribuyó en bandejas de acero inoxidable y se enfrió a temperatura ambiente durante 30 minutos, hasta alcanzar aproximadamente 25 °C, condición que permitió su manipulación segura y su procesamiento inmediato.

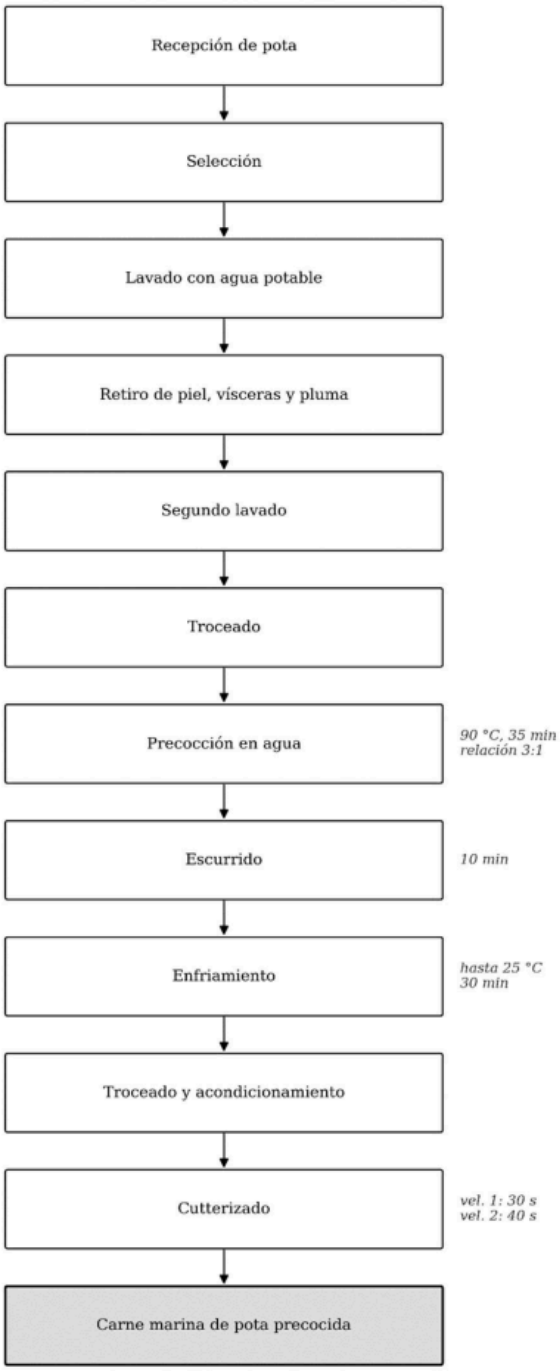
La pota precocida, escurrida y enfriada se troceó nuevamente hasta un tamaño de [completar] y se acondicionó para el cutterizado. Esta operación se realizó en el cutter Scharfen TC 11, equipo de dos velocidades cuyo cabezal estándar de cuchillas opera a aproximadamente 4260 y 8520 cortes

por minuto según especificación del fabricante. El producto se procesó durante 30 segundos en la primera velocidad y 40 segundos en la segunda, hasta obtener una masa de textura uniforme, la cual constituyó la carne marina de pota precocida empleada como componente de la formulación de las hamburguesas.

3.3.3.2. Diagrama e flujo

Figura 3

Diagrama de flujo del proceso de obtención de carne marina de pota precocida



3.3.4. Elaboración de la hamburguesa marina proteica

3.3.4.1. Formulación base e insumos constantes

La formulación se estructuró en dos fracciones con funciones distintas dentro del diseño experimental. La fracción variable, conformada por la carne marina de pota precocida, la harina de tarwi y la harina de quinua, constituye la mezcla cuyas proporciones internas se modificaron entre tratamientos conforme al diseño símplex centroide, y se trabajó sobre una base de 100 g. La fracción fija, conformada por los insumos complementarios, se incorporó en una cantidad constante de 15 g por cada 100 g de mezcla, de modo que la masa total de formulación fue de 115 g en todos los tratamientos.

Las cantidades de los tres componentes de la fracción variable correspondientes a cada tratamiento se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 13

Composición de la fracción variable por tratamiento

Tratamiento	Carne marina de pota precocida (g)	Harina de tarwi (g)	Harina de quinua (g)	Mezcla (g)
T1	85,00	5,00	10,00	100,00
T2	85,00	10,00	5,00	100,00
T3	80,00	10,00	10,00	100,00
T4	85,00	7,50	7,50	100,00
T5	82,50	10,00	7,50	100,00
T6	82,50	7,50	10,00	100,00
T7	83,33	8,33	8,33	99,99

Nota. Las cantidades corresponden a una base de 100 g de mezcla. La suma de 99,99 g en el tratamiento 7 se debe al redondeo decimal de las proporciones del centroide. El tratamiento 7 se ejecutó por triplicado, por lo que las siete formulaciones dieron lugar a nueve unidades experimentales.

La composición de la fracción fija, idéntica para las nueve unidades experimentales, se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 14

Composición de la fracción fija de la formulación

Ingrediente	Cantidad (g)	Proporción de la fracción fija (%)
Pan rallado	6,00	40,00
Albúmina de huevo	3,00	20,00
Agua o hielo	3,00	20,00
Sal	1,20	8,00
Ajo en polvo	0,60	4,00
Perejil en polvo	0,44	2,93
Comino	0,35	2,33
Ácido acético	0,40	2,67
Ácido ascórbico	0,01	0,07
Total	15,00	100,00

Nota. Las cantidades corresponden a los 15 g de fracción fija incorporados por cada 100 g de mezcla. El pan rallado y la albúmina de huevo cumplen función ligante, la sal favorece la extracción de proteína soluble, el ácido acético actúa como regulador de pH y el ácido ascórbico como antioxidante.

Sobre la masa total de 115 g, la fracción variable representó el 86,96 % y la fracción fija el 13,04 %, proporción que se mantuvo constante en las nueve unidades experimentales.

3.3.4.2. Descripción del proceso

Una vez obtenidas las tres materias primas acondicionadas, se procedió a la elaboración de las unidades experimentales conforme al diseño de mezclas símplex centroide. Se elaboraron nueve unidades experimentales correspondientes a siete formulaciones distintas, dado que el tratamiento del centroide se ejecutó por triplicado para la estimación del error puro.

Para cada unidad experimental se pesaron la carne marina de pota precocida, la harina de tarwi y la harina de quinua en la balanza Ohaus BL2000, de acuerdo con las proporciones establecidas para el tratamiento correspondiente, junto con los insumos de la fracción fija detallados en el apartado anterior.

Los componentes pesados se mezclaron manualmente durante 20 minutos hasta obtener una masa uniforme y homogénea, en la que se distribuyeron de manera pareja la carne marina, las harinas y los insumos complementarios. Durante esta operación se controló que la temperatura de la masa no superara los 22 °C, con la finalidad de preservar la funcionalidad de las proteínas y evitar la separación de la emulsión.

La masa obtenida se dividió y moldeó en porciones individuales de 100 gramos, con un diámetro de 9,5 centímetros y un espesor de [completar] milímetros, procurando mantener la uniformidad en el tamaño y la forma de las unidades elaboradas, dado que estas dimensiones condicionan tanto el rendimiento de cocción como la medición posterior de fuerza máxima de penetración.

Concluido el moldeado, las unidades se destinaron a dos rutas según su finalidad analítica. Las unidades destinadas a los análisis fisicoquímicos se envasaron en estado crudo en bolsas de polietileno de grado alimentario, debidamente identificadas con el código correspondiente a cada tratamiento, y se almacenaron en congelación a aproximadamente −18 °C hasta el momento de su análisis. Las muestras se retiraron de la congelación únicamente en la cantidad necesaria para cada determinación, evitando exposiciones prolongadas a temperatura ambiente y minimizando los ciclos de congelación y descongelación.

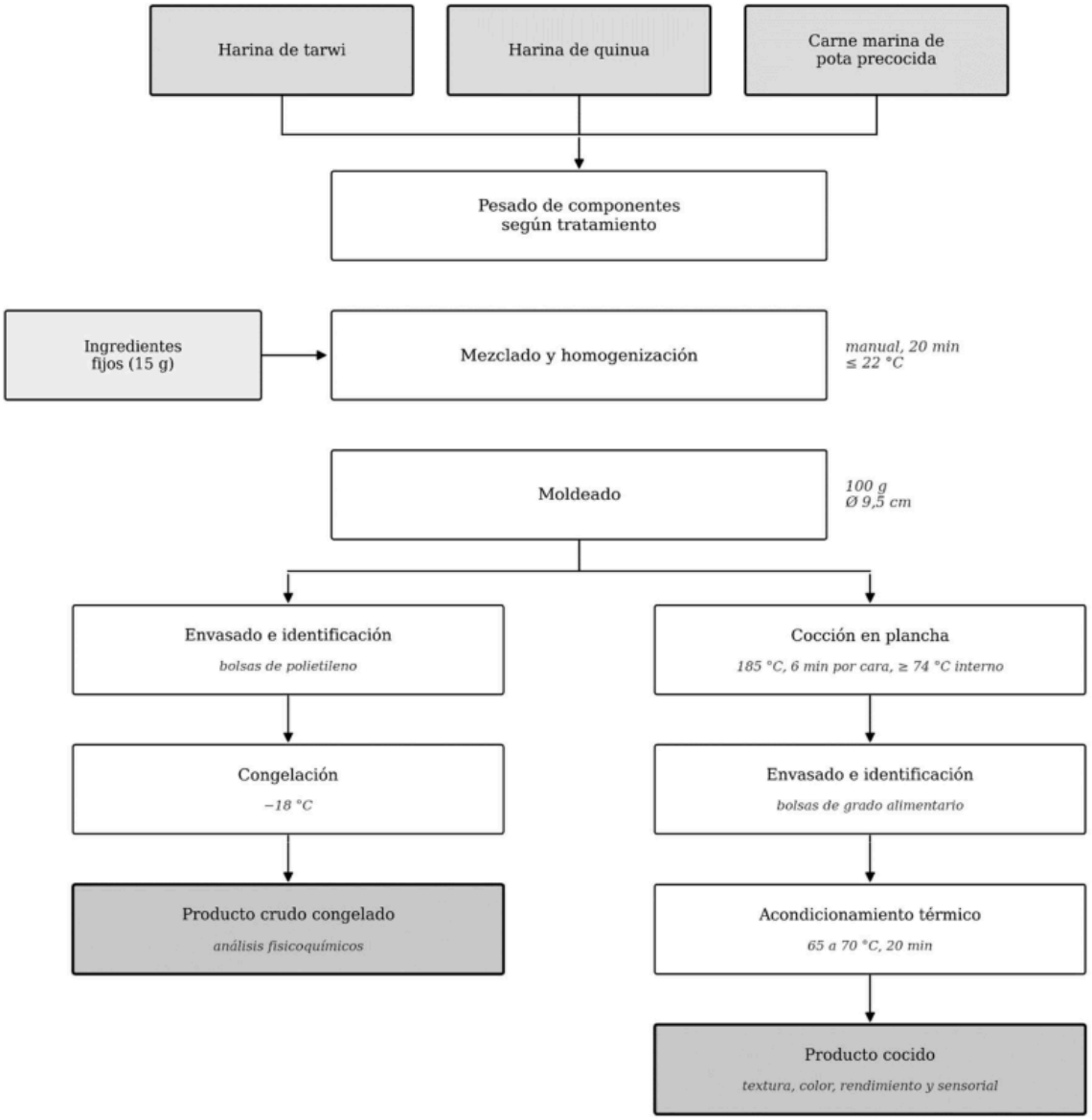
Las unidades destinadas a la evaluación del producto terminado se cocieron en plancha eléctrica a 185 °C durante 6 minutos por cara, hasta alcanzar una temperatura interna igual o superior a 74 °C. Se registró la masa de cada unidad antes y después de la cocción para el cálculo del rendimiento. Sobre estas unidades se determinaron el color y la textura instrumental. Finalmente se envasaron en bolsas de grado alimentario, se identificaron según el tratamiento y se mantuvieron en horno a una temperatura de 65 a 70 °C durante un máximo de 20 minutos, presentándose a los panelistas a una temperatura de 65 °C.

3.3.4.3. Diagrama de flujos

105

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la hamburguesa marina proteica



3.3.5. Balance de materia y cálculo del rendimiento

El balance de materia se estableció por pesada directa de la masa de entrada y de la masa de salida de cada operación unitaria en las tres líneas de acondicionamiento de materia prima. El rendimiento de etapa se calculó como el cociente entre la masa de salida y la masa de entrada de esa misma operación, expresado en porcentaje, y el rendimiento acumulado como el cociente entre la masa de salida de cada etapa y la masa de materia prima recibida al inicio de la línea.

De manera complementaria se verificó el cierre del balance en materia seca a partir de las humedades determinadas por el método gravimétrico. Esta verificación permite comprobar que las variaciones de masa registradas corresponden efectivamente a ganancia o pérdida de agua y no a inconsistencias de registro, dado que la materia seca solo puede mantenerse o disminuir a lo largo del proceso. Los resultados de esa verificación se consignan al final de cada apartado

3.3.5.1. Balance de materia en la obtención de harina de tarwi desamargado

El balance se realizó sobre un lote único de 10,000 kg de grano de tarwi (*Lupinus mutabilis*) con una humedad inicial de 11,50 g/100 g. La selección y limpieza retiró 1,000 kg de impurezas y granos dañados, equivalentes al 10,00 % de la masa recibida.

Las operaciones húmedas se caracterizaron por una ganancia neta de masa. La hidratación durante 18 horas a temperatura ambiente, próxima a 25 °C, incorporó 6,550 kg de agua, equivalentes a una absorción del 72,78 % respecto del grano seleccionado. La cocción añadió 1,400 kg adicionales, un 9,00 %. A partir de ese punto la masa disminuyó de forma sostenida, con rendimientos de 93,22 % en el desamargado por lavados sucesivos y de 96,84 % en el escurrido final.

El secado en estufa a 55 °C durante 12 horas eliminó 11,100 kg de agua y constituyó la operación de mayor reducción de masa, con un rendimiento de 27,45 %. La molienda rindió 94,71 % y el tamizado a 250 µm rindió 77,60 %, con un retenido sobre malla de 0,891 kg pesado por separado, equivalente al 22,40 % del material molido. La suma del pasante y del retenido reproduce exactamente la masa que ingresó al tamizador, lo que verifica el cierre de esa operación. El rendimiento global de harina de tarwi desamargado fue de 30,87 % respecto del grano recibido.

Tabla 15

Balance de materia de la obtención de harina de tarwi desamargado

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	10,000	10,000	100,00	100,00
Selección y limpieza	10,000	9,000	90,00	90,00
Hidratación y remojo	9,000	15,550	172,78	155,50
Cocción	15,550	16,950	109,00	169,50
Desamargado	16,950	15,800	93,22	158,00
Escurrido final	15,800	15,300	96,84	153,00
Secado	15,300	4,200	27,45	42,00
Molienda	4,200	3,978	94,71	39,78
Tamizado a 250 µm	3,978	3,087	77,60	30,87

Nota. Los valores corresponden a un lote único de 10,000 kg procesado bajo las condiciones descritas en el punto anterior. El rendimiento de etapa expresa la masa de salida respecto de la masa de entrada de esa operación y el rendimiento acumulado la masa de salida respecto del grano recibido. Los valores superiores a 100 % en la hidratación y en la cocción corresponden a la incorporación de agua y no a ganancia de sólidos. El tamizado generó un retenido sobre malla de 0,891 kg, pesado por separado, y la masa de harina se obtuvo por diferencia. La humedad del grano al inicio del proceso fue de 11,50 g/100 g y la de la harina obtenida de 3,27 g/100 g.

La verificación en materia seca arrojó una diferencia que debe declararse de manera explícita. Los 9,000 kg de grano seleccionado contenían 7,9650 kg de materia seca, mientras que los 4,200 kg obtenidos tras el secado contienen 4,0627 kg. La retención de materia seca a lo largo de las operaciones húmedas fue por tanto de 51,01 %. Una fracción de esa pérdida corresponde a la lixiviación de alcaloides quinolizidínicos, azúcares y oligosacáridos solubles, albúminas y minerales hacia el agua de lavado. La fracción restante se atribuye al arrastre de cotiledón fragmentado durante las doce decantaciones del desamargado, dado que el grano cocido se disgrega con facilidad y el material fino no es recuperable mediante decantación manual. Esta pérdida constituye una limitación del método de desamargado empleado.

3.3.5.2. Balance de materia en la obtención de harina de quinua

El balance se realizó sobre un lote único de 10,000 kg de grano de quinua (*Chenopodium quinoa*) con una humedad inicial de 12,00 g/100 g. A diferencia del tarwi, la quinua no recibió tratamiento térmico de cocción, por lo que su línea comprende únicamente lavado y desaponificado, secado, molienda y tamizado.

El lavado y desaponificado elevó la masa a 16,125 kg por absorción de agua, equivalente a 161,25 % respecto del grano recibido. El secado en estufa a 55 °C durante 12 horas eliminó 8,575 kg de agua y redujo la masa a 7,550 kg, con un rendimiento de 46,82 %. La molienda rindió 83,44 %.

El tamizado a 250 µm fue la operación determinante del rendimiento de esta línea, con 34,52 %. El retenido sobre malla ascendió a 4,100 kg, equivalente al 65,08 % del material molido, de modo que la harina obtenida corresponde a una fracción fina seleccionada y no a una harina integral. La suma del pasante y del retenido asciende a 6,275 kg frente a los 6,300 kg que ingresaron al tamizador, lo que representa un cierre de 99,60 % con 0,025 kg no contabilizados, atribuibles al material adherido a las mallas y a las paredes del equipo. El rendimiento global de harina de quinua fue de 21,75 % respecto del grano recibido.

Tabla 16

Balance de materia de la obtención de harina de quinua

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	10,000	10,000	100,00	100,00
Lavado y desaponificado	10,000	16,125	161,25	161,25
Secado	16,125	7,550	46,82	75,50
Molienda	7,550	6,300	83,44	63,00
Tamizado a 250 µm	6,300	2,175	34,52	21,75

Nota. Los valores corresponden a un lote único de 10,000 kg procesado bajo las condiciones descritas en el punto anterior. El valor superior a 100 % en el lavado y desaponificado corresponde a la absorción de agua durante la operación. El tamizado generó un retenido sobre malla de 4,100

kg, pesado por separado, cuya suma con el pasante representa un cierre de 99,60 % respecto de la masa que ingresó al tamizador. La humedad del grano al inicio del proceso fue de 12,00 g/100 g.

La verificación en materia seca confirmó la consistencia del secado. Con la humedad inicial del grano y la humedad de la harina obtenida, el agua eliminada durante el secado calculada por balance coincide con la diferencia de masas registrada, 8,575 kg. El lavado y desaponificado, en cambio, retiró 19,86 % de la materia seca del grano, cifra superior a la que explicaría la sola remoción de saponinas, lo que indica un arrastre adicional de material del pericarpio durante la fricción mecánica del desaponificado.

3.3.5.3. Balance de materia en el acondicionamiento y precocción de la pota

El balance se realizó sobre un lote único de 31,850 kg de pota (*Dosidicus gigas*) recibida como animal entero sin limpiar. La selección y el lavado con agua potable no modificaron la masa registrada. El eviscerado y el retiro de piel, pluma y demás partes no aprovechables retiraron 3,950 kg, equivalentes al 12,40 % de la masa recibida, de modo que la fracción aprovechable constituida por manto, aletas y tentáculos ascendió a 27,900 kg.

El troceado no generó pérdida registrable. La precocción en agua a 90 °C durante 35 minutos y el escurrido posterior durante 10 minutos se contabilizaron como una sola operación, dado que la masa se registró al finalizar el escurrido. Esta operación combinada eliminó 10,401 kg, con un rendimiento de 62,72 %, atribuibles a la contracción del tejido muscular y a la expulsión de agua durante el tratamiento térmico. El rendimiento global de pota precocida fue de 54,94 % respecto de la pota entera recibida.

Tabla 17

Balance de materia del acondicionamiento y precocción de la pota

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	31,850	31,850	100,00	100,00
Selección y lavado	31,850	31,850	100,00	100,00
Eviscerado y limpieza	31,850	27,900	87,60	87,60
Troceado	27,900	27,900	100,00	87,60
Precocción y escurrido	27,900	17,499	62,72	54,94

Nota. Los valores corresponden a un lote único de 31,850 kg de pota entera sin limpiar. Los 27,900 kg de la fracción aprovechable comprenden manto, aletas y tentáculos. La precocción a 90 °C durante 35 minutos y el escurrido durante 10 minutos se contabilizaron como una sola operación porque la masa se registró al finalizar el escurrido. La masa de pota precocida se pesó en 17,4988 kg y se consigna redondeada a tres decimales.

La verificación en materia seca requiere una precisión sobre el muestreo. La humedad de la pota cruda, 83,12 g/100 g, se determinó sobre filete de manto, mientras que la masa de 27,900 kg comprende además aletas y tentáculos, porciones con mayor proporción de tejido conectivo y menor contenido de agua que el manto. En consecuencia, el valor determinado sobre filete sobrestima la humedad promedio de la fracción aprovechable. El cierre del balance en materia seca, calculado a partir de la humedad de la pota precocida de 70,30 g/100 g, sitúa la humedad promedio del lote entre 80,4 y 81,4 g/100 g según la pérdida de sólidos hacia el agua de cocción que se admita, entre 5 y 0 %. Esta diferencia se declara como una limitación del muestreo y no afecta las masas registradas, que corresponden a pesadas directas.

3.3.5.4. Comparación rendimiento 3 líneas

Las tres líneas presentaron rendimientos globales marcadamente distintos. El acondicionamiento de la pota alcanzó el mayor valor, seguido de la obtención de harina de tarwi desamargado y de la obtención de harina de quinua. La diferencia entre las dos harinas no se origina principalmente en el acondicionamiento húmedo sino en el tamizado, ya que el tarwi retuvo 77,60 % del material

molido bajo la malla de 250 µm mientras que la quinua retuvo únicamente 34,52 %, diferencia atribuible al comportamiento de cada material durante la molienda y a la consiguiente distribución de tamaño de partícula. Los valores se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 18

Rendimiento global de las tres líneas de acondicionamiento de materia prima

Línea de proceso	Materia prima recibida (kg)	Producto obtenido (kg)	Rendimiento global (%)
Harina de tarwi desamargado	10,000	3,087	30,87
Harina de quinua	10,000	2,175	21,75
Pota precocida	31,850	17,499	54,94

Nota. El rendimiento global expresa la masa de producto obtenido respecto de la masa de materia prima recibida en cada línea. Los tres valores corresponden a lotes únicos y no a promedios de repeticiones.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Caracterización proximal de las materias primas

3.4.1.1. Humedad

La humedad se determinó por gravimetría de pérdida por desecación en estufa de aire, aplicando a cada matriz el método oficial que le corresponde. En las harinas de tarwi y de quinua se empleó el método AOAC 925.10, de estufa de aire para harinas, y en la pota cruda y precocida el método AOAC 950.46, de pérdida por desecación en carne.

Los crisoles se acondicionaron previamente en estufa y se enfriaron en desecador hasta masa constante, registrándose su tara en balanza analítica con precisión de 0,001 g. Todas las muestras se homogeneizaron antes de la pesada.

En las harinas se pesaron 3.1 g de muestra sobre cada crisol tarado y se secaron en la estufa Memmert EH-60 a 130 °C durante 70 minutos. El tiempo de secado empleado constituye una modificación respecto de los 60 minutos que establece el método de referencia. Concluido el

secado, los crisoles se trasladaron al desecador Isolab hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesaron nuevamente.

En la pota cruda y en la pota precocida se pesaron aproximadamente 5 g de muestra sobre cada crisol tarado y se secaron en la misma estufa a 100 °C durante 17 horas, condición que corresponde a la variante de secado en estufa de aire del método de referencia. Concluido el secado, los crisoles se enfriaron en desecador hasta temperatura ambiente y se pesaron.

La humedad se calculó como el cociente entre la masa de agua eliminada y la masa de muestra inicial, expresado en gramos por cada cien gramos de muestra, según la expresión siguiente:

$$H = [(m_1 - m_2) / m_1] \times 100$$

donde H es la humedad expresada en g/100 g, m_1 la masa de muestra antes del secado y m_2 la masa de muestra después del secado, ambas en gramos. La masa de muestra seca se obtuvo por diferencia entre la masa del crisol con muestra seca y la tara del crisol.

Cada material se analizó por triplicado y los resultados se expresan como media aritmética acompañada de su desviación estándar. Los valores de humedad obtenidos se emplearon además para la conversión de los resultados a base seca y para la verificación del cierre en materia seca del balance de materia descrito en el punto anterior.

3.4.1.2. Proteína total (AOAC 992.23-922.15 – Dumas)

La proteína total se determinó por el método de combustión Dumas, que cuantifica el nitrógeno total de la muestra y lo convierte a proteína mediante un factor de conversión. Se aplicó a cada matriz el método oficial que le corresponde: AOAC 992.23, método genérico de combustión para granos de cereal y oleaginosas, en las harinas de tarwi y de quinua, y AOAC 992.15, método de combustión para carne y productos cárnicos, en la pota cruda y en la pota precocida.

El fundamento del método consiste en la combustión completa de la muestra en atmósfera de oxígeno a alta temperatura, con lo que el nitrógeno presente se libera en forma de óxidos de nitrógeno y de nitrógeno molecular. Los óxidos se reducen a nitrógeno molecular sobre un lecho reductor de cobre, los gases interferentes se retienen en trampas selectivas y el nitrógeno molecular

resultante se cuantifica mediante un detector de conductividad térmica. A diferencia del método Kjeldahl, la combustión no emplea ácido sulfúrico ni catalizadores metálicos y determina el nitrógeno total de la muestra en pocos minutos.

Las muestras se homogeneizaron previamente y se pesaron aproximadamente 0,1 g sobre cápsulas de estaño en balanza analítica con precisión de 0,0001 g. El análisis se realizó en el analizador elemental LECO CHNS28 calibrado previamente con EDTA según las indicaciones del fabricante. El equipo no aplicó corrección por humedad, de modo que los resultados corresponden a la muestra tal como fue analizada y su conversión a base seca se realizó empleando la humedad determinada de manera independiente.

El contenido de proteína se calculó multiplicando el nitrógeno total determinado por combustión por el factor de conversión correspondiente, según la expresión siguiente:

$$P = N \times f$$

donde P es la proteína expresada en g/100 g, N el nitrógeno total determinado por combustión, expresado en g/100 g, y f el factor de conversión de nitrógeno a proteína. Se empleó un factor de 6,25 en todas las matrices analizadas.

Cada material se analizó por triplicado y los resultados se expresan como media aritmética acompañada de su desviación estándar. Los valores obtenidos se convirtieron a base seca empleando la humedad determinada según el punto anterior, mediante la expresión siguiente:

$$P_{bs} = [P\_bh \,/\, (100 - H)] \times 100$$

donde P_bs es la proteína en base seca, P_bh la proteína en base húmeda y H la humedad, ambas expresadas en g/100 g.

3.4.1.3. Cenizas (AOAC 923.03)

El contenido de cenizas se determinó por incineración directa en mufla, aplicando a cada matriz el método oficial que le corresponde: AOAC 923.03, de cenizas en harina por método directo, en las harinas de tarwi y de quinua, y AOAC 920.153, de cenizas en carne, en la pota cruda y en la pota precocida.

Los crisoles de porcelana se acondicionaron previamente en la mufla, se enfriaron en desecador y se tararon en balanza analítica con precisión de 0,001 g. Sobre cada crisol tarado se pesaron aproximadamente 3 g de muestra previamente homogeneizada. Los crisoles se sometieron a incineración en la mufla a 550°C por 8 horas, conforme al criterio de finalización establecido en el método de referencia, que corresponde a la obtención de cenizas de coloración gris clara libres de partículas carbonosas. Concluida la incineración, los crisoles se trasladaron al desecador Isolab hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesaron.

El contenido de cenizas se calculó como el cociente entre la masa de residuo mineral y la masa de muestra empleada, expresado en gramos por cada cien gramos de muestra, según la expresión siguiente:

$$C = [(m_2 - m_0) / m_1] \times 100$$

donde C son las cenizas expresadas en g/100 g, m_0 la tara del crisol vacío, m_2 la masa del crisol con las cenizas y m_1 la masa de muestra empleada, todas en gramos.

Cada material se analizó por triplicado y los resultados se expresan como media aritmética acompañada de su desviación estándar. Los valores obtenidos se convirtieron a base seca empleando la humedad determinada según el punto correspondiente.

3.4.1.4. Grasa

El contenido de grasa se determinó por extracción continua con solvente en equipo Soxhlet. Se pesaron 5 g de muestra, que se desecaron previamente en estufa a 105 °C, y el residuo seco se dispuso en el cartucho de extracción. La desecación previa resulta necesaria porque el éter de petróleo no penetra adecuadamente una matriz con humedad elevada, condición particularmente relevante en la carne de pota precocida, que ingresa al análisis con 70,30 g de agua por 100 g. La extracción se prolongó durante siete horas.

Concluida la extracción, el solvente se evaporó y el balón se llevó a estufa hasta eliminar los restos de éter, se enfrió en desecador y se pesó. La grasa se calculó como la masa de extracto obtenida referida a la masa de muestra, según la expresión siguiente.

$$G = (m_2 - m_1) / m \times 100$$

donde G es el contenido de grasa expresado en gramos por 100 g, m_1 la masa del balón vacío, m_2 la masa del balón con el extracto una vez eliminado el solvente y m la masa de muestra inicial, es decir los 5 g pesados antes de la desecación. Al referirse el extracto a la masa inicial y no a la del residuo seco, el resultado queda expresado en base húmeda, que es la forma en que se reporta en el presente trabajo. La determinación se realizó por triplicado en cada materia prima.

El valor obtenido corresponde al extracto etéreo, es decir al conjunto de compuestos solubles en éter de petróleo, que además de los triglicéridos comprende fosfolípidos, esteroles y pigmentos liposolubles. Por esta razón el resultado se interpreta como grasa cruda y no como contenido de lípidos verdaderos.

3.4.1.5. Carbohidratos por diferencia

El contenido de carbohidratos se obtuvo por diferencia, restando de 100 la suma de las fracciones determinadas experimentalmente, según la expresión siguiente.

$$\text{CHO} = 100 - (\text{humedad} + \text{proteína} + \text{grasa} + \text{cenizas})$$

donde todas las fracciones se expresan en gramos por 100 g de muestra. Al no haberse determinado la fibra cruda de forma independiente, el valor así calculado corresponde a los carbohidratos totales e incluye tanto los carbohidratos disponibles como la fibra dietaria y cualquier otro componente no cuantificado por las cuatro determinaciones anteriores. Debe entenderse, además, que al obtenerse por diferencia esta fracción acumula los errores de las cuatro determinaciones de las que se deriva.

El cálculo se aplicó a la harina de tarwi y a la harina de quinua, en las que la suma de las fracciones determinadas y de los carbohidratos completa el 100 %. No se aplicó a la carne de pota precocida: en esta materia prima la suma de humedad, proteína, grasa y cenizas alcanza 91,30 g por 100 g, de modo que la diferencia asciende a 8,70 g, magnitud que no resulta atribuible a carbohidratos en un músculo de cefalópodo, cuyo contenido de estos compuestos es reducido. Ese remanente se reporta como una brecha de cierre del balance de masa y se discute en el apartado de resultados correspondiente, sin asignarlo a ninguna fracción.

El contenido de carbohidratos se obtuvo por diferencia, restando de 100 la suma de las fracciones determinadas experimentalmente, según la expresión siguiente.

$$CHO = 100 - (humedad + proteína + grasa + cenizas)$$

donde todas las fracciones se expresan en gramos por 100 g de muestra. Al no haberse determinado la fibra cruda de forma independiente, el valor así calculado corresponde a los carbohidratos totales e incluye tanto los carbohidratos disponibles como la fibra dietaria y cualquier otro componente no cuantificado por las cuatro determinaciones anteriores. Debe entenderse, además, que al obtenerse por diferencia esta fracción acumula los errores de las cuatro determinaciones de las que se deriva.

El cálculo se aplicó a la harina de tarwi y a la harina de quinua, en las que la suma de las fracciones determinadas y de los carbohidratos completa el 100 %. No se aplicó a la carne de pota precocida: en esta materia prima la suma de humedad, proteína, grasa y cenizas alcanza 91,30 g por 100 g, de modo que la diferencia asciende a 8,70 g, magnitud que no resulta atribuible a carbohidratos en un músculo de cefalópodo, cuyo contenido de estos compuestos es reducido. Ese remanente se reporta como una brecha de cierre del balance de masa y se discute en el apartado de resultados correspondiente, sin asignarlo a ninguna fracción.

3.4.2. Caracterización fisicoquímica del producto terminado

Sobre las hamburguesas obtenidas se determinaron el contenido proteico, la humedad, el pH y el color. Salvo indicación en contrario, las determinaciones se realizaron sobre las nueve unidades experimentales del diseño, es decir los tratamientos T1 a T6 y los tres lotes independientes del centroide.

3.4.2.1. Contenido proteico

El contenido proteico de cada formulación se obtuvo por cálculo a partir de la composición proximal de las materias primas y de las proporciones establecidas en la formulación, y no mediante una determinación analítica sobre el producto terminado. El procedimiento es admisible porque la proteína no se crea ni se destruye durante el mezclado y el moldeado, de modo que el contenido de la mezcla cruda queda determinado por el de sus componentes y por sus proporciones.

Para cada tratamiento se calculó el aporte proteico de cada componente como el producto de su masa en la formulación por su contenido de proteína, y el contenido de la formulación se obtuvo como la suma de esos aportes referida a la masa total de 115 g, según la expresión siguiente.

$$P = (\Sigma\, mi \cdot pi) / 115 \times 100$$

donde P es el contenido proteico de la formulación expresado en gramos por 100 g, m_i la masa del componente i en la unidad de 115 g y p_i su contenido de proteína expresado en gramos por gramo de componente. Los valores de p_i correspondientes a la carne de pota precocida, la harina de tarwi y la harina de quinua proceden de la caracterización proximal de las materias primas descrita anteriormente, determinada por el método de combustión de Dumas con el factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25.

La fracción fija aporta una cantidad constante de proteína en todos los tratamientos, procedente de la albúmina y del pan rallado, con las cantidades declaradas por sus fabricantes. Los condimentos se consideraron sin aporte proteico apreciable, supuesto conservador que subestima ligeramente el contenido calculado.

3.4.2.2. Humedad

La humedad se determinó por secado en estufa sobre la hamburguesa cruda y sobre la hamburguesa cocida. La muestra se trituró y homogeneizó previamente, y de ella se pesaron porciones de aproximadamente 5 g en crisoles previamente tarados, empleando una balanza con aproximación de 0,01 g. Los crisoles se mantuvieron en estufa a 105 °C durante cuatro horas, tras lo cual se enfriaron y se pesaron.

La humedad se calculó como la pérdida de masa durante el secado referida a la masa de muestra húmeda, según la expresión siguiente.

$$H = (m_h - m_s) / m \times 100$$

donde H es la humedad expresada en gramos por 100 g, m_h la masa del crisol con muestra húmeda, m_s la masa del crisol con muestra seca y m la masa de muestra empleada. El secado se realizó a tiempo fijo y no hasta peso constante, condición que se declara por constituir una desviación

respecto del criterio de referencia habitual. Se analizaron tres porciones por unidad experimental en cada uno de los dos estados, lo que totalizó 54 determinaciones

3.4.2.3. pH

El pH se determinó sobre la hamburguesa cruda, previamente triturada y homogeneizada. Se pesaron 10 g de muestra y se dispersaron en 90 mL de agua destilada, lo que corresponde a una relación de 1:10 en masa por volumen, y la suspensión se agitó hasta obtener una mezcla uniforme.

La lectura se realizó por vía potenciométrica en un equipo Thermo Scientific Orion Versa Star, calibrado previamente con soluciones tampón de pH 4,01 y 7,00. Las determinaciones se efectuaron con la muestra a una temperatura de 23 ± 2 °C, registrando el valor una vez estabilizado la lectura. Se realizaron tres determinaciones por unidad experimental, lo que totalizó 27 lecturas.

3.4.2.4. Color

El color superficial se determinó sobre las hamburguesas cocidas mediante un colorímetro Konica Minolta CR-400, empleando el espacio de color CIELAB con iluminante D65 y observador de 2 grados, y una apertura de medición de 8 mm de diámetro. El equipo se calibró antes de cada sesión con la placa blanca de referencia.

Se evaluaron dos hamburguesas por unidad experimental y, en cada una de ellas, tres puntos distribuidos sobre cada una de las dos caras, lo que generó doce lecturas por unidad y 108 en total. De cada lectura se registraron las coordenadas L*, a* y b*, correspondientes a la luminosidad, a la componente rojo-verde y a la componente amarillo-azul, respectivamente.

A partir de esas coordenadas se calculó la diferencia total de color de cada tratamiento respecto de la formulación del centroide, tomada como referencia, según la expresión siguiente.

$$\Delta E = [(\Delta L*)^2 + (\Delta a*)^2 + (\Delta b*)^2]^{1/2}$$

donde ΔL*, Δa* y Δb* son las diferencias de cada coordenada entre el tratamiento evaluado y la referencia.

3.4.2.5. Textura insrumental

La firmeza de las hamburguesas cocidas se determinó mediante un ensayo de penetración de ciclo único, empleando un analizador de textura Brookfield CT3 provisto de una celda de carga de 4500 g, equivalente a 44,13 N, y operado con el programa TexturePro CT, versión 1.4 build 17. Se utilizó una sonda cilíndrica TA11/1000 montada sobre el accesorio de fijación TA-RT-KI. Las condiciones del ensayo se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 19

Condiciones del ensayo de penetración

Parámetro	**Condición**
Modo de ensayo	Compresión, ciclo único
Sonda	Cilíndrica TA11/1000
Accesorio de fijación	TA-RT-KI
Celda de carga	4500 g, equivalente a 44,13 N
Velocidad de aproximación	2,0 mm/s
Velocidad de ensayo y de retorno	0,5 mm/s
Carga de activación	0,067 N
Frecuencia de adquisición	10 puntos por segundo
Tiempos de espera y de recuperación	No se aplicaron

Nota. La longitud de muestra registrada por el equipo fue de 12 mm en todos los ensayos.

La profundidad de penetración objetivo no fue constante entre tratamientos: se fijó en 11 mm para T1, en 9 mm para T2, T3, T4, T5 y T6, y en 7 mm para T7. Esta variación debe tenerse presente al comparar los valores obtenidos, puesto que la fuerza máxima de un ensayo de penetración depende de la profundidad alcanzada, de modo que las firmezas registradas no corresponden a una misma condición de ensayo y su comparación directa entre tratamientos resulta limitada.

3.4.3. Evaluación tecnológica

fuer1. Rendimiento de cocción

Para esta determinación se elaboraron piezas de formulación idéntica a las del panel, pero estandarizadas en masa, de modo que la masa de partida coincidiera con la base de la formulación y el cálculo del rendimiento no dependiera del porcionado. Cada pieza se formó con 115 g de mezcla en un molde de 9,5 cm de diámetro, alcanzando un espesor de 1,51 cm. Se elaboraron tres piezas por unidad experimental en las nueve unidades del diseño, lo que totalizó 27 determinaciones.

Cada pieza se pesó antes de la cocción en balanza con aproximación de 0,01 g. La cocción se realizó sobre plancha eléctrica ligeramente engrasada con aceite de soya, a fuego medio alto fijado de forma nominal y sin control instrumental de la temperatura, durante 5 minutos por cara con un único volteo. Una vez retirada de la plancha, cada pieza reposó 2,5 minutos sobre papel absorbente antes de ser pesada nuevamente, de modo que el intervalo entre el retiro y la determinación de la masa fue idéntico en todas las unidades.

El rendimiento de cocción se calculó como el cociente entre la masa de la pieza cocida y la de la misma pieza cruda, y la pérdida por cocción como su complemento, según las expresiones siguientes.

$$R = m_c / m_o \times 100 \qquad P = 100 - R$$

donde R es el rendimiento expresado en porcentaje, P la pérdida por cocción, m_0 la masa de la pieza cruda y m_c la masa de la misma pieza una vez cocida y reposada. El cálculo se realizó con la masa efectivamente pesada en cada pieza y no con el valor nominal de 115 g, con el objeto de no introducir en el cociente una masa de partida que no corresponde a la pieza medida.

Las piezas se cocieron siguiendo el orden de los tratamientos, del T1 al T7, sin aleatorizar la secuencia. Esta condición se declara por confundir el orden de cocción con la formulación, y se considera al interpretar los resultados.

El rendimiento de cocción y la reducción del diámetro son los índices habitualmente empleados para caracterizar la respuesta de una hamburguesa de pescado a la cocción en plancha (Bainy et al., 2015). En el presente estudio se determinó el primero de ellos, cuya pertinencia resulta particularmente marcada en un producto formulado a partir de carne de pota, cuya humedad de partida, de 70,30 g por 100 g, condiciona la cantidad de agua susceptible de perderse.

3.4.4. Análisis sensorial mediante escala hedónica

3.4.4.1.Panel de evaluación y tamaño de muestra

La evaluación se realizó con un panel de 82 consumidores no entrenados, conformado por estudiantes universitarios de la Universidad Nacional del Santa. Los panelistas no recibieron entrenamiento previo, dado que el objetivo de la prueba fue medir la aceptabilidad del producto desde la perspectiva del consumidor y no describir sus atributos de manera analítica. Antes de la evaluación se informó a cada panelista sobre la naturaleza del producto y sus ingredientes, y se le preguntó de manera verbal si presentaba alergia a productos marinos o a leguminosas; ninguno de los participantes declaró presentarla.

3.4.4.2.Preparación y presentación de las muestras

Para cada sesión, las hamburguesas se cocieron en plancha eléctrica a 185 °C durante 6 minutos por cara, hasta alcanzar una temperatura interna igual o superior a 74 °C, conforme al procedimiento descrito en la elaboración del producto. Una vez cocidas, se mantuvieron en horno a una temperatura de 65 a 70 °C durante un máximo de 20 minutos y se presentaron a los panelistas a aproximadamente 65 °C.

La evaluación se realizó en cuatro sesiones, con 20, 21, 21 y 20 panelistas, respectivamente, y en cada una de ellas cada panelista evaluó las nueve unidades experimentales. Cada hamburguesa cocida se dividió en cuatro porciones iguales, de modo que cada muestra correspondió a la cuarta parte de una hamburguesa de 100 g en crudo. Las muestras se presentaron identificadas con la denominación del tratamiento correspondiente, en un orden fijo común a todos los panelistas, en el que las tres réplicas del centroide se ubicaron a partir de la tercera posición de la secuencia, con la finalidad de evitar su coincidencia con las primeras muestras evaluadas. Entre muestras, los panelistas enjuagaron el paladar con agua a temperatura ambiente.

3.4.4.3.Instrumento de evaluación

Se empleó una ficha de evaluación en la que cada panelista calificó el sabor, el olor, la textura y el color de cada muestra mediante una escala hedónica estructurada de nueve puntos, con las categorías me disgusta extremadamente, me disgusta mucho, me disgusta moderadamente, me disgusta ligeramente, ni me gusta ni me disgusta, me gusta ligeramente, me gusta moderadamente,

me gusta mucho y me gusta extremadamente. Las respuestas se convirtieron a valores numéricos del 1 al 9, en ese mismo orden, para su posterior tratamiento estadístico. La ficha de evaluación se presenta en el Anexo 12.

3.5. Diseño experimental

Se empleó un diseño de mezclas de tipo simplex centroide con restricciones en los componentes. La elección de un diseño de mezclas responde a que las variables de interés no son las cantidades absolutas de cada ingrediente sino sus proporciones relativas dentro de la formulación, las cuales no son independientes entre sí porque su suma es necesariamente igual al cien por ciento. En esta condición un diseño factorial convencional no resulta aplicable, dado que la variación de un componente implica la variación simultánea de al menos otro.

3.5.1. Variables de estudio

3.5.1.1. Variables independientes (componentes de la mezcla)

Las variables independientes fueron las proporciones de los tres componentes de la fracción variable de la formulación: carne de pota precocida (x1), harina de tarwi desamargado (x2) y harina de quinua (x3), expresadas como porcentaje en masa de dicha fracción. Los componentes se sujetaron a la restricción de mezcla $x1 + x2 + x3 = 100$ % y a los límites $80 \leq x1 \leq 85$ %, $5 \leq x2 \leq 10$ % y $5 \leq x3 \leq 10$ %, definidos en función de la factibilidad tecnológica de la formulación.

La fracción fija de la formulación, constituida por 15 g de ingredientes constantes por cada 100 g de fracción variable, se mantuvo idéntica en todos los tratamientos y no forma parte del espacio experimental.

3.5.1.2. Variables dependientes (variables respuesta)

Las variables dependientes evaluadas en el producto fueron la humedad, el pH, los parámetros de color L*, a* y b*, la firmeza, medida como fuerza máxima de penetración, el rendimiento de cocción y la aceptabilidad sensorial de los atributos sabor, olor, textura y color, todas ellas determinadas experimentalmente según los métodos descritos en el punto anterior.

El contenido proteico de los tratamientos se incluyó como variable estimada y no como variable respuesta experimental. Al calcularse como suma ponderada de la proteína de cada ingrediente, constituye una función lineal exacta de las proporciones de la mezcla, carece de error experimental y no admite ajuste de modelos ni análisis de varianza. Por esta razón no se sometió al ajuste de modelos descrito más adelante y se empleó únicamente como criterio en la etapa de optimización.

3.5.2. Restricciones de los componentes y región factible

Las restricciones impuestas delimitan dentro del espacio de mezcla una región factible de forma triangular, cuyos vértices corresponden a las combinaciones de 85, 10 y 5 %, de 85, 5 y 10 % y de 80, 10 y 10 % de carne de pota, harina de tarwi y harina de quinua, respectivamente. Esta región está acotada por los límites superiores de los tres componentes y se encuentra invertida respecto del símplex original, por lo que constituye a su vez un símplex sobre el cual es aplicable directamente la estructura del diseño simplex centroide.

Sobre esta región se ubicaron siete tratamientos: los tres vértices, los tres puntos medios de las aristas que los unen y el centroide global. Esta distribución permite explorar tanto las combinaciones extremas como las intermedias y estimar los efectos individuales y de interacción de los componentes. Los tratamientos se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 20

Tratamientos del diseño de mezclas simplex centroide

Tratamiento	Tipo de punto	x_1 (%)	x_2 (%)	x_3 (%)	u_1	u_2	u_3
T1	Vértice	85,00	5,00	10,00	0	1	0
T2	Vértice	85,00	10,00	5,00	0	0	1
T3	Vértice	80,00	10,00	10,00	1	0	0
T4	Punto medio de arista	85,00	7,50	7,50	0	0,5	0,5
T5	Punto medio de arista	82,50	10,00	7,50	0,5	0	0,5
T6	Punto medio de arista	82,50	7,50	10,00	0,5	0,5	0
T7	Centroide	83,33	8,33	8,33	0,333	0,333	0,333

Nota. x_1, x_2 y x_3 corresponden a las proporciones reales de carne de pota precocida, harina de tarwi desamargado y harina de quinua, expresadas como porcentaje en masa de la fracción variable. u_1, u_2 y u_3 son los pseudocomponentes superiores correspondientes. Los valores del centroide se consignan redondeados a dos decimales, por lo que su suma es 99,99 % por efecto del redondeo.

Para el ajuste de los modelos, las proporciones reales se transformaron a pseudocomponentes superiores, transformación adecuada cuando la región factible está acotada por los límites superiores de los componentes, según la expresión siguiente:

$$u_i = (U_i - x_i) / (\Sigma U - 100)$$

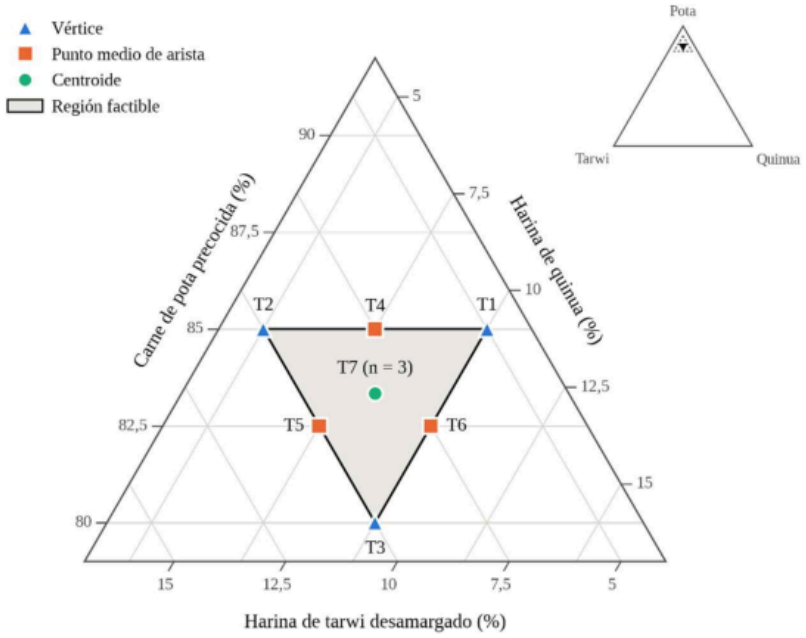
donde u_i es el pseudocomponente superior del componente i, x_i su proporción real, U_i su límite superior y ΣU la suma de los límites superiores, igual a 105 %, de modo que el denominador es 5. Esta transformación hace corresponder la región factible con un símplex completo, en el que los tres vértices adoptan los valores unitarios de cada pseudocomponente, y reduce la colinealidad entre los términos del modelo derivada del estrecho intervalo de variación de las proporciones reales.

En los pseudocomponentes superiores la relación con la proporción real es inversa: un valor alto de u_i corresponde a una proporción baja del componente i. Así, el vértice con $u_1 = 1$ corresponde al tratamiento con menor proporción de carne de pota, 80 %. Esta inversión se considera en la interpretación de los coeficientes de los modelos.

La región experimental y la ubicación de los tratamientos se muestran en la figura siguiente.

Figura 5

Región experimental y tratamientos del diseño de mezclas simplex centroide



Nota. La región factible corresponde al triángulo delimitado por los límites superiores de carne de pota precocida (85 %), harina de tarwi desamargado (10 %) y harina de quinua (10 %). T1, T2 y T3 son los vértices de la región, T4, T5 y T6 los puntos medios de sus aristas y T7 el centroide.

3.5.3. Diseño de mezclas simplex-centroide y codificación de tratamientos

El diseño comprendió nueve unidades experimentales. Los seis tratamientos correspondientes a vértices y puntos medios de arista se elaboraron una vez, y el centroide se elaboró por triplicado, con la finalidad de estimar el error puro y de evaluar la falta de ajuste de los modelos. Con nueve observaciones y siete puntos de diseño distintos, el error puro dispone de dos grados de libertad.

Cada réplica del centroide se preparó como un lote independiente, desde el pesado de los ingredientes hasta el moldeado, de modo que las tres réplicas recogen la variabilidad del proceso de elaboración y no únicamente la del análisis. El orden de elaboración de las nueve unidades experimentales se estableció según el criterio empleado].

Las determinaciones analíticas realizadas por triplicado sobre cada unidad experimental corresponden a repeticiones analíticas y no a repeticiones experimentales. Para el ajuste de los

modelos se empleó la media de las repeticiones analíticas de cada unidad, de modo que cada unidad experimental aporta una única observación por variable respuesta. Este criterio evita tratar como independientes mediciones procedentes de una misma elaboración, lo que sobrestimaría los grados de libertad y la significancia de los efectos.

3.5.4. Unidades experimentales y repeticiones

El diseño comprendió nueve unidades experimentales. Los seis tratamientos correspondientes a vértices y puntos medios de arista se elaboraron una vez, y el centroide se elaboró por triplicado, con la finalidad de estimar el error puro y de evaluar la falta de ajuste de los modelos. Con nueve observaciones y siete puntos de diseño distintos, el error puro dispone de dos grados de libertad.

La correspondencia entre unidades experimentales y tratamientos se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 21

Unidades experimentales del diseño

Unidad experimental	Tratamiento	Tipo de punto	x_1 (%)	x_2 (%)	x_3 (%)
1	T1	Vértice	85,00	5,00	10,00
2	T2	Vértice	85,00	10,00	5,00
3	T3	Vértice	80,00	10,00	10,00
4	T4	Punto medio de arista	85,00	7,50	7,50
5	T5	Punto medio de arista	82,50	10,00	7,50
6	T6	Punto medio de arista	82,50	7,50	10,00
7	T7.1	Centroide	83,33	8,33	8,33
8	T7.2	Centroide	83,33	8,33	8,33
9	T7.3	Centroide	83,33	8,33	8,33

Nota. La numeración de las unidades experimentales es correlativa y no representa el orden de elaboración. T7.1, T7.2 y T7.3 corresponden a las tres réplicas del centroide, elaboradas como lotes independientes, que permiten estimar el error puro con dos grados de libertad.

Cada réplica del centroide se preparó como un lote independiente, desde el pesado de los ingredientes hasta el moldeado, de modo que las tres réplicas recogen la variabilidad del proceso

de elaboración y no únicamente la del análisis. El orden de elaboración de las nueve unidades experimentales se estableció según el criterio empleado.

Las determinaciones analíticas realizadas por triplicado sobre cada unidad experimental corresponden a repeticiones analíticas y no a repeticiones experimentales. Para el ajuste de los modelos se empleó la media de las repeticiones analíticas de cada unidad, de modo que cada unidad experimental aporta una única observación por variable respuesta. Este criterio evita tratar como independientes mediciones procedentes de una misma elaboración, lo que sobrestimaría los grados de libertad y la significancia de los efectos.

3.6. Metodología estadística

Los resultados de cada determinación analítica se resumieron como media aritmética y desviación estándar de sus repeticiones analíticas, valores que se presentan con carácter descriptivo para cada tratamiento. El análisis inferencial se realizó sobre la media de cada unidad experimental, conforme al criterio establecido en el diseño experimental, y comprendió el ajuste de modelos de mezcla, el análisis de varianza de la evaluación sensorial y la optimización multirrespuesta de la formulación. En todas las pruebas se empleó un nivel de significancia de 0,05.

3.6.1. Modelo estadístico

La relación entre cada variable respuesta y la composición de la mezcla se describió mediante los polinomios canónicos de Scheffé (1963), expresados en pseudocomponentes superiores. Estos modelos carecen de término independiente, dado que la restricción de mezcla hace que la suma de los componentes sea constante e igual a la unidad (Cornell, 2002). Se evaluaron tres modelos de complejidad creciente, el lineal, el cuadrático y el cúbico especial, cuyas expresiones son, respectivamente, las siguientes:

$$\hat{y} = \beta_1 u_1 + \beta_2 u_2 + \beta_3 u_3$$

$$\hat{y} = \beta_1 u_1 + \beta_2 u_2 + \beta_3 u_3 + \beta_{12} u_1 u_2 + \beta_{13} u_1 u_3 + \beta_{23} u_2 u_3$$

$$\hat{y} = \beta_1 u_1 + \beta_2 u_2 + \beta_3 u_3 + \beta_{12} u_1 u_2 + \beta_{13} u_1 u_3 + \beta_{23} u_2 u_3 + \beta_{123} u_1 u_2 u_3$$

donde ŷ es el valor estimado de la variable respuesta, u_1, u_2 y u_3 los pseudocomponentes superiores de carne de pota precocida, harina de tarwi desamargado y harina de quinua, respectivamente, β_i los coeficientes de los términos lineales, β_{ij} los coeficientes de interacción binaria y β_{123} el coeficiente de interacción ternaria.

Cada coeficiente lineal corresponde a la respuesta estimada en uno de los vértices de la región experimental: β_1 en T3, β_2 en T1 y β_3 en T2, es decir, en el vértice donde el componente respectivo alcanza su proporción mínima. Un coeficiente de interacción binaria positivo indica que, a lo largo de la arista correspondiente, la respuesta es superior a la que resultaría de la simple ponderación lineal de sus vértices, lo que se interpreta como un efecto sinérgico; un coeficiente negativo indica un efecto antagónico.

3.6.2. Análisis de varianza y ajuste del modelo

Para cada variable respuesta, el modelo se seleccionó de manera secuencial. Mediante pruebas F se evaluó si la incorporación de los términos de interacción binaria al modelo lineal, y del término de interacción ternaria al modelo cuadrático, reducía de forma significativa la suma de cuadrados residual, y se retuvo el modelo de menor complejidad cuyos términos adicionales no resultaron significativos.

La adecuación del modelo seleccionado se evaluó mediante el análisis de varianza de la regresión. La suma de cuadrados residual se descompuso en un componente de error puro, estimado a partir de las tres réplicas independientes del centroide, y un componente de falta de ajuste, y ambos se contrastaron mediante una prueba F. Una falta de ajuste no significativa indica que el modelo describe adecuadamente la variación de la respuesta dentro de la región experimental. La distribución de los grados de libertad según el modelo se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 22

Grados de libertad del análisis de varianza según el modelo de mezcla

Modelo	Parámetros	Residual	Error puro	Falta de ajuste
Lineal	3	6	2	4
Cuadrático	6	3	2	1
Cúbico especial	7	2	2	0

Nota. Grados de libertad calculados para nueve observaciones distribuidas en siete puntos de diseño distintos, con tres réplicas independientes en el centroide.

El modelo cúbico especial contiene tantos parámetros como puntos de diseño distintos, por lo que ajusta exactamente la media de cada uno de ellos y no dispone de grados de libertad para evaluar la falta de ajuste. Por esta razón, su selección se consideró únicamente cuando el término de interacción ternaria resultó significativo en la prueba F secuencial.

Se calcularon además el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), que penaliza la incorporación de términos al modelo, y el coeficiente de determinación de predicción (R^2_{pred}), obtenido a partir del estadístico PRESS, que estima la capacidad del modelo para predecir observaciones no incluidas en su ajuste. La concordancia entre R^2_{aj} y R^2_{pred} se empleó como indicador de ausencia de sobreajuste.

3.6.3. Verificación de supuestos

Los supuestos del modelo de regresión se verificaron sobre los residuos del modelo seleccionado para cada variable. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y el gráfico de probabilidad normal, la homogeneidad de varianzas mediante el gráfico de residuos frente a valores ajustados y la independencia mediante el gráfico de residuos frente al orden de elaboración de las unidades experimentales. Dado que con nueve observaciones la potencia de las pruebas formales es limitada, la evaluación gráfica se empleó como complemento de dichas pruebas.

3.6.4. Análisis de la evaluación sensorial

Las puntuaciones de cada atributo sensorial, obtenidas con escala hedónica de nueve puntos, se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías correspondiente a un diseño de bloques completos al azar, en el que las nueve unidades experimentales constituyeron los tratamientos y los panelistas los bloques, según el modelo siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \rho_j + \varepsilon_{ij}$$

donde y_{ij} es la puntuación asignada a la unidad experimental i por el panelista j, μ la media general, τ_i el efecto de la unidad experimental i, ρ_j el efecto del panelista j y ε_{ij} el error aleatorio. La inclusión del panelista como bloque separa de la variación residual las diferencias sistemáticas entre evaluadores en el uso de la escala.

Cuando el efecto de las unidades experimentales resultó significativo, sus medias se compararon mediante la prueba de Tukey. La comparación entre T7.1, T7.2 y T7.3, réplicas independientes de una misma formulación, permitió además verificar la reproducibilidad del proceso de elaboración. Dado el carácter ordinal de la escala hedónica, los resultados del análisis de varianza se contrastaron con la prueba no paramétrica de Friedman.

De manera complementaria, la media de las puntuaciones de cada unidad experimental se empleó como variable respuesta en el ajuste de los modelos de mezcla descritos anteriormente, con la finalidad de relacionar la aceptabilidad sensorial con la composición de la formulación.

3.6.5. Optimización multirrespuesta

La formulación óptima se determinó mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich (1980), que permite optimizar de manera simultánea varias variables respuesta. Para cada variable se definió una función de deseabilidad individual d_i, con valores comprendidos entre 0, para una respuesta inaceptable, y 1, para una respuesta ideal. Para las variables cuyo objetivo fue maximizar, la función se definió según la expresión siguiente:

$$di = 0, si\ \hat{y}i < Li$$

$$di = [(\hat{y}i - Li) / (Ti - Li)]^s, si\ Li \leq \hat{y}i \leq Ti$$

$$di = 1, si\ \hat{y}i > Ti$$

donde $\hat{y}_i$ es el valor estimado de la variable i, L_i su límite inferior aceptable, T_i su valor objetivo y s el exponente que define la forma de la función, que se fijó en 1. Los límites inferior y objetivo de cada variable se establecieron en los valores mínimo y máximo que su modelo predice dentro de la región experimental, de modo que la deseabilidad individual recorre el intervalo completo alcanzable por la respuesta y la formulación menos favorable en cada criterio recibe deseabilidad nula.

Las deseabilidades individuales se combinaron en una deseabilidad global D mediante la media geométrica, según la expresión siguiente:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \ldots \times d_k)^{1/k}$$

donde k es el número de variables consideradas. La media geométrica hace que D sea nula cuando cualquiera de las variables alcanza una deseabilidad nula, de modo que la formulación óptima no puede sacrificar por completo ninguno de los criterios. La formulación óptima correspondió a la combinación de componentes que maximizó D dentro de la región experimental.

Se incorporaron a la optimización las variables respuesta que cumplieron dos condiciones: poseer una dirección de mejora definida sin ambigüedad y disponer de un modelo de mezcla adecuado sobre la región experimental. La primera condición excluye a las variables cuyo valor deseable no puede establecerse en un sentido único, que cumplen una función de caracterización del producto, y la segunda, a aquellas cuya variación no resultó atribuible a la formulación. Las variables que satisfacen ambas condiciones son el contenido proteico estimado, la aceptación general otorgada por el panel y el rendimiento de cocción, las tres a maximizar. El contenido proteico estimado se incorporó directamente mediante su expresión de cálculo, dado que no requiere ajuste de modelo, y las dos restantes a través de sus modelos de mezcla. Las razones de exclusión de cada una de las demás variables determinadas se exponen en el capítulo de resultados. Los criterios de optimización se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 23

Criterios de optimización de la formulación

Variable	Objetivo	Estimación
Contenido proteico estimado	Maximizar	Cálculo directo
Aceptación general	Maximizar	Modelo de mezcla
Rendimiento de cocción	Maximizar	Modelo de mezcla

Nota. Las tres variables se ponderaron con igual importancia. Los límites de cada función de deseabilidad individual corresponden a los valores mínimo y máximo que el modelo de la variable respectiva predice dentro de la región experimental. La aceptabilidad sensorial se incorporó mediante la aceptación general y no mediante los atributos de color, olor, sabor y textura por separado, por dos razones: la aceptación general constituye el juicio integrador que el panelista emite sobre el conjunto del producto y es la respuesta que corresponde al objetivo del estudio, mientras que los atributos específicos cumplen una función diagnóstica orientada a explicar el origen de la aceptación; y su incorporación independiente habría asignado a la dimensión sensorial cuatro de las seis ponderaciones, sobrerrepresentándola frente al contenido proteico y al rendimiento de cocción. La robustez del óptimo frente a la ponderación asignada se verifica en el capítulo de resultados.

3.6.6. Criterio de selección de la formulación óptima

Dado que no se realizó una elaboración de confirmación de la combinación predicha por los modelos, la formulación óptima se seleccionó entre los siete tratamientos elaborados. Se designó como formulación óptima el tratamiento con mayor deseabilidad global, calculada a partir de los valores observados de cada variable y del contenido proteico estimado, siempre que alcanzara una aceptabilidad sensorial media igual o superior a 6 en los cuatro atributos evaluados, valor que en la escala hedónica corresponde a la categoría me gusta ligeramente. En el centroide se emplearon las medias de sus tres réplicas.

La combinación de máxima deseabilidad predicha por los modelos dentro de la región experimental se reporta como referencia para estudios posteriores.

3.6.7. Software estadístico

El procesamiento de los datos, el ajuste de los modelos, los análisis de varianza, las pruebas de comparación múltiple y la optimización se realizaron en el entorno de programación R, versión 4.4.1, mediante la interfaz Rstudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización proximal de las materias primas

En este apartado se presentan y discuten los resultados de la caracterización proximal de la carne de pota precocida y de las harinas de quinua y de tarwi, obtenidos con los métodos descritos en la metodología. Los valores se expresan como media ± desviación estándar de tres determinaciones. Dado que la humedad de las materias primas difiere de la de los materiales reportados en la literatura, las comparaciones se realizaron en base seca, calculada como el cociente entre el contenido del componente y la materia seca de la muestra.

4.1.1. Pota (Dosidicus gigas)

4.1.1.1. Composición proximal

La composición proximal de la carne de pota precocida se presenta en la tabla siguiente. La humedad fue el componente mayoritario, con 70,30 g/100 g, seguida de la proteína, con 17,86 g/100 g, la grasa, con 1,45 g/100 g, y las cenizas, con 1,72 g/100 g. Expresados en base seca, estos valores equivalen a 60,14 g/100 g de proteína, 4,88 de grasa y 5,79 de cenizas.

Tabla 24

Composición proximal de la carne de pota precocida

Componente	Cantidad (g/100 g)
Humedad	70,30 ± 0,10
Proteína (N × 6,25)	17,86 ± 0,08
Grasa	1,45 ± 0,03
Cenizas	1,72 ± 0,02

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar de tres determinaciones, referidos a la muestra tal cual. Los métodos empleados en cada determinación se detallan en la metodología. Los valores en base seca citados en el texto se calcularon con la humedad media de la muestra. En las cenizas, las tres réplicas arrojaron la misma masa, 0,053 g, por lo que la dispersión entre ellas resultó inferior a la resolución de la balanza, equivalente a 0,03 g/100 g sobre la masa de muestra empleada.

La humedad de la carne precocida fue inferior al intervalo de 81,2 a 86,9 % reportado por Albrecht-Ruiz et al. (2017) para tejido de pota destinado a la elaboración de surimi, mientras que su contenido de proteína superó el intervalo de 10,5 a 16,4 % reportado por los mismos autores. Ambas diferencias son coherentes con la pérdida de agua durante la precocción a 90 °C por 35 minutos, que concentra los sólidos del músculo, por lo que estos valores no son directamente comparables con los del tejido crudo.

El contenido de grasa, de 1,45 g/100 g, y el de cenizas, de 1,70 g/100 g, indican que el aporte lipídico y mineral de esta materia prima a la formulación es reducido. No obstante, la suma de los cuatro componentes determinados alcanza 91,30 g/100 g, de modo que 8,70 g/100 g de la carne precocida no quedan explicados. En base seca, la proteína, la grasa y las cenizas dan cuenta de solo el 70,72 % de la materia seca. Dos explicaciones resultan compatibles con los datos disponibles: una subestimación de la proteína en la determinación por combustión, realizada sobre porciones de aproximadamente 0,1 g de una matriz húmeda y fibrosa, o una diferencia entre la submuestra empleada para la humedad y la enviada para la proteína. Con la información disponible no es posible distinguir entre ambas.

Este valor es relevante porque la carne de pota constituye entre 80 y 85 g de cada 100 g de la fracción variable de la formulación, de modo que cada punto de error en su contenido proteico se traslada con un peso de 0,70 a 0,74 puntos a la proteína teórica de los tratamientos. Por ello, dichos valores se interpretan con cautela.

4.1.2. Harina de quinua (Chenopodium quinoa)

4.1.2.1. Composición proximal

La composición proximal de la harina de quinua se presenta en la tabla siguiente. Los carbohidratos totales, obtenidos por diferencia, fueron el componente mayoritario, con 72,90 g/100 g, seguidos de la proteína, con 11,96 g/100 g, la humedad, con 6,59 g/100 g, la grasa, con 6,04 g/100 g, y las cenizas, con 2,51 g/100 g. Expresados en base seca, estos valores equivalen a 78,04 g/100 g de carbohidratos totales, 12,81 de proteína, 6,47 de grasa y 2,69 de cenizas. Dado que no se determinó la fibra cruda, el valor de carbohidratos totales la incluye.

Tabla 25

Composición proximal de la harina de quinua

Componente	Cantidad (g/100 g)
Humedad	6,59 ± 0,02
Proteína (N × 6,25)	11,96 ± 0,15
Grasa	6,04 ± 0,02
Cenizas	2,51 ± 0,02
Carbohidratos totales	72,90

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar de tres determinaciones, referidos a la harina tal cual. Los métodos empleados en cada determinación se detallan en la metodología. Los valores en base seca citados en el texto se calcularon con la humedad media de la harina. Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia a partir de las medias e incluyen la fibra.

La humedad de la harina de quinua fue inferior a la reportada por Pantoja-Tirado et al. (2020), de 10,48 %, lo que es coherente con las condiciones de secado, ya que dichos autores secaron el grano a 60 °C durante aproximadamente 4,5 horas, hasta una humedad de 12 %, mientras que en el presente estudio se secó a 55 °C durante 12 horas. Por esta diferencia, los demás componentes se compararon en base seca.

Los valores del presente estudio en base seca fueron de 12,81 g/100 g de proteína, 6,47 de grasa, 2,69 de cenizas y 78,04 de carbohidratos totales. Los de Pantoja-Tirado et al. (2020), calculados a partir de 9,05 % de proteína, 2,53 % de grasa, 2,44 % de cenizas, 3,11 % de fibra y 72,39 % de carbohidratos con 10,48 % de humedad, fueron de 10,11 de proteína, 2,83 de grasa, 2,73 de cenizas y 84,34 de carbohidratos totales, este último como suma de carbohidratos y fibra, para hacerlo comparable con el valor por diferencia del presente estudio. Sus valores se consideraron expresados sobre la harina tal cual, dado que su composición, incluida la humedad, suma 100 %.

La harina del presente estudio presentó así 2,70 puntos más de proteína y 3,64 más de grasa, 6,30 puntos menos de carbohidratos totales y prácticamente las mismas cenizas, con 0,04 puntos de diferencia. Este patrón coincide con el descrito por Ahmed et al. (2019), quienes observaron que, al disminuir el tamaño de partícula de la harina de quinua, aumentaban los contenidos de proteína y grasa, entre otros, y disminuía el de almidón. La harina empleada correspondió a la fracción

menor de 250 µm, que representó solo el 34,52 % del material molido, frente al 77,60 % en el caso del tarwi, por lo que no equivale a una harina integral del grano. García Solaesa et al. (2020) también reportaron una redistribución de estos componentes por fraccionamiento en seco, con una fracción media, de aproximadamente 500 µm, enriquecida en 50 % en proteína y en 80 % en lípidos respecto al grano, lo que confirma que la composición de una harina tamizada depende de la fracción recuperada.

Sin embargo, Pantoja-Tirado et al. (2020) también tamizaron su harina, con el tamiz número 120, sin informar el rendimiento de esa operación, por lo que la diferencia no puede atribuirse solo al tamizado. Intervienen además la materia prima, pues dichos autores emplearon quinua de la variedad Blanca de Juli y en el presente estudio se utilizó quinua blanca perlada de producción local, y los métodos de análisis, ya que dichos autores determinaron la proteína por el método Kjeldahl y la grasa por extracción con hexano, mientras que en el presente estudio se emplearon el método de combustión de Dumas y éter de petróleo.

4.1.3. Harina de tarwi (Lupinus mutabilis)

4.1.3.1. Composición proximal

La composición proximal de la harina de tarwi desamargado se presenta en la tabla siguiente. La proteína fue el componente mayoritario, con 51,75 g/100 g, seguida de los carbohidratos totales, obtenidos por diferencia, con 24,72 g/100 g, la grasa, con 17,43 g/100 g, las cenizas, con 2,83 g/100 g, y la humedad, con 3,27 g/100 g. Expresados en base seca, estos valores equivalen a 53,50 g/100 g de proteína, 25,56 de carbohidratos totales, 18,02 de grasa y 2,92 de cenizas. Dado que no se determinó la fibra cruda, el valor de carbohidratos totales la incluye.

Tabla 26

Composición proximal de la harina de tarwi desamargado

Componente	Cantidad (g/100 g)
Humedad	3,27 ± 0,01
Proteína (N × 6,25)	51,75 ± 0,44
Grasa	17,43 ± 0,03
Cenizas	2,83 ± 0,01
Carbohidratos totales	24,72

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar de tres determinaciones, referidos a la harina tal cual. Los métodos empleados en cada determinación se detallan en la metodología. Los valores en base seca citados en el texto se calcularon con la humedad media de la harina. Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia a partir de las medias e incluyen la fibra.

La humedad de la harina de tarwi fue inferior a la reportada por Pantoja-Tirado et al. (2020) para harina de tarwi precocida, de 6,33 %, lo que es coherente con un secado más prolongado, de 12 horas a 55 °C en el presente estudio frente a 5,5 horas a 60 °C en dicho trabajo. Los demás componentes se compararon en base seca.

Los valores del presente estudio en base seca fueron de 53,50 g/100 g de proteína, 18,02 de grasa, 2,92 de cenizas y 25,56 de carbohidratos totales. Los de Pantoja-Tirado et al. (2020), calculados a partir de 49,04 % de proteína, 27,32 % de grasa, 2,85 % de cenizas, 2,94 % de fibra y 11,52 % de carbohidratos con 6,33 % de humedad, fueron de 52,35 de proteína, 29,17 de grasa, 3,04 de cenizas y 15,44 de carbohidratos totales, este último como suma de carbohidratos y fibra. Sus valores se consideraron expresados sobre la harina tal cual, dado que su composición, incluida la humedad, suma 100 %.

El contenido proteico concuerda con el de dichos autores, con una diferencia de 1,15 puntos en base seca, pese a que ellos determinaron la proteína por el método Kjeldahl y en el presente estudio se empleó el método de combustión de Dumas. Con este contenido, la harina de tarwi constituye la principal fuente de proteína vegetal de la formulación.

En cambio, el contenido de grasa fue 11,15 puntos menor en base seca, equivalente a 38 % menos. La diferencia no se explica por el procesamiento general, ya que Pantoja-Tirado et al. (2020) aplicaron una secuencia comparable de hidratación, cocción, desamargado por lavados sucesivos durante 3,5 días, secado, molienda y tamizado. Entre las causas posibles se encuentran la materia prima, pues dichos autores emplearon la variedad Puno y en el presente estudio se utilizó tarwi de grano grande adquirido en un mercado local, sin variedad identificada; el tamizado, ya que el 22,40 % del material molido quedó retenido sobre la malla de 250 µm y, como se ha descrito en quinua, los lípidos se distribuyen de forma desigual entre fracciones granulométricas (García Solaesa et al., 2020); y la extracción, realizada con éter de petróleo en lugar de hexano y sin que pudiera verificarse su agotamiento. Con la información disponible no es posible atribuir la diferencia a una causa específica.

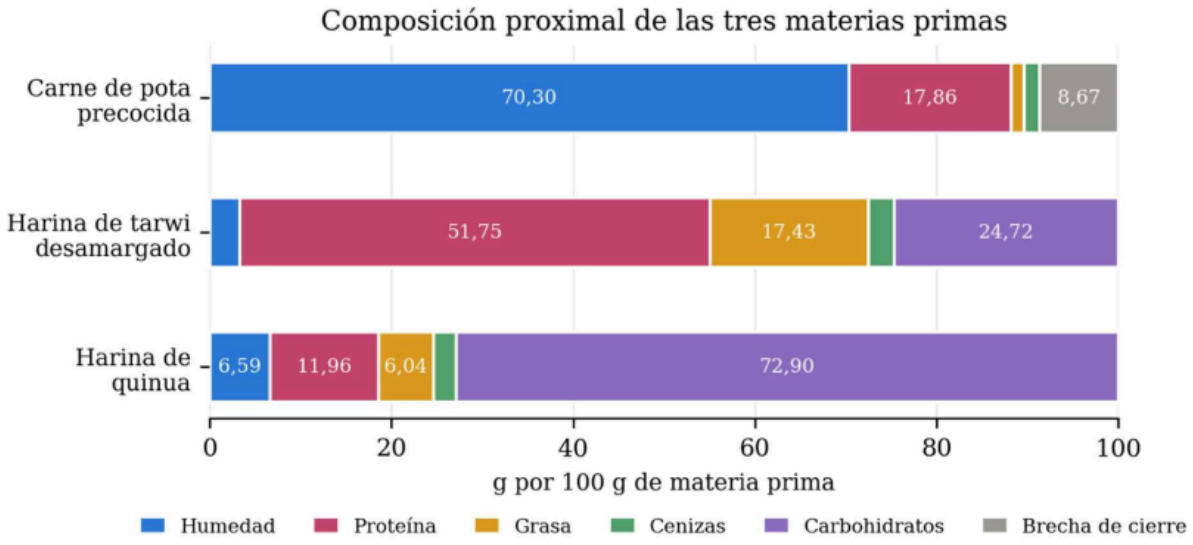
Las cenizas, en cambio, prácticamente coinciden con las de dichos autores: 2,92 frente a 3,04 g/100 g en base seca, una diferencia de 0,12 puntos. De este modo, la proteína y las cenizas concuerdan y la discrepancia se concentra en la grasa. Como los carbohidratos totales se obtuvieron por diferencia, el déficit de grasa se traslada a ese valor, que resultó 10,12 puntos mayor que el de Pantoja-Tirado et al. (2020), con 25,56 frente a 15,44 g/100 g en base seca. Por esta razón, el contenido de carbohidratos totales de la harina de tarwi debe interpretarse como un valor residual, condicionado por la determinación de la grasa, y no como una medida directa.

4.1.4. Composición comparada de las tres materias primas

La composición de las tres materias primas se representa de forma conjunta en la figura siguiente, en la que cada barra suma 100 g y permite apreciar la contribución relativa de cada fracción.

Figura 6

Composición proximal de las materias primas



Nota. Cada barra representa 100 g de materia prima tal cual. Los carbohidratos de las dos harinas se obtuvieron por diferencia e incluyen la fibra, que no fue determinada. En la carne de pota precocida la fracción gris corresponde a la brecha de cierre del balance, de 8,67 g por 100 g, que no se asignó a ninguna fracción por las razones expuestas anteriormente. Las etiquetas se omiten en las fracciones inferiores a 4 g por 100 g, cuyos valores figuran en las tablas precedentes.

La figura muestra que las tres materias primas desempeñan papeles distintos dentro de la formulación. La carne de pota precocida es el componente que aporta el agua del sistema, con 70,30 g por 100 g, y a la vez la base proteica, con 17,86 g. La harina de tarwi desamargado concentra la proteína y la grasa, con 51,75 y 17,43 g por 100 g, de modo que su contenido proteico equivale a 2,90 veces el de la carne de pota y a 4,33 veces el de la harina de quinua. La harina de quinua, por su parte, es fundamentalmente una fuente de carbohidratos, con 72,90 g por 100 g obtenidos por diferencia.

Esta distribución explica el comportamiento de la formulación. Dado que la carne de pota constituye entre el 80 y el 85 g de cada 100 g de la fracción variable, aporta alrededor del 98 % del agua de la mezcla, lo que determina que la humedad del producto quede gobernada por esta materia prima. Al mismo tiempo, y pese a que la harina de tarwi es el ingrediente más rico en proteína, la carne de pota contribuye entre el 59,8 y el 68,4 % de la proteína total de cada formulación por efecto de su mayor proporción en la mezcla.

Conviene precisar un aspecto que la comparación en base húmeda oculta. Expresados en base seca, los contenidos proteicos son de 60,14 g por 100 g en la carne de pota precocida, 53,50 en la harina de tarwi desamargado y 12,81 en la harina de quinua, de manera que la materia seca de la pota resulta incluso más rica en proteína que la del tarwi. El efecto enriquecedor de la harina de tarwi sobre el producto no procede, por tanto, de una mayor densidad proteica de su materia seca, sino de que incorpora proteína acompañada de muy poca agua, al ingresar con 3,27 g de humedad por 100 g frente a los 70,30 de la carne de pota. Dicho de otro modo, el tarwi eleva el contenido proteico del producto principalmente porque desplaza agua.

4.2. Obtención de las harinas y de la hamburguesa marina

En este apartado se presentan el balance de materia y el rendimiento de las tres líneas de acondicionamiento de materia prima, así como los resultados de la elaboración de las hamburguesas, lo que responde a los objetivos específicos de elaborar las harinas de tarwi y de quinua y de elaborar las hamburguesas según el diseño experimental. El rendimiento de etapa expresa la masa de salida respecto de la masa de entrada de cada operación y el rendimiento acumulado, la masa de salida respecto de la materia prima recibida. Cada línea se procesó en un lote único, por lo que los valores tienen carácter descriptivo.

En las dos líneas de harina se verificó además el balance en materia seca, dado que esta solo puede mantenerse o disminuir a lo largo del proceso. Como la humedad del material seco no se determinó antes de la molienda, se asumió igual a la de la harina obtenida.

4.2.1. Harina de tarwi desamargado

El balance se realizó sobre un lote de 10,000 kg de grano de tarwi (*Lupinus mutabilis*) con 11,50 g/100 g de humedad, y sus resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 27

Balance de materia de la obtención de harina de tarwi desamargado

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	10,000	10,000	100,00	100,00
Selección y limpieza	10,000	9,000	90,00	90,00
Hidratación y remojo	9,000	15,550	172,78	155,50
Cocción	15,550	16,950	109,00	169,50
Desamargado	16,950	15,800	93,22	158,00
Escurrido final	15,800	15,300	96,84	153,00
Secado	15,300	4,200	27,45	42,00
Molienda	4,200	3,978	94,71	39,78
Tamizado a 250 µm	3,978	3,087	77,60	30,87

Nota. Valores de un lote único. Los rendimientos superiores a 100 % en la hidratación y en la cocción corresponden a la incorporación de agua y no a ganancia de sólidos. El tamizado dejó un retenido sobre malla de 0,891 kg, pesado por separado; la masa de harina se obtuvo por diferencia. La humedad del grano recibido fue de 11,50 g/100 g y la de la harina, de 3,27 g/100 g.

La selección y limpieza retiró 1,000 kg de impurezas y granos dañados, equivalentes al 10,00 % de la masa recibida. Las operaciones húmedas produjeron una ganancia neta de masa: la hidratación durante 18 horas incorporó 6,550 kg de agua, equivalentes a una absorción de 72,78 % respecto del grano seleccionado, y la cocción añadió 1,400 kg más. A partir del desamargado la masa disminuyó, con rendimientos de etapa de 93,22 % en el desamargado y de 96,84 % en el escurrido. El secado eliminó 11,100 kg de agua y fue la operación de mayor reducción de masa, con un rendimiento de 27,45 %.

La molienda rindió 94,71 %, con una merma de 0,222 kg. El tamizado a 250 µm rindió 77,60 % y dejó un retenido sobre malla de 0,891 kg, equivalente al 22,40 % del material molido. Dado que la masa de harina se obtuvo por diferencia entre la masa que ingresó al tamizador y el retenido, el cierre de esta operación no pudo verificarse de forma independiente. El rendimiento global fue de 30,87 % respecto del grano recibido.

La verificación en materia seca mostró que las operaciones comprendidas entre la hidratación y el secado retuvieron solo el 51,01 % de la materia seca del grano seleccionado: los 9,000 kg de grano, con 7,965 kg de materia seca, dieron 4,200 kg de producto seco con 4,063 kg de materia seca. La pérdida, de 48,99 %, casi duplica la pérdida de sólidos de 0,27 kg por kg de semilla seca atribuida al desamargado acuoso convencional (Torres-Tello et al., 1980, como se citó en Carvajal-Larenas et al., 2013). Una parte corresponde a la lixiviación de alcaloides, azúcares solubles y otros componentes hacia el agua de lavado, propia del desamargado. El exceso se atribuye al arrastre de cotiledón fragmentado durante los doce cambios de agua, dado que el grano cocido se disgrega con facilidad y el material fino no se recupera por decantación manual. Esta pérdida constituye una limitación del método de desamargado empleado y es la principal causa del bajo rendimiento de la línea.

4.2.2. Harina de quinua

El balance se realizó sobre un lote de 10,000 kg de grano de quinua (*Chenopodium quinoa*) con 12,00 g/100 g de humedad [confirmar que este valor fue determinado y no asumido]. A diferencia del tarwi, la quinua no recibió cocción, por lo que su línea comprende lavado y desaponificado, secado, molienda y tamizado. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 28

Balance de materia de la obtención de harina de quinua

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	10,000	10,000	100,00	100,00
Lavado y desaponificado	10,000	16,125	161,25	161,25
Secado	16,125	7,550	46,82	75,50
Molienda	7,550	6,300	83,44	63,00
Tamizado a 250 µm	6,300	2,175	34,52	21,75

Nota. Valores de un lote único. El rendimiento superior a 100 % en el lavado y desaponificado corresponde a la absorción de agua. El tamizado dejó un retenido sobre malla de 4,100 kg, pesado por separado. La humedad del grano recibido fue de 12,00 g/100 g y la de la harina, de 6,59 g/100 g.

El lavado y desaponificado elevó la masa a 16,125 kg por absorción de 6,125 kg de agua. El secado eliminó 8,575 kg de agua, con un rendimiento de 46,82 %. La molienda rindió 83,44 %, con una merma de 1,250 kg, equivalente al 16,56 % del grano seco, muy superior a la registrada en el tarwi, de 5,29 % [completar la causa: material retenido en el molino, polvo o muestras retiradas].

El tamizado a 250 µm fue la operación determinante del rendimiento de esta línea, con 34,52 %. El retenido sobre malla ascendió a 4,100 kg, equivalente al 65,08 % del material molido, de modo que la harina obtenida corresponde a una fracción fina y no a una harina integral. En este caso ambas fracciones se pesaron por separado, y su suma, de 6,275 kg frente a los 6,300 kg que ingresaron al tamizador, representa un cierre de 99,60 %, con 0,025 kg no contabilizados, atribuibles al material adherido a las mallas y a las paredes del equipo. El rendimiento global fue de 21,75 % respecto del grano recibido.

En materia seca, los 10,000 kg de grano contenían 8,800 kg de sólidos, mientras que los 7,550 kg de grano seco contienen 7,052 kg, lo que representa una pérdida de 19,86 %. Dado que el secado no retira sólidos, esta pérdida corresponde al lavado y desaponificado, en el que, además de las saponinas, el agua de lavado arrastró material de la superficie del grano y fragmentos finos. La

magnitud de esta pérdida depende de la humedad inicial del grano, por lo que su interpretación está sujeta a que dicho valor haya sido determinado.

4.2.3. Pota precocida

El balance se realizó sobre un lote de 31,850 kg de pota (*Dosidicus gigas*) recibida como animal entero sin limpiar, y sus resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 29

Balance de materia del acondicionamiento y precocción de la pota

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Recepción	31,850	31,850	100,00	100,00
Selección y lavado	31,850	31,850	100,00	100,00
Eviscerado y limpieza	31,850	27,900	87,60	87,60
Troceado	27,900	27,900	100,00	87,60
Precocción y escurrido	27,900	17,499	62,72	54,94

Nota. Valores de un lote único. Los 27,900 kg de fracción aprovechable comprenden manto, aletas y tentáculos. La precocción a 90 °C durante 35 minutos y el escurrido durante 10 minutos se registraron como una sola operación, dado que la masa se pesó al finalizar el escurrido. La masa de pota precocida fue de 17,4988 kg y se consigna redondeada a tres decimales.

La selección, el lavado y el troceado no produjeron variaciones de masa registrables. El eviscerado y el retiro de piel, pluma y demás partes no aprovechables eliminaron 3,950 kg, equivalentes al 12,40 % de la masa recibida. La precocción y el escurrido constituyeron la operación de mayor merma, con 10,401 kg y un rendimiento de 62,72 %. El rendimiento global fue de 54,94 % respecto de la pota entera recibida.

El rendimiento de la precocción se encuentra dentro del intervalo reportado por Rosas-Romero et al. (2010), quienes obtuvieron rendimientos de cocción de 58,6; 54,8 y 67,7 % en tres muestras de manto de pota cocido a 95 °C durante 25 minutos con una relación músculo:agua de 1,2:5, pese a que en el presente estudio la precocción se realizó a 90 °C durante 35 minutos e incluyó aletas y

tentáculos. La merma corresponde principalmente al agua expulsada por la contracción térmica del músculo. Los mismos autores encontraron que el agua de cocción contenía 1 % de sólidos totales, de los cuales el 75 % correspondía a proteína cruda, lo que indica que la precocción arrastra además una fracción de proteína soluble hacia el medio.

4.2.4. Características del producto obtenido

Se elaboraron nueve unidades experimentales correspondientes a las siete formulaciones del diseño símplex centroide, con el centroide por triplicado, a partir de las tres materias primas acondicionadas y de la fracción fija de 15 g por cada 100 g de mezcla. La masa de mezcla preparada y el número de hamburguesas obtenidas en cada unidad se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 30

Masa de mezcla y hamburguesas obtenidas por unidad experimental

Unidad experimental	Formulación	Masa de mezcla (g)	Hamburguesas obtenidas (n)
T1	T1	2287	22
T2	T2	2287	22
T3	T3	2430	24
T4	T4	2287	22
T5	T5	2357	23
T6	T6	2357	23
T7.1	T7	2333	23
T7.2	T7	2333	23
T7.3	T7	2333	23
Total		21 004	205

Nota. Cada hamburguesa se moldeó con 100 g de mezcla. Las unidades T7.1, T7.2 y T7.3 corresponden a lotes independientes de la formulación del centroide. La masa de mezcla difiere entre unidades porque la masa de carne de pota precocida se mantuvo constante, por lo que la mezcla total varía con la proporción de pota de cada formulación.

Las nueve unidades totalizaron 21 004 g de mezcla y 205 hamburguesas de 100 g. La diferencia, de 504 g, equivalente al 2,40 % de la mezcla, corresponde a los remanentes que no completaban

una unidad en cada lote. La masa de carne de pota precocida resultó prácticamente idéntica en todas las unidades, entre 1690,4 y 1691,0 g, de modo que las diferencias en la masa total de mezcla responden a la distinta proporción de pota de cada formulación: el tratamiento T3, con la menor proporción de pota, requirió la mayor masa de mezcla.

En conjunto, la elaboración consumió 15,215 kg de carne de pota precocida, 1,525 kg de harina de tarwi, 1,525 kg de harina de quinua y 2,740 kg de insumos de la fracción fija. Estas cantidades representan el 86,95 % de la pota precocida, el 49,39 % de la harina de tarwi y el 70,10 % de la harina de quinua obtenidas en el acondicionamiento, de modo que la materia prima alcanzó para completar el diseño experimental. Las dos harinas se consumieron en la misma cantidad, dado que el diseño es simétrico respecto de ambas.

Dado que cada hamburguesa se moldeó con 100 g de una mezcla formulada sobre 115 g, cada unidad contiene 100/115 de las cantidades de la formulación: entre 69,57 y 73,91 g de carne de pota precocida, entre 4,35 y 8,70 g de cada harina y 13,04 g de insumos de la fracción fija. La suma de ambas harinas varió entre 13,04 g por hamburguesa en T1, T2 y T4 y 17,39 g en T3.

Las hamburguesas moldeadas tuvieron 9,5 cm de diámetro y 1,39 cm de espesor, lo que corresponde a un volumen aproximado de 98,5 cm^3 y a una densidad aparente de 1,01 g/cm^3 para una masa de 100 g. Cada unidad se dividió en cuatro porciones de aproximadamente 25 g para la evaluación sensorial, de modo que las 205 hamburguesas rindieron 820 porciones, cantidad suficiente para las 738 que requerían los 82 panelistas en las nueve unidades experimentales. Se tuvo una cohesión baja, que permitió un moldeo ligeramente sencillo en todos los tratamientos, pero en especial en los que tenían más cantidad de harinas, respecto a los colores crudas tuvieron una apariencia crema con suaves matices marrones totalmente pálidas, post a la cocción tuvieron una tonalidad marrón y a la misma vez dorada en especial en los bordes.

4.2.5. Comparación de rendimientos

Los rendimientos globales de las tres líneas se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 31

Rendimiento global de las tres líneas de acondicionamiento de materia prima

Línea de proceso	Materia prima recibida (kg)	Producto obtenido (kg)	Rendimiento global (%)
Harina de tarwi desamargado	10,000	3,087	30,87
Harina de quinua	10,000	2,175	21,75
Carne de pota precocida	31,850	17,499	54,94

Nota. El rendimiento global expresa la masa de producto obtenido respecto de la masa de materia prima recibida en cada línea. Los valores corresponden a lotes únicos y no a promedios de repeticiones.

El acondicionamiento de la pota alcanzó el mayor rendimiento, seguido de la obtención de harina de tarwi y de harina de quinua. En las dos harinas, las mayores reducciones de masa correspondieron al secado, que retira agua, y al tamizado, que separa material recuperable. Expresados en materia seca, los rendimientos fueron de 33,74 % para el tarwi y de 23,09 % para la quinua, lo que confirma que la diferencia entre ambas líneas no se debe al agua.

Las causas de la pérdida de sólidos fueron distintas en cada harina. En el tarwi predominó la pérdida durante las operaciones húmedas, que retuvieron solo el 51,01 % de la materia seca, mientras que el tamizado recuperó como harina el 77,60 % del material molido. En la quinua ocurrió lo contrario: el lavado conservó el 80,14 % de la materia seca, pero el tamizado recuperó solo el 34,52 %. En consecuencia, el rendimiento del tarwi podría mejorarse reduciendo el arrastre de sólidos durante el desamargado, y el de la quinua mediante la remolienda del retenido, aunque esta última modificaría la composición de la harina, como se discutió en la caracterización proximal.

La evolución de la masa a lo largo de las etapas de las tres líneas se representa en la figura siguiente.

Figura 7

Masa en cada etapa de las tres líneas de acondicionamiento



Nota. Masa registrada al término de cada etapa, en kilogramos, sobre los lotes de 10,000 kg de grano de tarwi, 10,000 kg de grano de quinua y 31,850 kg de pota recibida como animal entero. Los aumentos de masa en la hidratación y la cocción del tarwi y en el lavado y desaponificado de la quinua corresponden a la absorción de agua y no a una ganancia de materia seca. El rendimiento

global de cada línea se indica en el extremo superior derecho del panel correspondiente. Las escalas verticales difieren entre paneles por la distinta magnitud de los lotes.

4.3. Contenido proteico de las formulaciones

4.3.1. Contenido proteico calculado

El contenido proteico de las formulaciones no se determinó de manera instrumental, dado que el analizador de nitrógeno por combustión no estuvo disponible durante el periodo de análisis. En su lugar se estimó a partir del contenido proteico determinado en las materias primas y de las cantidades establecidas en cada formulación, conforme al criterio de aditividad de los componentes de una mezcla, según la expresión siguiente:

$$P = (\sum m_i \, x P_i)/M$$

donde P es el contenido proteico de la formulación, m_i la masa de cada ingrediente, P_i su contenido proteico y M la masa total de la formulación, igual a 115 g.

Para el cálculo se emplearon los valores determinados en la caracterización proximal: 17,86 g/100 g en la carne de pota precocida, 51,75 en la harina de tarwi desamargado y 11,96 en la harina de quinua. La fracción fija aporta 3,234 g de proteína, correspondientes a la albúmina de huevo en polvo, con 81,10 g/100 g sobre 3,00 g, y al pan rallado, con 13,35 g/100 g sobre 6,00 g, ambos según la información nutricional declarada por el fabricante. El aporte proteico de la sal, el agua, los ácidos y las especias no se consideró, por no disponerse de su composición, por lo que la estimación es conservadora.

Tabla 32

Contenido proteico calculado de las formulaciones y aporte de cada componente

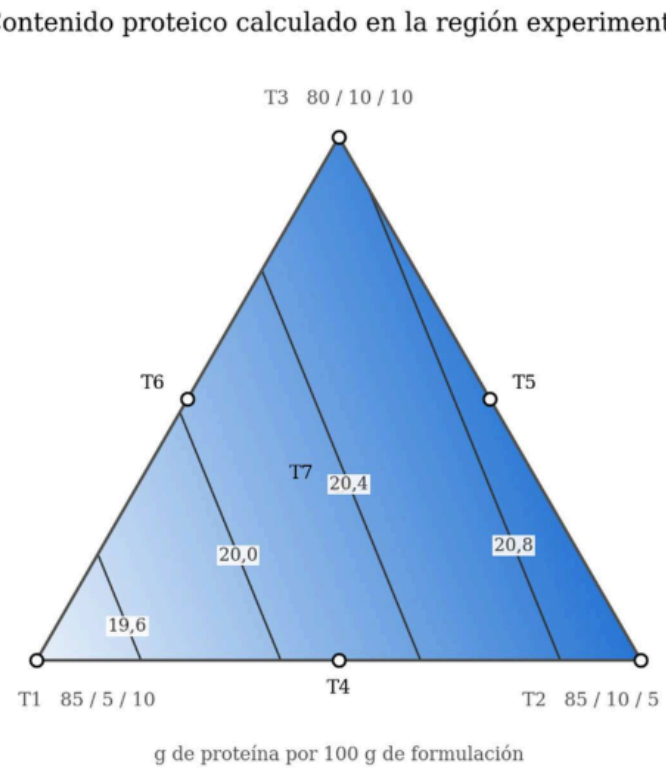
Tratamiento	Pota precocida	Harina de tarwi	Harina de quinua	Fracción fija	Total
T1	13,20	2,25	1,04	2,81	19,30
T2	13,20	4,50	0,52	2,81	21,03
T3	12,42	4,50	1,04	2,81	20,77
T4	13,20	3,38	0,78	2,81	20,17
T5	12,81	4,50	0,78	2,81	20,90
T6	12,81	3,38	1,04	2,81	20,04
T7	12,94	3,75	0,87	2,81	20,37

Nota. Valores en gramos de proteína por 100 g de mezcla, calculados sobre la masa total de formulación de 115 g. Dado que cada hamburguesa se moldeó con 100 g de mezcla, las cifras corresponden también al contenido proteico de una unidad. El tratamiento T7 se elaboró por triplicado, pero su composición es idéntica en las tres unidades, por lo que el cálculo arroja un único valor.

El contenido proteico calculado varió entre 19,30 g/100 g en T1 y 21,03 g/100 g en T2, con un recorrido de 1,73 puntos, equivalente al 8,96 % respecto del valor menor. El orden entre formulaciones fue T2, T5, T3, T7, T4, T6 y T1. El centroide alcanzó 20,37 g/100 g, valor que coincide con el promedio de los siete tratamientos, lo que es consecuencia de que el cálculo es lineal en las proporciones de la mezcla.

La carne de pota precocida aportó entre el 59,8 y el 68,4 % de la proteína de cada formulación, la harina de tarwi entre el 11,7 y el 21,7 %, la fracción fija entre el 13,4 y el 14,6 % y la harina de quinua entre el 2,5 y el 5,4 %. Las diferencias entre tratamientos se explican casi por completo por el intercambio entre las dos harinas, ya que sustituir un gramo de harina de quinua por uno de harina de tarwi incrementa el contenido proteico en 0,346 puntos. Los 5 g de diferencia entre T1 y T2 en esa sustitución generan 1,73 puntos, es decir, la totalidad del recorrido observado. El intercambio entre la carne de pota y la harina de tarwi tiene un efecto menor, de 0,295 puntos por gramo, y el de la carne de pota por harina de quinua es prácticamente nulo, de 0,051 puntos por gramo en sentido inverso.

Figura 8
Contenido proteico calculado



Nota. Curvas de nivel del contenido proteico calculado, expresado en gramos de proteína por 100 g de formulación. Los vértices se identifican con su composición real en gramos de carne de pota precocida, harina de tarwi y harina de quinua por cada 100 g de fracción variable, y los círculos señalan los siete puntos del diseño. El gradiente es estrictamente lineal, dado que el contenido proteico constituye una función lineal exacta de las proporciones de la mezcla, y crece hacia el vértice T2, que combina la proporción máxima de harina de tarwi con la mínima de harina de quinua.

4.3.2. Comparación de tratamientos

Los valores calculados no proceden de una determinación experimental, sino del contenido proteico de las materias primas y de la composición de cada formulación, por lo que carecen de error experimental asociado. En consecuencia, no corresponde aplicar un análisis de varianza ni pruebas de comparación múltiple, y las diferencias entre tratamientos se examinan en términos

absolutos. El ordenamiento de las formulaciones y su distancia respecto del tratamiento de menor contenido y del centroide se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 33

Ordenamiento de las formulaciones según su contenido proteico calculado

Tratamiento	Contenido proteico (g/100 g)	Diferencia respecto de T1	Diferencia respecto del centroide
T2	21,03	+1,73	+0,66
T5	20,90	+1,60	+0,53
T3	20,77	+1,47	+0,41
T7	20,37	+1,07	0,00
T4	20,17	+0,86	−0,20
T6	20,04	+0,74	−0,33
T1	19,30	0,00	−1,07

Nota. Diferencias expresadas en gramos de proteína por 100 g de mezcla. T1 es la formulación de menor contenido proteico y T7 el centroide del diseño.

La formulación T2, que combina la proporción máxima de harina de tarwi con la mínima de harina de quinua, presentó el mayor contenido proteico, mientras que T1, con la combinación inversa, presentó el menor. Las tres formulaciones con 10 g de harina de tarwi por cada 100 g de mezcla, es decir T2, T5 y T3, ocuparon las tres primeras posiciones, y las tres con 7,50 g o menos, es decir T4, T6 y T1, las tres últimas, con el centroide en una posición intermedia. El contenido de harina de tarwi ordena por sí solo a las formulaciones.

Al ajustar un polinomio canónico de Scheffé en pseudocomponentes superiores sobre los valores calculados, el modelo lineal los reproduce de manera exacta, con coeficientes de 20,775 para el vértice T3, 19,301 para el vértice T1 y 21,031 para el vértice T2, y con residuos nulos en los siete puntos del diseño. Los términos de interacción binaria y ternaria son iguales a cero por construcción, dado que el cálculo es una combinación lineal de las proporciones de la mezcla. Esto significa que el contenido proteico estimado no presenta efectos sinérgicos ni antagónicos entre componentes, a diferencia de lo que puede ocurrir con las variables determinadas experimentalmente.

En términos prácticos, la diferencia entre la formulación de mayor y la de menor contenido proteico, de 1,73 g por hamburguesa de 100 g, equivale al 3,46 % del valor de referencia de nutrientes para proteínas. Una diferencia de esa magnitud no modifica la condición nutricional del producto, que se mantiene en el mismo nivel de aporte en las siete formulaciones.

Todas las formulaciones superan ampliamente el umbral establecido para declarar un alimento de alto contenido proteico. No se identificó una norma nacional que fije las condiciones de esta declaración, por lo que se adoptó el criterio del Codex Alimentarius, de uso internacional. Dicho criterio establece que la declaración de contenido alto corresponde al doble de la exigida para el contenido básico, fijada en el 10 % del valor de referencia de nutrientes por 100 g en alimentos sólidos (CAC/GL 23-1997). Siendo el valor de referencia de las proteínas de 50 g (CAC/GL 2-1985), el umbral de contenido alto resulta de 10 g/100 g. Los valores calculados, comprendidos entre 19,30 y 21,03 g/100 g, duplican esa cifra. Cabe precisar que la estimación corresponde a la mezcla cruda y que el producto cocido presentaría un contenido mayor por 100 g como consecuencia de la pérdida de agua, de modo que la condición se cumple en ambos estados.

Las diferencias entre formulaciones, en cambio, son reducidas. Un recorrido de 1,73 puntos sobre valores próximos a 20 g/100 g indica que el contenido proteico no discrimina entre los tratamientos del diseño, de modo que la selección de la formulación óptima queda determinada por las variables sensoriales y tecnológicas y no por el aporte proteico.

Estos valores deben interpretarse con las limitaciones propias de una estimación. En primer lugar, corresponden a un cálculo y no a una determinación, por lo que no incorporan la incertidumbre analítica de cada formulación ni eventuales pérdidas durante el mezclado. En segundo lugar, se refieren a la mezcla cruda, según lo ya señalado. En tercer lugar, el contenido proteico de la carne de pota precocida podría estar subestimado, conforme a lo discutido en la caracterización proximal, y cada punto de error en ese valor se traslada a las formulaciones con un peso de 0,70 a 0,74 puntos.

No obstante, el orden entre tratamientos es robusto frente a esa incertidumbre. Al recalcular las siete formulaciones con contenidos proteicos crecientes para la carne de pota precocida, el orden se mantiene sin cambios mientras dicho valor se sitúe por debajo de 31,8 g/100 g, condición que se cumple con holgura en un músculo con 70,30 g/100 g de humedad. En consecuencia, aunque la

magnitud absoluta de los valores pueda revisarse si se repite la determinación, la comparación relativa entre formulaciones se mantiene válida.

4.4. Caracterización fisicoquímica de las hamburguesas

4.4.1. Humedad

La humedad se determinó por secado en estufa a 105 °C durante 4 horas, sobre porciones de aproximadamente 5 g pesadas en balanza con aproximación de 0,01 g. Se analizaron tres porciones por unidad experimental en las nueve unidades del diseño, tanto en la hamburguesa cruda como en la cocida, lo que totalizó 54 determinaciones. Con una masa de muestra de 5 g y una balanza de 0,01 g, la incertidumbre propagada de cada determinación asciende a 0,28 puntos porcentuales, magnitud que conviene tener presente al interpretar las desviaciones estándar. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 34

Humedad de la hamburguesa antes y después de la cocción

Tratamiento	Humedad cruda (%)	Humedad cocida (%)
T1	54,00 ± 0,71 a	44,27 ± 0,63 a
T2	53,49 ± 0,09 a	43,75 ± 0,16 ab
T3	50,88 ± 0,11 c	40,09 ± 0,22 f
T4	53,55 ± 0,11 a	43,27 ± 0,14 bc
T5	52,47 ± 0,29 b	42,51 ± 0,15 de
T6	52,22 ± 0,05 b	41,78 ± 0,12 e
T7	52,70 ± 0,27 b	42,78 ± 0,26 cd

Nota. Media ± desviación estándar de tres porciones por unidad experimental. En el tratamiento T7 los valores corresponden a las nueve porciones de sus tres lotes. Dentro de cada columna, medias que no comparten ninguna letra difieren según la prueba de Tukey al 5 %.

La humedad de la hamburguesa cruda promedió 52,75 %, con medias por tratamiento comprendidas entre 50,88 y 54,00 %. El análisis de varianza arrojó un valor de F de 36,59 con p menor que 0,001 y una desviación estándar residual de 0,301 puntos, y la prueba de Tukey, con diferencias mínimas significativas de 0,802 y 0,655 puntos, separó tres grupos: T1, T4 y T2 en el

nivel superior; T7, T5 y T6 en el intermedio; y T3 aislado en el inferior. En la hamburguesa cocida la humedad promedió 42,67 %, con medias entre 40,09 y 44,27 %, un valor de F de 73,39 con p menor que 0,001 y una desviación residual de 0,281 puntos; la prueba de Tukey resultó aquí más discriminante y ordenó las formulaciones en una gradación casi completa.

Los tres lotes del centroide rindieron 52,69; 52,76 y 52,65 % en crudo, y 42,82; 42,67 y 42,86 % en cocido. Las desviaciones estándar entre lotes fueron de 0,054 y 0,100 puntos, muy inferiores a la variación entre porciones de un mismo lote, con valores de p de 0,913 y 0,695. La elaboración de lotes independientes con idéntica formulación no introdujo variación detectable, lo que confirma la reproducibilidad ya observada en el rendimiento de cocción.

La humedad de la hamburguesa cruda admite un contraste independiente, dado que puede calcularse a partir de la composición de las materias primas y de la formulación. Tomando 70,30 g de agua por 100 g en la carne de pota precocida, 3,27 g en la harina de tarwi y 6,59 g en la harina de quinua, y las humedades declaradas por el fabricante para la albúmina, de 8 %, y para el pan rallado, de 11 %, se obtienen los valores que se comparan en la tabla siguiente.

Tabla 35

Humedad de la hamburguesa cruda medida y calculada a partir de la formulación

Tratamiento	Calculada (%)	Medida (%)	Diferencia
T1	53,46	54,00	+0,54
T2	53,31	53,49	+0,18
T3	50,54	50,88	+0,34
T4	53,39	53,55	+0,16
T5	51,93	52,47	+0,54
T6	52,00	52,22	+0,22
T7	52,44	52,70	+0,26

Nota. El cálculo asume que los 6,00 g de condimentos de la fracción fija no aportan agua. Las diferencias son en todos los casos positivas y su media asciende a 0,32 puntos porcentuales.

La correspondencia entre ambos conjuntos de valores resultó de 0,9884, con p menor que 0,001. El ajuste de la recta entre el valor medido y el calculado arrojó una pendiente de 0,977 con error

estándar de 0,067, estadísticamente indistinguible de la unidad, con p de 0,745. Es decir que la medición reproduce el valor teórico salvo por un desplazamiento constante de 0,32 puntos porcentuales, equivalente a 0,371 g de agua por unidad de 115 g. Esa cantidad, atribuida a los 6,00 g de condimentos que el cálculo trató como secos, corresponde a una humedad del 6,2 % en ellos, valor propio de una especia deshidratada. El balance de agua de la formulación queda por tanto cerrado.

La combinación de la humedad de ambos estados con el rendimiento de cocción permite establecer el destino del agua durante la cocción, que se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 36

Balance de agua durante la cocción, referido a una unidad de 115 g

Tratamiento	Agua inicial (g)	Agua final (g)	Fracción de la pérdida que fue agua (%)	Retención de agua (%)
T1	62,10	39,89	89,3	64,2
T2	61,52	39,78	90,3	64,7
T3	58,52	36,14	90,0	61,8
T4	61,59	38,75	89,7	62,9
T5	60,34	38,62	89,9	64,0
T6	60,06	37,62	89,9	62,6
T7	60,60	38,95	90,4	64,3

Nota. El agua inicial se obtuvo de la humedad de la hamburguesa cruda y el agua final del producto de la humedad de la cocida por la masa cocida. La retención de agua es el cociente entre ambas cantidades.

La fracción de la masa perdida durante la cocción atribuible a agua fue de 89,9 % en promedio, con una desviación estándar de apenas 0,4 puntos y un intervalo de 89,3 a 90,4 % entre las siete formulaciones. La retención de agua promedió 63,5 %, entre 61,8 y 64,7 %. La caída de humedad producida por la cocción fue de 10,13 puntos porcentuales en promedio, con un intervalo estrecho de 9,74 a 10,79 puntos.

El ajuste de los modelos canónicos de Scheffé, empleando como error puro la variación entre porciones de un mismo punto del diseño, se resume en la tabla siguiente.

Tabla 37

Ajuste de los modelos de mezcla para la humedad

Variable	Modelo	R^2	R^2 ajustado	Falta de ajuste (p)
Cruda	Lineal	0,897	0,888	0,350
Cruda	Cuadrático	0,916	0,896	0,830
Cocida	Lineal	0,885	0,876	< 0,001
Cocida	Cuadrático	0,948	0,935	0,057
Cocida	Reducido	0,945	0,934	0,087

Nota. El error puro comprende 20 grados de libertad en ambas variables. El modelo reducido de la humedad cocida conserva los tres términos lineales y las interacciones entre u_1 y u_3 y entre u_2 y u_3.

En la hamburguesa cruda el modelo lineal resultó suficiente, con una falta de ajuste no significativa, de modo que la incorporación de términos de interacción no se justifica. Su expresión es la siguiente.

$$H_{cruda} = 50{,}898\,u_1 + 44{,}151u_2 + 53{,}571u_3$$

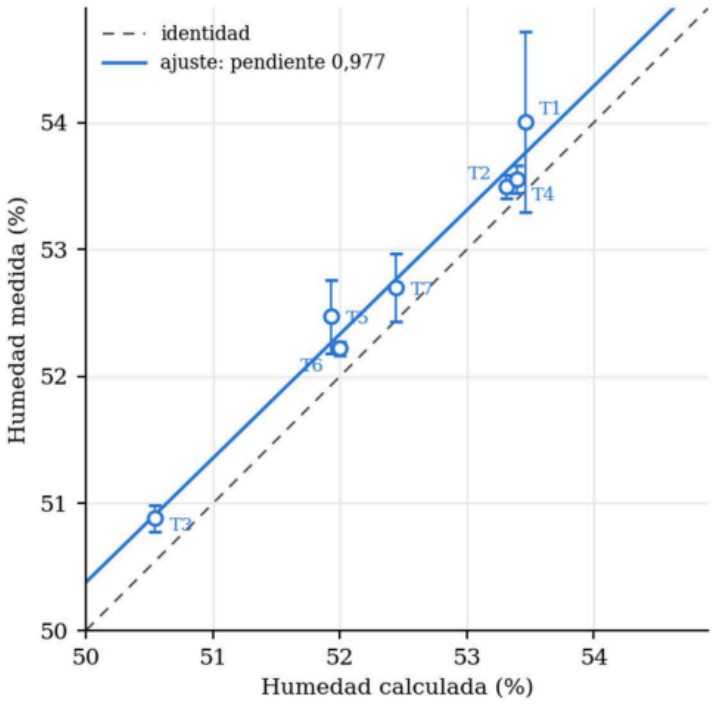
En la hamburguesa cocida, en cambio, el modelo lineal falló la prueba de falta de ajuste y fue necesario incorporar dos términos de interacción, ambos significativos, con p de 0,001 para el primero y 0,007 para el segundo. Su expresión es la siguiente.

$$H_{cocida} = 39{,}978\,u_1 + 44{,}151\,u_2 + 43{,}720\,u_3 + 3{,}044\,u_1u_3 - 2{,}249u_2u_3$$

El máximo de humedad en el producto cocido, 44,15 %, se sitúa en el vértice T1, correspondiente a 85 g de carne de pota precocida, 5 g de harina de tarwi y 10 g de harina de quinua, y el mínimo, 39,98 %, en el vértice T3, con 80 g de pota y 10 g de cada harina. La coincidencia de ambos extremos con vértices del diseño indica que el modelo no presenta puntos estacionarios en el interior de la región.

Figura 9

Humedad de la hamburguesa cruda medida frente a la calculada

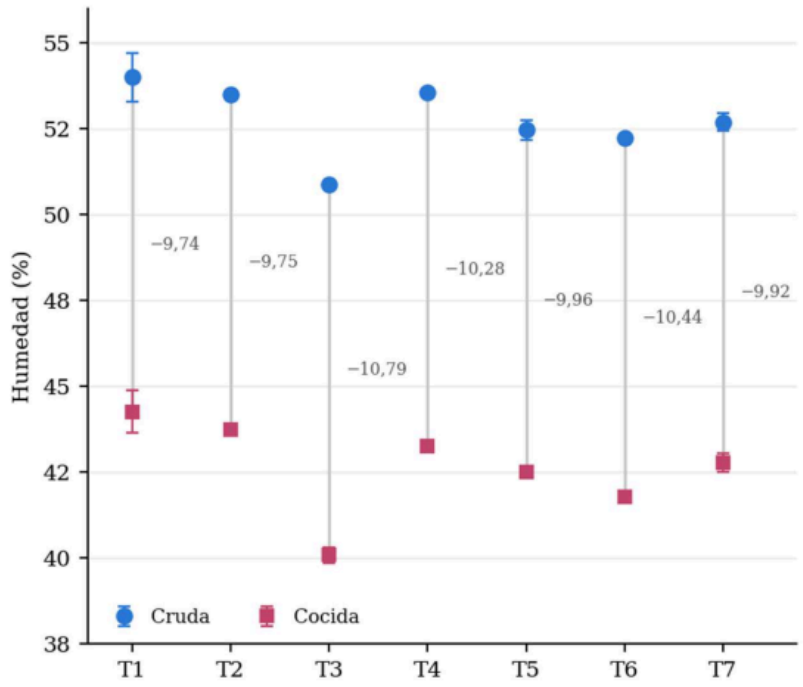


Nota. La línea discontinua representa la identidad entre el valor medido y el calculado, y la línea continua el ajuste obtenido, cuya pendiente resultó indistinguible de la unidad. Las barras corresponden a la desviación estándar de tres porciones por unidad experimental, y de nueve en el caso del centroide.

El efecto de la cocción sobre la humedad se representa en la figura siguiente.

Figura 10

Humedad de la hamburguesa antes y después de la cocción



Nota. Los círculos corresponden a la hamburguesa cruda y los cuadrados a la cocida. La cifra junto a cada segmento indica la caída de humedad producida por la cocción, expresada en puntos porcentuales. Las barras corresponden a la desviación estándar de tres porciones por unidad experimental, y de nueve en el caso del centroide.

El resultado de mayor valor de este apartado es la validación cruzada de la humedad cruda. La coincidencia entre lo medido y lo calculado a partir de la composición de las materias primas, con una pendiente indistinguible de la unidad y un desplazamiento de solo 0,32 puntos porcentuales, confirma simultáneamente tres cosas: que la formulación se ejecutó con las proporciones previstas, que el pesado de los componentes fue correcto, y que la caracterización proximal de la carne de pota, la harina de tarwi y la harina de quinua es consistente. Ninguna de las tres podría verificarse de forma independiente sin esta comparación. Además, el propio desplazamiento tiene una

explicación cuantitativa, ya que corresponde a una humedad del 6,2 % en los condimentos, que el cálculo había supuesto secos.

Que el modelo lineal describa adecuadamente la humedad de la hamburguesa cruda no es un hallazgo casual sino la confirmación de un comportamiento esperado. La humedad de una mezcla sin transformación es una propiedad aditiva, de modo que su valor debe resultar de la suma ponderada de los aportes de cada componente y no deben existir términos de interacción. La correlación entre la humedad cruda y la proporción de carne de pota alcanzó 0,9851, con p menor que 0,001, lo que es coherente con el hecho de que la pota es la única materia prima húmeda de la formulación, con 70,30 g de agua por 100 g frente a 3,27 y 6,59 g de las dos harinas.

La cocción rompe esa aditividad. En el producto cocido el modelo lineal falla y son necesarios dos términos de interacción, lo que indica que la cantidad de agua que la pieza conserva no depende únicamente de la que contenía al inicio sino también de cómo las tres materias primas interactúan al estructurar la matriz durante el calentamiento. Este comportamiento es congruente con lo observado en el rendimiento de cocción, que tampoco admitió un modelo aditivo.

El balance de agua aporta el resultado más informativo del conjunto. La fracción de la masa perdida durante la cocción atribuible a agua fue de 89,9 % con una desviación estándar de 0,4 puntos entre las siete formulaciones, es decir prácticamente constante. Esto significa que el mecanismo de pérdida es el mismo en todas ellas y que lo que distingue a una formulación de otra no es cómo pierde el agua sino cuánta tenía al comenzar. El 10,1 % restante de la pérdida, equivalente a unos 2,5 g por unidad, corresponde a la grasa fundida, al exudado retenido por el papel absorbente y a las partículas adheridas a la plancha, y se ve parcialmente compensado por el aceite incorporado durante la cocción. Estas contribuciones no se cuantificaron por separado en el presente trabajo.

La retención de agua, de 63,5 % en promedio, indica que la pieza conserva algo menos de dos tercios del agua con la que fue formulada. La retención de agua y el rendimiento de cocción son índices habituales en la caracterización de hamburguesas de pescado sometidas a cocción en plancha (Bainy et al., 2015).

Resulta pertinente señalar que la humedad y el rendimiento de cocción son variables complementarias y no redundantes. La humedad, tanto cruda como cocida, se explica casi por completo por la proporción de carne de pota, con correlaciones de 0,9851 y 0,9628, y responde a un modelo esencialmente aditivo. El rendimiento, en cambio, no muestra relación alguna con la proporción de ninguna materia prima y está gobernado por las interacciones. En consecuencia, la correlación entre la humedad y el rendimiento resultó nula, de −0,035 en el estado crudo y de 0,128 en el cocido, ambas sin significancia. Cada variable aporta información distinta y su inclusión conjunta en la optimización está justificada.

Deben declararse tres limitaciones. La primera es que el secado se realizó a tiempo fijo, cuatro horas a 105 °C, y no hasta peso constante como establece el criterio de referencia. Dos elementos respaldan que el secado fue completo: la reproducibilidad entre porciones de una misma unidad, cuya desviación estándar se sitúa en el orden de la resolución del método, y sobre todo la coincidencia de la humedad cruda con el valor calculado, que no se habría producido si hubiera quedado agua residual en las muestras. La segunda es la mayor dispersión del tratamiento T1, con desviaciones de 0,71 y 0,63 puntos frente a valores del orden de 0,10 en los demás tratamientos; la prueba de Grubbs descartó que se trate de un dato atípico, con un estadístico de 2,180 frente a un valor crítico de 2,859, por lo que se interpreta como heterogeneidad real de la masa a la escala de la porción de 5 g. La tercera es que la prueba de Shapiro-Wilk sobre los residuos resultó marginalmente significativa en ambas variables, con valores de p de 0,015 y 0,024; el diseño es balanceado y las conclusiones se confirmaron mediante la prueba de Levene, con p de 0,571 y 0,842, y mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con p de 0,001 en ambos casos.

4.4.2. pH

El pH se determinó sobre la hamburguesa cruda, triturada y homogeneizada, en una suspensión preparada con 10 g de muestra en 90 mL de agua destilada, correspondiente a una relación de 1:10 en masa por volumen. La lectura se realizó en un potenciómetro Thermo Scientific Orion Versa Star, calibrado con soluciones tampón de pH 4,01 y 7,00, a una temperatura de muestra de 23 ± 2 °C. Se efectuaron tres lecturas por unidad experimental en las nueve unidades del diseño, lo que totalizó 27 determinaciones. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 38

pH de la hamburguesa cruda

Tratamiento	pH
T1	6,27 ± 0,05
T2	6,18 ± 0,10
T3	6,20 ± 0,06
T4	6,21 ± 0,10
T5	6,18 ± 0,08
T6	6,25 ± 0,09
T7	6,19 ± 0,05

Nota. Media ± desviación estándar de tres lecturas por unidad experimental. En el tratamiento T7 el valor corresponde a las nueve lecturas de sus tres lotes. No se consignan letras de comparación múltiple porque el análisis de varianza no detectó diferencias entre formulaciones.

Las 27 lecturas se situaron entre 6,08 y 6,33, con una media general de 6,21 y una desviación estándar residual de 0,070 unidades. El análisis de varianza no detectó diferencias entre formulaciones, con un valor de F de 0,911 y p de 0,507. La amplitud entre las medias de los tratamientos fue de 0,09 unidades, inferior a la diferencia mínima significativa de la prueba de Tukey, que asciende a 0,187 unidades entre tratamientos de tres lecturas, razón por la cual no se aplicó la comparación múltiple. Los supuestos del análisis se cumplieron holgadamente, con valores de p de 0,470 en la prueba de Shapiro-Wilk sobre los residuos, 0,908 en la prueba de Levene y 0,729 en la de Bartlett; la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis confirmó la ausencia de diferencias, con p de 0,462.

Los tres lotes del centroide arrojaron valores de 6,21; 6,15 y 6,20. La desviación estándar entre lotes fue de 0,030 unidades frente a 0,044 entre lecturas de un mismo lote, con F de 1,394 y p de 0,318, de modo que la elaboración de lotes independientes tampoco introdujo variación detectable en esta variable.

El ajuste de los modelos de mezcla confirma la ausencia de un efecto de la formulación. El modelo lineal superó la prueba de falta de ajuste con p de 0,850, pero su coeficiente de determinación ajustado alcanzó apenas 0,092, y el error puro limita el coeficiente máximo alcanzable a 0,215. Es

decir que el modelo es adecuado en el sentido de que no deja estructura sin explicar, pero no explica nada porque no hay nada que explicar: la variación observada es esencialmente error de medición.

Se examinó de forma específica la posible relación entre el pH y la proporción de harina de tarwi. La correlación entre las medias de los siete tratamientos y dicha proporción alcanzó −0,876. Sin embargo, ese coeficiente trata las medias como valores exentos de error y por tanto sobreestima la evidencia disponible. La prueba pertinente consiste en contrastar el componente lineal atribuible al tarwi frente al error puro de las 27 lecturas: ese contraste recoge el 68,1 % de la suma de cuadrados entre tratamientos, con una pendiente de −0,017 unidades de pH por gramo de harina de tarwi, pero no alcanza significancia estadística, con F de 3,721 y p de 0,068. La tendencia queda por tanto señalada como hipótesis y no como resultado establecido.

El pH de la hamburguesa cruda, de 6,21 en promedio, coincide con el de su materia prima mayoritaria. En músculo de pota se han reportado valores comprendidos entre 6,05 y 6,45 en trece ejemplares de distinto tamaño, con la mayoría agrupada entre 6,2 y 6,3, y un valor inicial de alrededor de 6,2 en anillos sin tratar (Maza et al., 2008). Esta coincidencia es coherente con la composición de las formulaciones, en las que la carne de pota representa entre 80 y 85 g por cada 100 g de fracción variable y aporta prácticamente la totalidad de la proteína soluble y de los fosfatos, es decir la capacidad tamponante del sistema. Conviene precisar que la referencia citada midió el pH directamente sobre la muestra semisólida, mientras que en el presente trabajo se empleó una suspensión 1:10, de modo que la comparación es de orden de magnitud y no de valores estrictamente equivalentes.

La ausencia de diferencias entre formulaciones constituye en sí misma un resultado útil. Significa que la sustitución de carne de pota por harina de tarwi o de quinua, dentro del rango estudiado, no modifica la acidez del producto, y que por tanto el pH no compite con las demás variables al momento de seleccionar una formulación. Desde el punto de vista tecnológico esto es deseable, porque implica que cualquier ajuste de la formulación dentro de la región experimental no obliga a revisar las condiciones de conservación ni el comportamiento de los aditivos que dependen del pH.

La tendencia decreciente asociada a la harina de tarwi merece una mención por su plausibilidad, aunque no haya alcanzado significancia. El tarwi se somete a desamargado por lavados sucesivos y su harina conserva una fracción de compuestos solubles de carácter ácido, de modo que un ligero descenso del pH al aumentar su proporción resulta esperable. La magnitud estimada, de 0,017 unidades por gramo de harina, implica que entre los extremos del diseño, con 5 y 10 g de tarwi, la diferencia sería de apenas 0,09 unidades, valor comparable a la desviación estándar de la propia medición. Detectar un efecto de ese tamaño habría requerido un número de lecturas considerablemente mayor.

El valor de pH obtenido clasifica al producto como alimento de baja acidez, al situarse muy por encima del umbral de 4,6. En consecuencia, la conservación no puede sustentarse en la acidez del medio y depende necesariamente del tratamiento térmico y del mantenimiento de la cadena de frío. Esta condición debe considerarse al definir la vida útil y las condiciones de almacenamiento del producto, aspectos que exceden el alcance del presente trabajo.

Cabe una precisión metodológica sobre el tratamiento de los datos. El pH es una magnitud logarítmica, por lo que promediar lecturas de pH no equivale a promediar concentraciones de ion hidrógeno. Se verificó la magnitud de esa diferencia en cada tratamiento y en ningún caso superó 0,008 unidades, cifra muy inferior a la resolución práctica de la medición, de modo que el empleo de la media aritmética, habitual en la literatura del área, no introduce error apreciable en este caso.

Deben declararse dos limitaciones. La primera es que la calibración se efectuó con dos soluciones tampón, de 4,01 y 7,00; esta elección resultó adecuada porque la totalidad de las lecturas se situó por debajo de 7, dentro del intervalo calibrado, pero habría sido insuficiente si alguna muestra hubiera superado ese valor. La segunda es que la medición se realizó sobre suspensión diluida y no directamente sobre la muestra, procedimiento válido y ampliamente empleado pero que debe declararse, puesto que el valor obtenido no es estrictamente intercambiable con el de una medición directa.

4.4.3. Color (L*, a*, b*)

El color superficial se determinó sobre dos hamburguesas por unidad experimental, midiendo tres puntos en cada una de las dos caras, lo que generó 108 lecturas. Las dos caras no difirieron entre sí en ninguna de las tres coordenadas: la cara superior promedió 30,53 en L*, 10,85 en a* y 18,97 en b*, frente a 30,09; 10,37 y 19,02 de la cara inferior, con valores de p de 0,531; 0,429 y 0,951. Por esta razón, los valores de ambas caras se promediaron en cada unidad. Los resultados por tratamiento se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 39

Coordenadas de color de las hamburguesas cocidas

Tratamiento	L*	a*	b*
T1	28,09 ± 3,09	9,55 ± 3,04	16,40 ± 2,74
T2	30,10 ± 3,60	13,27 ± 1,37	18,79 ± 2,42
T3	28,28 ± 2,82	11,60 ± 1,82	19,11 ± 3,14
T4	30,29 ± 4,85	9,37 ± 1,22	23,27 ± 6,93
T5	34,21 ± 2,11	11,77 ± 3,08	22,72 ± 2,09
T6	30,01 ± 2,85	12,52 ± 2,10	21,16 ± 2,07
T7	30,61 ± 3,35	9,15 ± 3,68	16,49 ± 3,00

Nota. Media ± desviación estándar de 12 lecturas por tratamiento, correspondientes a dos hamburguesas, dos caras y tres puntos por cara. En el tratamiento T7 los valores corresponden a las 36 lecturas de sus tres lotes. Iluminante D65 y observador de 2 grados.

La luminosidad se situó entre 28,09 y 34,21, la coordenada a* entre 9,15 y 13,27 y la coordenada b* entre 16,40 y 23,27, valores que corresponden a una superficie oscura de tonalidad pardo rojiza, propia de un producto dorado en plancha. El tratamiento T5 presentó la mayor luminosidad y el T1 la menor, mientras que la coordenada a* alcanzó su valor máximo en T2 y el mínimo en el centroide.

La dispersión de las lecturas resultó elevada. La desviación estándar promedio dentro de una misma unidad experimental fue de 3,22 en L*, 2,46 en a* y 3,13 en b*, superior a la desviación

entre las medias de los siete tratamientos, que fue de 2,02; 1,66 y 2,78, respectivamente. Es decir, la variación del color dentro de una misma hamburguesa superó a la variación entre formulaciones.

Las diferencias de color respecto del centroide se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 40

Diferencia de color de cada tratamiento respecto del centroide

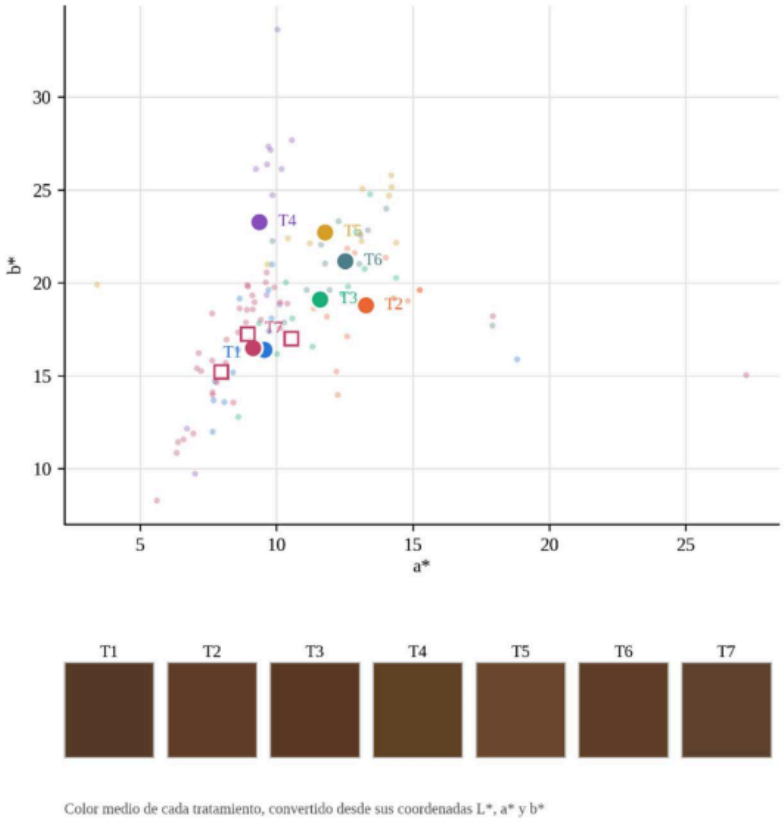
Tratamiento	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE
T1	−2,52	+0,41	−0,10	2,55
T2	−0,50	+4,12	+2,29	4,74
T3	−2,33	+2,45	+2,61	4,27
T4	−0,31	+0,22	+6,78	6,79
T5	+3,60	+2,63	+6,23	7,66
T6	−0,59	+3,37	+4,67	5,79

Nota. La diferencia total de color se calculó como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias en las tres coordenadas, tomando como referencia el promedio de los tres lotes del centroide. Entre esos mismos tres lotes, que corresponden a una única formulación, las diferencias de color alcanzaron valores de 1,77; 3,49 y 3,71.

La distribución de las lecturas en el plano cromático y el color medio de cada formulación se muestran en la figura siguiente.

Figura 11

Plano cromático a frente a b* y color medio de las formulaciones*



Nota. Los puntos pequeños corresponden a las lecturas individuales y los puntos grandes a la media de cada tratamiento. Los cuadrados sin relleno señalan las medias de los tres lotes del centroide. La banda inferior reproduce el color medio de cada formulación obtenido por conversión de las coordenadas L*a*b* al espacio sRGB con el iluminante D65; esta representación es orientativa, dado que el color reproducido depende del perfil del monitor o de la impresora.

Los valores de diferencia de color entre formulaciones y entre lotes de una misma formulación resultan del mismo orden de magnitud. Mientras que los tratamientos se apartan del centroide entre 2,55 y 7,66 unidades, los tres lotes del centroide, elaborados con idéntica composición, difieren entre sí hasta en 3,71 unidades. En consecuencia, buena parte de la diferencia observada entre tratamientos no puede atribuirse a la formulación, sino a la variabilidad propia del proceso de elaboración y de la cocción en plancha.

El ajuste de los modelos de mezcla confirma esa interpretación. En las tres coordenadas el modelo lineal explicó una fracción reducida de la variación, con coeficientes de determinación de 0,238 en L*, 0,227 en a* y 0,068 en b*, y con coeficientes ajustados negativos, lo que indica que el modelo no aporta frente a la simple media. En b* la falta de ajuste del modelo cuadrático resultó significativa, con $p = 0,022$, y solo el modelo cúbico especial reprodujo los valores observados, condición que carece de valor porque ese modelo contiene tantos parámetros como puntos distintos del diseño.

Tampoco se encontró correspondencia entre el color instrumental y la percepción del panel. La correlación entre la calificación sensorial de color y la luminosidad fue de −0,454, con $p = 0,306$, y las correspondientes a a* y b* resultaron de 0,009 y −0,198, sin significancia. Esta discordancia es atribuible a la naturaleza de ambas mediciones: el colorímetro registra el color en un área de 8 mm de diámetro en puntos concretos, mientras que el panelista evalúa visualmente la pieza completa, integrando el dorado, su uniformidad y la presencia de zonas más tostadas.

La magnitud de esa heterogeneidad permite precisar el alcance de la medición realizada. Con una desviación estándar de 3,22 unidades dentro de una misma unidad experimental y doce lecturas por unidad, el error estándar de cada media es de 0,93 unidades de L*, de modo que la menor diferencia detectable entre dos formulaciones, con una potencia del 80 % y un nivel de significancia de 0,05, asciende a 3,68 unidades. Las diferencias observadas entre los tratamientos son inferiores a ese umbral, lo que explica que el color no discrimine entre formulaciones. Alcanzar una diferencia detectable de 2 unidades habría requerido alrededor de cuarenta lecturas por unidad experimental, equivalentes a tres piezas con siete puntos por cara. Este resultado constituye en sí mismo un aporte metodológico, dado que cuantifica el esfuerzo de muestreo necesario para estudiar el color superficial de un producto dorado en plancha.

Por las razones anteriores, las coordenadas de color se presentan con carácter descriptivo, como caracterización del producto terminado, y no se emplearon para el ajuste de modelos de mezcla ni para la optimización de la formulación.

4.4.4. Textura instrumental

La determinación definitiva se realizó sobre 42 piezas, tres por tratamiento en cada una de dos sesiones, con una profundidad de penetración fija de 2,0 mm en todos los casos. La fuerza máxima registrada en el conjunto ascendió a 26,75 N, equivalente al 60,6 % de la capacidad de la celda de carga, de modo que ninguna determinación alcanzó el límite del instrumento. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 41

Firmeza de las hamburguesas cocidas y posición en la secuencia de cocción

Tratamiento	Posición en la cocción	Firmeza (N)	Coeficiente de variación (%)
T1	1	1,48 ± 0,03	2,26
T2	2	6,94 ± 0,32	4,68
T3	3	12,60 ± 0,48	3,83
T4	4	17,50 ± 0,46	2,62
T5	5	17,42 ± 0,44	2,50
T6	6	25,34 ± 1,03	4,08
T7	7	5,93 ± 0,10	1,68

Nota. Media ± desviación estándar de seis piezas por tratamiento, tres en cada sesión. La penetración se fijó en 2,0 mm en todas las determinaciones. La posición indica el lugar que ocupó cada tratamiento en la secuencia de cocción, que no fue aleatorizada.

La precisión de la determinación resultó elevada, con coeficientes de variación comprendidos entre 1,68 y 4,68 %. El efecto de sesión, incorporado como bloque, alcanzó significancia estadística con un valor de p de 0,0012, pero su magnitud es reducida: su suma de cuadrados asciende a 2,43 frente a 2458,26 de los tratamientos. La temperatura de la muestra en el momento del ensayo, registrada en cada pieza y comprendida entre 19,2 y 21,5 °C, no mostró relación con la firmeza, con una pendiente de −0,026 N por grado y un valor de p de 0,891.

Las determinaciones concuerdan además con las del ensayo preliminar. Extrayendo de las curvas de aquel ensayo la fuerza registrada a 2,0 mm, que es la única profundidad en la que resulta

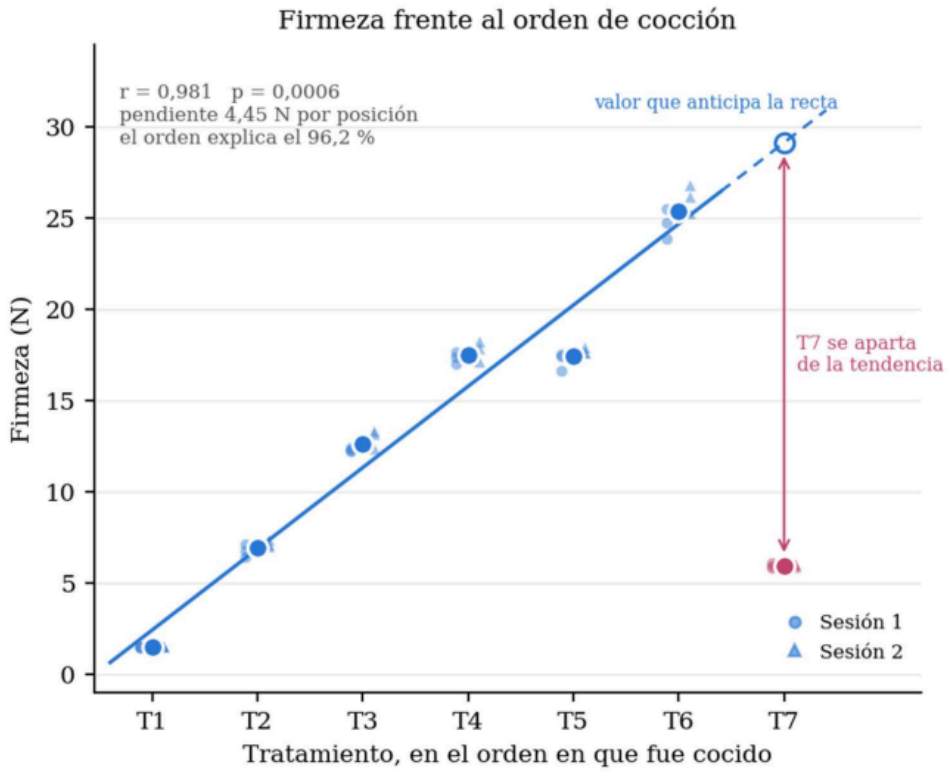
comparable con el procedimiento corregido, la correlación entre ambos conjuntos alcanza 0,998, con una pendiente de regresión de 0,977 indistinguible de la unidad. Tres sesiones independientes arrojan por tanto los mismos valores.

Sin embargo, el examen de la relación entre la firmeza y la secuencia de cocción revela que las diferencias observadas no son atribuibles a la formulación. En los tratamientos T1 a T6, cocidos de forma correlativa, la firmeza aumenta de manera prácticamente lineal con la posición ocupada en la secuencia, con una correlación de 0,981 y un valor de p de 0,00056, una pendiente de 4,45 N por posición y una fracción explicada del 96,2 % de la variación existente entre esos seis tratamientos. El tratamiento T7 se apartó de esa tendencia, con 5,93 N frente a los 29,1 N que la secuencia anticiparía, sin que se disponga de un registro que permita explicar esa discrepancia.

La relación entre la firmeza y la secuencia de cocción se representa en la figura siguiente.

Figura 12

Firmeza de las hamburguesas cocidas frente al orden de cocción



Nota. Los símbolos pequeños corresponden a las piezas individuales, distinguidas por sesión, y los círculos grandes a la media de cada tratamiento. La recta se ajustó con los tratamientos T1 a T6 y se prolonga en trazo discontinuo hasta la posición del centroide. El círculo sin relleno señala el valor que esa prolongación anticipa para T7 y la flecha, su diferencia con el valor medido.

El resultado central de este apartado es de naturaleza metodológica. La firmeza instrumental de una hamburguesa cocida en plancha, medida como resistencia a la penetración superficial, resultó gobernada por el estado térmico de la plancha en el momento de la cocción y no por la composición de la formulación. La secuencia de cocción, que avanzó de forma correlativa del tratamiento T1 al T7, explica el 96,2 % de la variación observada entre los seis primeros tratamientos, cifra que no deja margen para un efecto de la formulación.

Varios elementos concurren a esa conclusión. Las formulaciones T4 y T7 difieren en 1,67 g de carne de pota precocida y en menos de un gramo en cada harina por cada 100 g de fracción variable, y sin embargo sus firmezas difieren en un factor de tres, magnitud que ninguna diferencia de composición de esa escala puede producir. Los tres puntos medios de arista superan a los tres vértices del diseño por factores comprendidos entre 1,8 y 4,2, configurando una superficie que ningún modelo de mezcla de orden bajo describe: tanto el modelo lineal como el cuadrático fallaron la prueba de falta de ajuste de forma masiva, y la transformación logarítmica, que corrigió la falta de normalidad y de homogeneidad de varianzas, no modificó ese resultado. Y la firmeza no mostró relación con ninguna de las restantes variables determinadas, ni con la textura percibida por el panel, ni con la aceptación general, ni con la humedad en ninguno de los dos estados, ni con el rendimiento de cocción, ni con la proporción de ninguna de las tres materias primas, con valores de p en todos los casos superiores a 0,26.

Resulta pertinente señalar que la elevada precisión de la determinación, lejos de contradecir esta interpretación, la confirma. Las tres piezas de cada tratamiento se cocieron conjuntamente, con la plancha en un mismo estado térmico, de modo que su parecido entre sí refleja la homogeneidad de esa condición y no la de la formulación. La precisión obtenida mide la reproducibilidad del instrumento y del procedimiento de medición, que quedó acreditada, pero no la del efecto que se pretendía estudiar.

Por la misma razón tampoco se reporta un análisis de varianza entre tratamientos. Dado que cada formulación se coció en un momento distinto de una secuencia correlativa, el factor tratamiento queda confundido con el orden de cocción, de modo que un contraste entre tratamientos no permitiría discernir cuál de los dos efectos produce las diferencias observadas. El análisis pertinente es el de la relación entre la firmeza y la posición en la secuencia, que se expuso anteriormente. Sí se reportan, en cambio, las pruebas que no se encuentran afectadas por esa confusión: el efecto de sesión, incorporado como bloque, y el de la temperatura de la muestra, incorporada como covariable.

En consecuencia, no se ajustó ningún modelo de mezcla a esta variable y la firmeza instrumental quedó excluida de la optimización de la formulación. Los valores obtenidos se presentan con carácter descriptivo, como caracterización de las piezas efectivamente ensayadas, y no admiten extrapolación a la formulación de la que proceden.

Este hallazgo constituye, no obstante, un aporte metodológico de interés para trabajos posteriores sobre productos cocidos en plancha. La magnitud del efecto encontrado, de 4,45 N por cada posición en la secuencia sobre un intervalo total de 1,48 a 25,34 N, indica que en este tipo de determinación la aleatorización del orden de cocción no constituye una precaución formal sino una condición sin la cual la variable resulta ininterpretable. La medición instrumental posterior, por precisa que sea, no puede corregir un sesgo introducido durante la elaboración de las muestras.

Para una determinación válida de esta variable se recomienda, en consecuencia, cocer las piezas en orden aleatorizado, intercalando los tratamientos en lugar de procesarlos de forma correlativa, y verificar la temperatura de la plancha con termómetro antes de cada pieza. La profundidad de penetración de 2,0 mm empleada en el presente trabajo resultó adecuada, al mantener la fuerza máxima en el 60,6 % de la capacidad de la celda, y la medición de la temperatura de la muestra demostró que esta variable no interviene en el rango ensayado.

4.4.5. Rendimiento de cocción

Para esta determinación se elaboraron piezas independientes de las destinadas al panel, estandarizadas en 115 g, a razón de tres piezas por unidad experimental en las nueve unidades del diseño, lo que totalizó 27 determinaciones. La masa efectivamente formada promedió 115,05 g con una desviación estándar de 0,03 g y una desviación máxima de 0,11 g respecto del valor nominal, equivalente al 0,096 %. El rendimiento se calculó sobre la masa realmente pesada en cada pieza y no sobre el valor nominal de 115 g; el empleo del valor nominal habría introducido un sesgo medio de 0,032 puntos porcentuales, magnitud despreciable frente a la variación experimental pero que no existe razón para incorporar. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 42

Rendimiento y pérdida por cocción de las formulaciones

Tratamiento	Rendimiento (%)	Pérdida por cocción (%)
T1	78,37 ± 0,55 abc	21,63
T2	79,07 ± 0,19 ab	20,93
T3	78,38 ± 0,37 abc	21,62
T4	77,86 ± 0,08 c	22,14
T5	79,00 ± 0,69 ab	21,00
T6	78,29 ± 0,40 bc	21,71
T7	79,16 ± 0,28 a	20,84

Nota. Media ± desviación estándar de tres piezas por unidad experimental. En el tratamiento T7 los valores corresponden a las nueve piezas de sus tres lotes. Medias que no comparten ninguna letra difieren según la prueba de Tukey al 5 %. La pérdida por cocción es el complemento del rendimiento.

Las piezas se cocieron sobre plancha ligeramente engrasada con aceite de soya, a fuego medio alto fijado de forma nominal y sin control instrumental de la temperatura, durante 5 minutos por cara con un único volteo. Una vez retiradas, reposaron 2,5 minutos sobre papel absorbente antes de ser pesadas, de modo que el intervalo entre el retiro de la plancha y la determinación de la masa fue

idéntico en todas las unidades. El pesado se realizó sobre balanza analítica con aproximación de 0,01 g.

El rendimiento medio del conjunto fue de 78,72 %, con medias por tratamiento comprendidas entre 77,86 y 79,16 % y una pérdida de masa entre 20,84 y 22,14 %. El análisis de varianza detectó diferencias entre formulaciones, con un valor de F de 6,785 y p menor que 0,001, y una desviación estándar residual de 0,379 puntos porcentuales. La prueba de Tukey, con diferencias mínimas significativas de 1,011 puntos entre tratamientos de tres piezas y de 0,825 puntos frente al centroide, situó el rendimiento más alto en el centroide y el más bajo en T4, con diferencias significativas de T7 frente a T6 y T4, y de T2 y T5 frente a T4. El resto de las comparaciones no alcanzó significancia, de modo que el ordenamiento es gradual y no se resuelve en grupos separados. Los supuestos se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk sobre los residuos, con p de 0,959, y la prueba de Levene sobre la homogeneidad de varianzas, con p de 0,505, ambos ampliamente satisfechos.

Los tres lotes del centroide rindieron 79,20; 79,12 y 79,17 %. La desviación estándar entre lotes fue de 0,038 puntos, frente a 0,323 puntos entre piezas de un mismo lote, con F de 0,041 y p de 0,960. La elaboración de un lote nuevo con idéntica formulación no introdujo variación alguna por encima de la que aporta el muestreo de piezas dentro de un mismo lote, lo que acredita la reproducibilidad del proceso de elaboración y justifica tratar las tres piezas de cada unidad como repeticiones para el ajuste de los modelos.

El ajuste de los modelos canónicos de Scheffé sobre las 27 determinaciones, empleando como error puro la variación entre piezas de un mismo punto del diseño, se resume en la tabla siguiente.

Tabla 43

Ajuste de los modelos de mezcla para el rendimiento de cocción

Modelo	Parámetros	R^2	R^2 ajustado	Falta de ajuste (p)
Lineal	3	0,153	0,083	< 0,001
Cuadrático	6	0,410	0,269	< 0,001
Cúbico especial	7	0,671	0,572	Sin grados de libertad
Reducido	5	0,650	0,586	0,544

Nota. El error puro comprende 20 grados de libertad. El modelo reducido conserva los tres términos lineales, la interacción entre los pseudocomponentes u_2 y u_3 y el término ternario; los dos términos de interacción omitidos no resultaron significativos y su eliminación no deterioró el ajuste, con F de 0,628 y p de 0,544.

El modelo lineal y el cuadrático fallaron la prueba de falta de ajuste y ninguno describe adecuadamente la superficie. El cúbico especial la superó, pero al contar con tantos parámetros como puntos distintos del diseño reproduce por construcción las siete medias y carece de grados de libertad para someterse a la prueba. El modelo reducido resuelve esa objeción: con cinco parámetros conserva dos grados de libertad para la prueba, que supera con holgura, alcanza el mayor coeficiente de determinación ajustado del conjunto y el mayor coeficiente de predicción, de 0,491, y explica el 96,9 % de la variación que el error puro permite explicar. Sobre él se realizó la interpretación.

La expresión del modelo seleccionado, en pseudocomponentes, es la siguiente.

$$R = 78{,}435\ u_1 + 78{,}322\ u_2 + 79{,}165\ u_3 - 3{,}527\ u_2u_3 + 24{,}712\ u_1u_2u_3$$

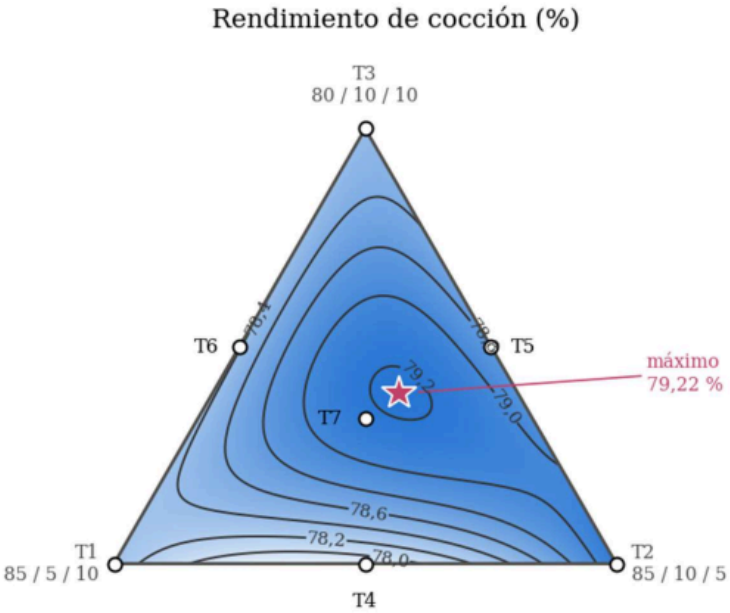
Los tres coeficientes lineales y los dos términos de mezcla resultaron significativos, con p de 0,002 para el término de interacción binaria y menor que 0,001 para los restantes. La desviación estándar residual fue de 0,373 puntos porcentuales. La exploración del modelo sobre la región experimental situó el rendimiento máximo en 79,22 %, correspondiente a 83,04 g de carne de pota precocida, 8,82 g de harina de tarwi y 8,14 g de harina de quinua por cada 100 g de fracción variable, es decir en el interior de la región y muy próximo al centroide. El valor mínimo, 77,81 %, se localizó sobre

la arista de máxima proporción de carne de pota, con 85,00 g de pota, 6,90 g de tarwi y 8,10 g de quinua, de modo que la amplitud total de la superficie asciende a 1,41 puntos porcentuales.

La superficie de respuesta descrita por el modelo se representa en la figura siguiente.

Figura 13

Superficie de respuesta del rendimiento de cocción en la región experimental



Nota. Las curvas de nivel corresponden al modelo reducido ajustado sobre las 27 determinaciones. Los círculos señalan los puntos del diseño y el asterisco la posición del rendimiento máximo dentro de la región. Los vértices se identifican con su composición real en gramos de carne de pota precocida, harina de tarwi y harina de quinua por cada 100 g de fracción variable.

4.5. Análisis sensorial de la hamburguesa marina

La evaluación sensorial se realizó con 82 panelistas, cada uno de los cuales calificó las nueve unidades experimentales en una escala hedónica de nueve puntos, lo que generó 738 observaciones por atributo. No se registraron datos faltantes ni valores fuera de la escala. Los resultados se analizaron mediante el análisis de varianza de un diseño de bloques completos al azar, con el panelista como bloque, según lo descrito en la metodología.

4.5.1. Calificación de los atributos

Las calificaciones medias de cada unidad experimental se presentan en la tabla siguiente, junto con los grupos homogéneos determinados por la prueba de Tukey.

Tabla 44

Calificación sensorial media de las unidades experimentales

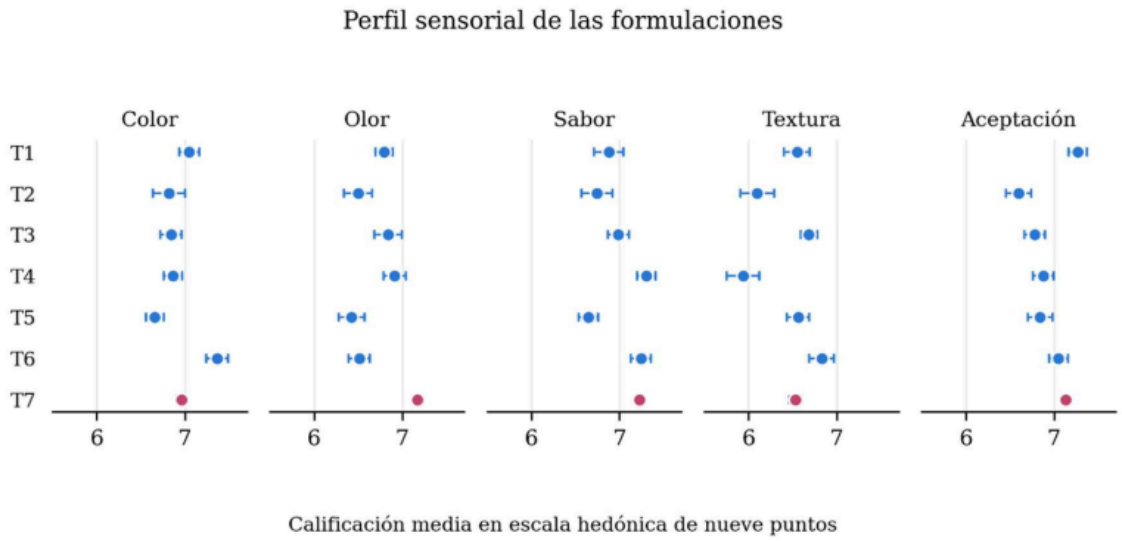
Unidad	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptación general
T1	$7,05^{ab}$	$6,79^{ab}$	$6,88^{abc}$	$6,55^{ab}$	$7,27^{a}$
T2	$6,82^{b}$	$6,50^{b}$	$6,74^{bc}$	$6,10^{bc}$	$6,60^{c}$
T3	$6,84^{b}$	$6,84^{ab}$	$6,99^{abc}$	$6,68^{ab}$	$6,78^{bc}$
T4	$6,87^{ab}$	$6,91^{ab}$	$7,30^{a}$	$5,94^{c}$	$6,88^{abc}$
T5	$6,66^{b}$	$6,43^{b}$	$6,65^{c}$	$6,56^{ab}$	$6,84^{abc}$
T6	$7,37^{a}$	$6,51^{b}$	$7,24^{ab}$	$6,83^{a}$	$7,05^{abc}$
T7.1	$6,89^{ab}$	$7,17^{a}$	$7,33^{a}$	$6,57^{ab}$	$7,18^{ab}$
T7.2	$6,89^{ab}$	$7,18^{a}$	$7,16^{abc}$	$6,30^{abc}$	$7,00^{abc}$
T7.3	$7,10^{ab}$	$7,17^{a}$	$7,18^{ab}$	$6,71^{a}$	$7,21^{ab}$

Nota. Medias de 82 calificaciones por unidad en escala hedónica de nueve puntos. Dentro de cada columna, las medias que no comparten letra difieren según la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. Las diferencias mínimas significativas fueron de 0,506 en color, 0,525 en olor, 0,518 en sabor, 0,603 en textura y 0,470 en aceptación general.

La aceptación general se situó entre 6,60 y 7,27 puntos, es decir, entre las categorías "me gusta ligeramente" y "me gusta moderadamente" de la escala empleada. El tratamiento T1 alcanzó la mayor aceptación general y el T2 la menor. Considerando los cinco atributos, todas las formulaciones superaron el valor de 6 salvo el tratamiento T4, cuya textura promedió 5,94 puntos.

Figura 14

Perfil sensorial de las formulaciones



Nota. Calificación media de cada formulación en escala hedónica de nueve puntos, con su error estándar. Cada panel corresponde a un atributo y cada fila a una formulación. El punto destacado corresponde a T7, que reúne los tres lotes independientes del centroide, de modo que su media procede de 246 calificaciones mientras que las restantes proceden de 82. Los paneles se representan en el intervalo efectivamente ocupado por los datos y no en la escala completa de 1 a 9, con la finalidad de hacer visibles las diferencias entre formulaciones.

4.5.2. Análisis de varianza

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las unidades experimentales en los cinco atributos evaluados. El efecto del bloque también resultó significativo en todos los casos, con valores de p comprendidos entre 0,0001 y 0,0028, lo que confirma que los panelistas difieren de manera sistemática en el uso de la escala y justifica el diseño en bloques. Los resultados se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 45

Análisis de varianza de los atributos sensoriales

Atributo	F (8, 648)	p	Friedman χ^2 (8)	p
Color	3,140	0,0017	23,01	0,0034
Olor	6,478	< 0,0001	44,42	< 0,0001
Sabor	4,510	< 0,0001	30,09	0,0002
Textura	4,681	< 0,0001	28,34	0,0004
Aceptación general	4,349	< 0,0001	28,06	0,0005

Nota. La prueba de Friedman se aplicó como contraste no paramétrico sobre los mismos bloques. Los residuos del modelo cumplieron el supuesto de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk en color, sabor, textura y aceptación general, con valores de p de 0,085; 0,250; 0,108 y 0,585, respectivamente. En olor la normalidad se rechazó, con p = 0,008, si bien la prueba de Friedman condujo a la misma conclusión.

4.5.3. Comparación de tratamientos

En aceptación general, el tratamiento T1 superó a T2 en 0,67 puntos y a T3 en 0,49 puntos, diferencias significativas, y el tratamiento T2 resultó inferior a dos de los tres lotes del centroide. En textura, el tratamiento T4 obtuvo la calificación más baja y difirió de T6, T3, T5, T1 y de dos lotes del centroide. En sabor, los tratamientos T4, T6 y el centroide superaron a T5 y a T2. En color, el tratamiento T6 alcanzó la mayor calificación y superó a T5, T2 y T3. En olor, los tres lotes del centroide se ubicaron en el grupo superior y superaron a T2, T5 y T6.

El conjunto de las comparaciones no señala una formulación superior en todos los atributos. El tratamiento T6 encabezó el color y la textura, el centroide el olor, y el sabor no distinguió entre T4, T6 y el centroide. En aceptación general, en cambio, el primer lugar correspondió a T1.

4.5.4. Repetibilidad entre lotes del centroide

Los tres lotes independientes de la formulación del centroide no difirieron entre sí en color, olor, sabor ni aceptación general, con valores de p de 0,183; 0,993; 0,289 y 0,122, respectivamente, lo que respalda la repetibilidad del proceso de elaboración. En textura sí se detectó una diferencia

significativa entre lotes, con p = 0,037, de modo que este atributo presenta una variabilidad entre lotes que debe considerarse al interpretar su modelo.

4.5.5. Modelos de mezcla

Sobre la calificación media de cada unidad experimental se ajustaron los polinomios canónicos de Scheffé en pseudocomponentes superiores, empleando los tres lotes del centroide como estimación del error puro. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 46

Modelos de mezcla ajustados a los atributos sensoriales

Atributo	Modelo	R^2	R^2_{aj}	Falta de ajuste, p
Color	Lineal	0,413	0,217	0,272
Olor	No aplicable			
Sabor	Cuadrático	0,948	0,861	0,411
Textura	Lineal	0,607	0,476	0,515
Aceptación general	Lineal	0,624	0,498	0,314

Nota. El modelo se seleccionó de manera secuencial, reteniendo el de menor complejidad cuyos términos adicionales no resultaron significativos y cuya falta de ajuste no fue significativa. En olor no fue posible seleccionar un modelo, según se explica a continuación.

En color, textura y aceptación general el modelo lineal resultó suficiente, dado que los términos de interacción binaria no mejoraron significativamente el ajuste, con valores de p de 0,094; 0,289 y 0,415, y la falta de ajuste no fue significativa. En sabor, en cambio, los términos cuadráticos sí aportaron, con p = 0,025, y el modelo cuadrático no presentó falta de ajuste.

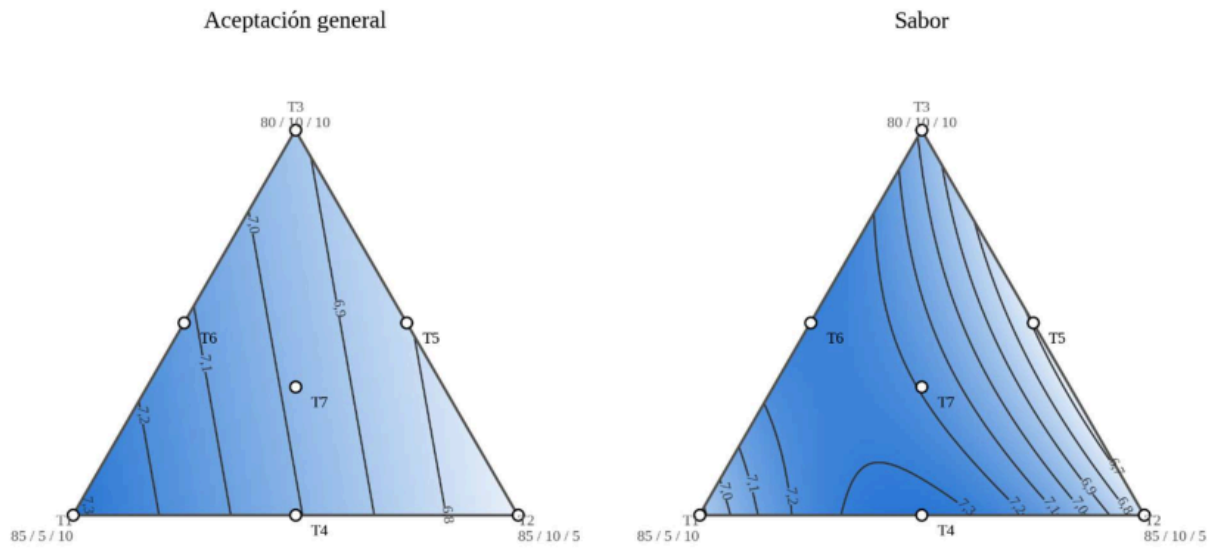
En olor, las medias de los tres lotes del centroide fueron 7,171; 7,183 y 7,171 puntos, prácticamente idénticas, de modo que el error puro resultó cercano a cero y la prueba de falta de ajuste perdió sentido, ya que cualquier discrepancia del modelo resulta desproporcionadamente grande frente a un denominador nulo. Por esta razón, para dicho atributo se presentan únicamente los resultados descriptivos y las comparaciones múltiples, sin ajuste de modelo.

Los coeficientes de los modelos seleccionados, expresados en pseudocomponentes superiores, fueron los siguientes. En color, $\beta_1 = 6{,}932$; $\beta_2 = 7{,}181$ y $\beta_3 = 6{,}712$. En textura, $\beta_1 = 6{,}865$; $\beta_2 = 6{,}509$ y $\beta_3 = 6{,}041$. En aceptación general, $\beta_1 = 6{,}915$; $\beta_2 = 7{,}320$ y $\beta_3 = 6{,}700$. En sabor, el modelo cuadrático arrojó $\beta_1 = 6{,}977$; $\beta_2 = 6{,}867$; $\beta_3 = 6{,}733$; $\beta_{12} = 1{,}460$; $\beta_{13} = -0{,}662$ y $\beta_{23} = 2{,}191$, de modo que las mezclas binarias de los vértices correspondientes a T3 y T1 y a T1 y T2 presentaron un efecto sinérgico sobre el sabor.

Las superficies de respuesta ajustadas para la aceptación general y para el sabor se representan en la figura siguiente, sobre la región experimental de mezclas.

Figura 15

Contornos de respuesta de la aceptación general y del sabor en la región experimental



Nota. Los vértices del triángulo corresponden a las formulaciones T1, T2 y T3, rotuladas con su contenido de carne de pota precocida, harina de tarwi y harina de quinua por cada 100 g de mezcla. Los puntos señalan las siete formulaciones del diseño. En la aceptación general los contornos son rectas paralelas porque el modelo seleccionado fue lineal, mientras que en el sabor presentan curvatura, propia del modelo cuadrático. Las tonalidades más intensas indican calificaciones mayores.

Debe señalarse que los coeficientes de determinación de predicción resultaron bajos o negativos en los cuatro modelos ajustados, lo que indica que estos describen adecuadamente las medias observadas dentro de la región experimental, pero poseen una capacidad predictiva limitada fuera de los puntos del diseño. Esta limitación es esperable con nueve observaciones y debe considerarse al interpretar la formulación óptima.

El resultado de mayor relevancia para los objetivos del estudio es la relación inversa entre el contenido proteico y la aceptación general. El tratamiento T1, que combina la proporción mínima de harina de tarwi con la máxima de harina de quinua, obtuvo la mayor aceptación general, con 7,27 puntos, y es a la vez la formulación de menor contenido proteico calculado, con 19,30 g/100 g. El tratamiento T2, con la combinación inversa de harinas, obtuvo la menor aceptación general, con 6,60 puntos, y el mayor contenido proteico, con 21,03 g/100 g. El mismo ordenamiento se observa en el modelo lineal de aceptación general, cuyo coeficiente mayor corresponde al vértice de T1.

Este comportamiento configura un compromiso entre el aporte nutricional y la aceptabilidad, que la optimización multirrespuesta debe resolver. Conviene advertir, sin embargo, que la diferencia proteica entre ambos extremos es de 1,73 g/100 g, equivalente al 3,46 % del valor de referencia de nutrientes, mientras que la diferencia sensorial de 0,67 puntos resultó estadísticamente significativa. En términos prácticos, el costo sensorial de incrementar la proporción de harina de tarwi supera el beneficio proteico que se obtiene.

4.6. Optimización de la formulación óptima

4.6.1. Variables incluidas y criterio de optimización

La optimización se realizó sobre tres respuestas: el contenido proteico, la aceptación general otorgada por el panel y el rendimiento de cocción, las tres a maximizar. La selección obedece a que son las únicas variables que cumplen simultáneamente dos condiciones: poseer una dirección de mejora definida sin ambigüedad y disponer de un modelo de mezcla validado sobre la región experimental.

Las restantes variables caracterizadas quedaron fuera por razones expuestas en sus apartados correspondientes. La firmeza instrumental se excluyó porque cinco de las siete determinaciones

alcanzaron el límite de la celda de carga, de modo que los valores registrados no reflejan una propiedad del producto. El color se excluyó porque la variación dentro de una misma unidad experimental superó a la variación entre formulaciones y ningún modelo de mezcla resultó adecuado. El pH se excluyó porque no presentó diferencias entre formulaciones, con un valor de F de 0,911 y p de 0,507, de modo que no puede discriminar entre ellas. La humedad, finalmente, se excluyó porque carece de una dirección de mejora definida: una humedad mayor se asocia a un producto más jugoso, pero también a una menor densidad de nutrientes y a una menor estabilidad, de manera que constituye una variable de caracterización y no un criterio de optimización.

Tabla 47

Respuestas incluidas en la optimización y modelos empleados

Respuesta	Modelo	Criterio	Intervalo en la región
Proteína (g/100 g)	Lineal exacto	Maximizar	19,30 a 21,03
Aceptación general	Lineal	Maximizar	6,70 a 7,32
Rendimiento (%)	Reducido	Maximizar	77,81 a 79,22

Nota. El contenido proteico se calcula de forma exacta a partir de la formulación y de la composición de las materias primas, por lo que su modelo lineal reproduce los valores sin error. Los intervalos corresponden a los valores mínimo y máximo que cada modelo predice dentro de la región experimental.

4.6.2. Análisis del compromiso entre aporte proteico y aceptabilidad sensorial

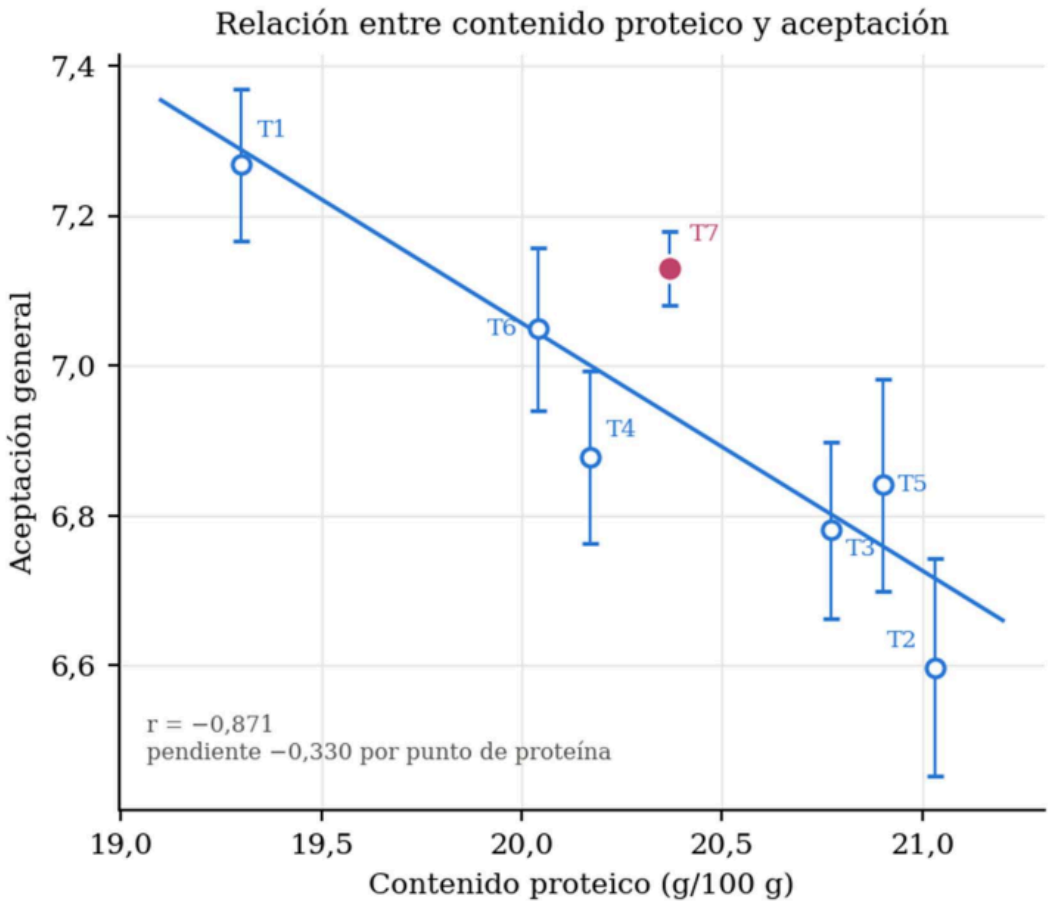
Las dos respuestas principales del estudio se oponen entre sí, y esa oposición es la que da sentido a la optimización. El máximo de contenido proteico se localiza en el vértice T2, con 85 g de carne de pota precocida, 10 g de harina de tarwi y 5 g de harina de quinua, mientras que el máximo de aceptación general se localiza en el vértice opuesto T1, con la proporción de ambas harinas invertida. La correlación entre ambas respuestas en los siete tratamientos alcanzó −0,871. Dado que ese coeficiente trata las medias como valores exentos de error, la relación se verificó mediante dos pruebas independientes: el ajuste de la aceptación sobre las 738 calificaciones individuales, con el panelista como bloque y el contenido proteico como covariable, arrojó una pendiente de −0,330 puntos de aceptación por cada punto porcentual de proteína, con p menor que 0,001; y el contraste entre los coeficientes de los vértices T1 y T2 del modelo de aceptación resultó de 0,620

puntos, con p de 0,021. La relación inversa queda por tanto establecida. A lo largo del intervalo de proteína cubierto por el diseño, de 19,30 a 21,03 g por 100 g, el costo acumulado asciende a 0,571 puntos de aceptación.

Esta relación se representa en la figura siguiente.

Figura 16

Relación entre el contenido proteico y la aceptación general de las formulaciones



Nota. Cada punto corresponde a una formulación, con su barra de error estándar de la media. La recta representa el ajuste lineal entre ambas respuestas. El punto destacado corresponde al centroide, única formulación que se sitúa apreciablemente por encima de la recta de compromiso.

Seis de las siete formulaciones se sitúan dentro de 1,1 errores estándar de esa recta, mientras que el centroide se aparta hacia arriba en 0,196 puntos, equivalentes a cuatro veces el error estándar de

su media. Es decir que la mezcla ternaria alcanza una aceptación superior a la que su contenido proteico permitiría anticipar. Dado que la identificación del mayor residuo se realizó a posteriori, esta observación debe interpretarse como una regularidad coherente con la sinergia que los modelos de aceptación y de rendimiento sugieren en el interior de la región, y no como una prueba formal.

Para identificar el origen sensorial de esa penalización se examinó cada atributo por separado. Puesto que sobre la arista que une T1 y T2 el contenido de carne de pota permanece constante en 85 g, el contraste entre ambos vértices aísla el efecto de intercambiar 5 g de harina de quinua por 5 g de harina de tarwi. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 48

Efecto del intercambio de 5 g de harina de quinua por 5 g de harina de tarwi sobre cada atributo sensorial

Atributo	Vértice T1	Vértice T2	Diferencia	p
Color	7,181	6,712	+0,468	0,086
Olor	6,976	6,708	+0,268	0,555
Sabor	7,227	6,880	+0,346	0,343
Textura	6,509	6,041	+0,468	0,135
Aceptación general	7,320	6,700	+0,620	0,021

Nota. Los valores corresponden a los coeficientes del modelo lineal de mezcla ajustado sobre las nueve unidades experimentales para cada atributo. El vértice T1 contiene 5 g de harina de tarwi y 10 g de harina de quinua, y el vértice T2 la proporción inversa, en ambos casos con 85 g de carne de pota precocida. En el atributo olor el modelo lineal no superó la prueba de falta de ajuste, con p menor que 0,001, por lo que su contraste debe tomarse con reserva.

El resultado no respalda la explicación más inmediata, que sería atribuir la penalización a un amargor residual procedente del desamargado incompleto del tarwi. Si así fuera, el efecto debería concentrarse en el sabor y eventualmente en el olor, y no es eso lo que muestran los datos. Los cinco atributos se desplazan en la misma dirección y con magnitudes comparables, entre 0,27 y 0,47 puntos, sin que ninguno alcance significancia por separado, mientras que la aceptación general presenta a la vez el mayor efecto, de 0,620 puntos, y el único significativo. La penalización

asociada al tarwi es, por tanto, difusa: no se manifiesta como un defecto localizado en un atributo concreto sino como un descenso leve y consistente en todos ellos, que el panelista integra en una impresión global. Que el efecto sobre la aceptación general supere al de cualquier atributo individual es coherente con esa lectura, y se ve favorecido además por que la aceptación general resultó el atributo medido con mayor precisión, con el menor error estándar del conjunto.

Debe precisarse el alcance de esta conclusión. El contraste compara dos formulaciones que difieren simultáneamente en ambas harinas, de modo que mide el efecto del intercambio y no el de cada harina por separado. Con este diseño no es posible discernir si lo observado corresponde a un perjuicio atribuible al tarwi o a un beneficio atribuible a la quinua, y ambas explicaciones son compatibles con los datos. Establecerlo requeriría un ensayo específico en el que cada harina variara de forma independiente frente a un mismo control.

Conviene finalmente precisar la magnitud práctica del conflicto. El contenido proteico varía entre 19,30 y 21,03 g por 100 g a lo largo de toda la región, una amplitud de 1,73 g que representa el 3,46 % del valor de referencia de nutrientes de 50 g establecido para proteínas. Todas las formulaciones ensayadas duplican con holgura el umbral de contenido alto de proteínas, que asciende a 10 g por 100 g, situándose entre 1,93 y 2,10 veces ese valor. En consecuencia, la pérdida nutricional asociada a privilegiar la aceptación sensorial resulta irrelevante desde el punto de vista del etiquetado y de la contribución dietaria. El compromiso entre ambos criterios puede por tanto resolverse con holgura, y es lo que la función de deseabilidad formaliza a continuación.

4.6.3. Función de deseabilidad

Cada respuesta se transformó en una deseabilidad individual comprendida entre cero y uno mediante una función lineal creciente, asignando el valor cero al mínimo y el valor uno al máximo alcanzables dentro de la región experimental. La deseabilidad global se obtuvo como la media geométrica de las tres deseabilidades individuales, con ponderaciones iguales, según la expresión siguiente.

$$D = (d_1 . d_2 . d_3)^{\frac{1}{3}}$$

La media geométrica implica que un valor nulo en cualquiera de las deseabilidades individuales anula la deseabilidad global. Este comportamiento es deliberado: una formulación que resulte la peor de la región en alguno de los criterios no constituye una solución de compromiso aceptable, por buena que sea en los otros dos. No se fijó un umbral mínimo de aceptación porque la totalidad de las formulaciones superó los 6,7 puntos en la escala hedónica, de modo que ninguna habría resultado excluida y la restricción no habría modificado el resultado

4.6.4. Resultado de la optimizacion

La deseabilidad global alcanzada por cada punto del diseño se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 49

Deseabilidad global de los puntos del diseño

Tratamiento	Proteína (g/100 g)	Aceptación	Rendimiento (%)	Deseabilidad
T7	20,37	6,98	79,16	0,643
T3	20,77	6,92	78,44	0,507
T6	20,04	7,12	78,38	0,487
T5	20,90	6,81	78,80	0,483
T4	20,17	7,01	77,86	0,207
T1	19,30	7,32	78,32	0,000
T2	21,03	6,70	79,16	0,000

Nota. Los valores de las tres respuestas corresponden a la predicción de sus respectivos modelos. Los tratamientos T1 y T2 obtienen deseabilidad nula porque cada uno se sitúa exactamente en el extremo inferior de una de las respuestas, T1 en proteína y T2 en aceptación, lo que anula la media geométrica. Ello no significa que sean formulaciones deficientes, sino que ninguna de las dos constituye un compromiso entre los criterios.

La exploración de la función sobre toda la región experimental situó el máximo de deseabilidad en 0,651, correspondiente a una composición de 82,88 g de carne de pota precocida, 8,52 g de harina de tarwi y 8,60 g de harina de quinua por cada 100 g de fracción variable. En ese punto los modelos predicen un contenido proteico de 20,41 g por 100 g, una aceptación general de 6,97 puntos y un rendimiento de cocción de 79,18 %.

Se examinó la sensibilidad del resultado frente a la ponderación asignada a cada respuesta, cuyos resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 50

Sensibilidad del óptimo frente a la ponderación de las respuestas

Ponderación	Pota (g)	Tarwi (g)	Quinua (g)	D
Pesos iguales	82,88	8,52	8,60	0,651
Proteína doble	82,66	8,96	8,38	0,659
Aceptación doble	83,06	7,93	9,01	0,609
Rendimiento doble	82,95	8,61	8,44	0,722

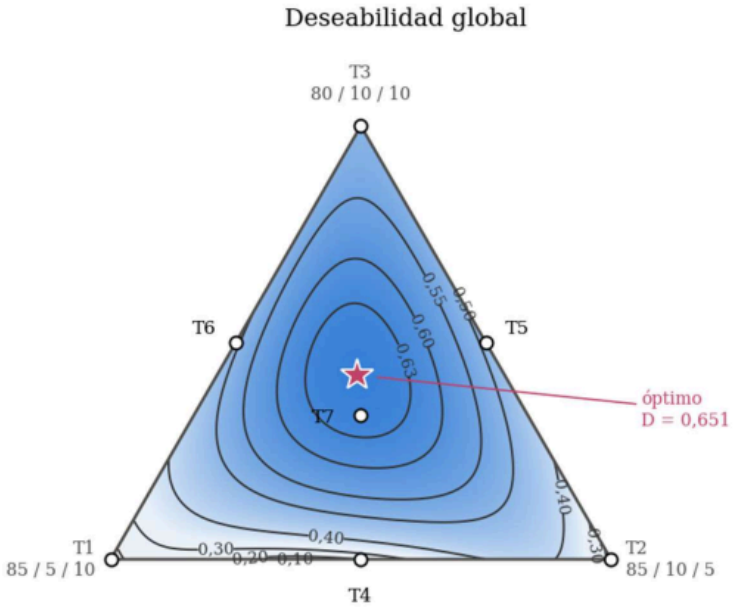
Nota. Las cantidades están expresadas por cada 100 g de fracción variable. Entre los cuatro escenarios la proporción de carne de pota varía 0,40 g, la de harina de tarwi 1,03 g y la de harina de quinua 0,63 g.

El óptimo resultó prácticamente coincidente con el centroide del diseño. El tratamiento T7, de composición 83,33 g de pota y 8,33 g de cada harina, alcanza una deseabilidad de 0,643 frente a 0,651 del óptimo calculado, con diferencias en las respuestas predichas de 0,04 g por 100 g en proteína, 0,004 puntos en aceptación y 0,02 puntos porcentuales en rendimiento. Las tres diferencias resultan muy inferiores al error de medición de sus respectivas variables.

La superficie de deseabilidad sobre la región experimental se representa en la figura siguiente.

Figura 17

Deseabilidad global en la región experimental



Nota. Las curvas de nivel corresponden a la media geométrica de las tres deseabilidades individuales con ponderaciones iguales. Los círculos señalan los puntos del diseño y el asterisco la posición del máximo. Los vértices se identifican con su composición real en gramos de carne de pota precocida, harina de tarwi y harina de quinua por cada 100 g de fracción variable. La deseabilidad decae hacia los vértices T1 y T2, donde se anula por situarse cada uno en el extremo inferior de una de las respuestas.

4.6.5. Selección y validación de la formulación óptima

Se selecciona como formulación óptima la correspondiente al centroide del diseño, con 83,33 g de carne de pota precocida, 8,33 g de harina de tarwi y 8,33 g de harina de quinua por cada 100 g de fracción variable. Referida a la unidad completa de 115 g, la formulación incorpora además los 15 g de la fracción fija, y referida a la hamburguesa moldeada de 100 g equivale a 72,46 g de carne de pota precocida, 7,25 g de cada harina y 13,04 g de insumos de la fracción fija. La justificación de esta elección frente al óptimo estrictamente matemático se desarrolla en la discusión.

La validación se realizó mediante un procedimiento que no reutiliza la información empleada en el ajuste. Los modelos de cada respuesta se reajustaron excluyendo por completo las tres unidades del centroide, es decir empleando únicamente los tratamientos T1 a T6, y con ellos se predijo el valor esperado en el centroide. Esa predicción se contrastó después con los valores efectivamente medidos en los tres lotes, que no habían intervenido en el ajuste. Se incluyó además la humedad de la hamburguesa cruda como control, por tratarse de una propiedad aditiva cuyo comportamiento es predecible. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 51

Validación de los modelos mediante la predicción del centroide excluido del ajuste

Respuesta	Predicho	Intervalo de predicción 95 %	Medido	Diferencia
Aceptación general	6,902	6,622 a 7,183	7,130	+0,228
Rendimiento (%)	78,25	77,32 a 79,18	79,16	+0,92
Humedad cruda (%)	52,77	52,05 a 53,49	52,70	−0,07

Nota. Los modelos se ajustaron empleando únicamente los tratamientos T1 a T6. Las tres unidades del centroide quedaron excluidas del ajuste y sus valores medidos, promedio de los tres lotes independientes, constituyen la referencia de contraste. En el caso del rendimiento, el término ternario no resulta estimable sin el centroide, por lo que la predicción procede del modelo que conserva únicamente los términos lineales y la interacción entre u_2 y u_3. El contenido proteico no se incluye por calcularse de forma exacta a partir de la formulación.

Las tres respuestas medidas se situaron dentro de su intervalo de predicción, de modo que los modelos quedan validados. El comportamiento de las tres, sin embargo, no fue el mismo, y esa diferencia resulta informativa. La humedad cruda, que es una propiedad aditiva, se predijo con una desviación de apenas 0,07 puntos, muy próxima al centro de su intervalo. La aceptación general y el rendimiento de cocción, en cambio, fueron subestimados por los modelos ajustados sin el centroide, en 0,23 y 0,92 unidades respectivamente, situándose ambos valores medidos cerca del límite superior de sus intervalos. Esa subestimación sistemática de las dos respuestas que sí presentan interacción confirma, desde datos independientes, que la mezcla ternaria rinde más de

lo que anticipa la combinación de los efectos binarios, y justifica la necesidad del término ternario que ambos modelos incorporan.

La oposición entre el aporte proteico y la aceptación sensorial, establecida en el apartado correspondiente, es lo que determina que la solución de la optimización se localice en el interior de la región y no en un vértice. Ningún vértice puede satisfacer ambos criterios, y en efecto T1 y T2, que son los óptimos individuales de una y otra respuesta, obtienen deseabilidad global nula por situarse cada uno en el extremo inferior de la otra. La función de deseabilidad no resuelve el conflicto, sino que lo hace explícito y lo traduce en una regla de decisión.

La solución obtenida resultó robusta frente a la ponderación. Al duplicar alternativamente el peso de cada respuesta, la proporción de carne de pota se desplazó apenas 0,40 g, la de harina de tarwi 1,03 g y la de harina de quinua 0,63 g. Esta estabilidad es relevante porque la asignación de pesos constituye el elemento más subjetivo del procedimiento, y su escasa influencia sobre el resultado despoja a esa decisión de consecuencias prácticas.

Por las razones anteriores se propone como formulación óptima la correspondiente al centroide del diseño. Frente al óptimo estrictamente matemático esta elección presenta una ventaja decisiva: se trata de una formulación efectivamente elaborada, por triplicado en lotes independientes, y evaluada por los 82 panelistas, de modo que sus valores están medidos y no solo predichos. A ello se añade que sus modelos superaron la validación descrita anteriormente. Recomendar en su lugar una composición nunca elaborada, cuya ventaja sobre el centroide asciende a 0,008 unidades de deseabilidad, carecería de fundamento experimental.

La formulación propuesta aporta 20,37 g de proteína por 100 g, equivalentes al 40,74 % del valor de referencia de nutrientes, con una aceptación general de 7,13 puntos en una escala hedónica de nueve puntos y un rendimiento de cocción de 79,16 %. Cumple por tanto el objetivo de obtener un producto de alto contenido proteico con aceptación satisfactoria.

Deben declararse limitaciones. La primera es que la optimización se sustenta en modelos ajustados sobre siete puntos del diseño, con replicación en lotes independientes únicamente en el centroide, de modo que la incertidumbre de las predicciones en el interior de la región es menor que en sus bordes, pero no resulta despreciable; los errores estándar de predicción en el centroide fueron de

0,053 puntos para la aceptación y de 0,124 puntos porcentuales para el rendimiento. Dado que la formulación propuesta coincide con un punto efectivamente.
La siguiente es que las muestras del ensayo sensorial se presentaron en un orden común a todos los panelistas, cuestión examinada en el apartado de análisis sensorial, donde se establece que la relación inversa entre el contenido proteico y la aceptación general no resulta atribuible a ese orden y que su efecto, en el contraste entre T1 y T2, operaría en sentido contrario al observado.

V. CONCLUSIONES

- Se caracterizó la composición proximal de las tres materias primas. La harina de tarwi constituye la principal fuente de proteína, con 51,75 g por 100 g, la harina de quinua aporta fundamentalmente carbohidratos, con 72,90 g por 100 g, y la carne de pota precocida constituye la base del producto, con 17,86 g de proteína y 70,30 g de agua por 100 g. Esta última composición determina que la pota gobierne tanto la humedad como el pH del producto terminado.

- Se elaboró una hamburguesa marina proteica a partir de carne de pota precocida enriquecida con harina de tarwi y harina de quinua, y se verificó que las siete formulaciones de la región experimental cumplen el objetivo nutricional propuesto. El contenido proteico osciló entre 19,30 y 21,03 g por 100 g, valores que superan entre 1,93 y 2,10 veces el umbral de contenido alto de proteínas, establecido en 10 g por 100 g.

- Se estableció la existencia de una relación inversa entre el aporte proteico y la aceptabilidad sensorial. Cada punto porcentual adicional de proteína se asocia a un descenso de 0,330 puntos en la aceptación general, con p menor que 0,001, de modo que los máximos de ambas respuestas se localizan en vértices opuestos de la región experimental. El análisis por atributos mostró que esa penalización no se concentra en el sabor, sino que se manifiesta de forma difusa en los cinco atributos evaluados.

- Se determinó que el rendimiento de cocción de las formulaciones se sitúa entre 77,86 y 79,16 %, con pérdidas de masa de 20,84 a 22,14 %, y que su descripción requiere un modelo con términos de interacción binaria y ternaria, dado que los modelos aditivos no superan la prueba de falta de ajuste. El máximo de la superficie se localiza en el interior de la región experimental.

- Se determinó la humedad del producto, comprendida entre 50,88 y 54,00 g por 100 g en crudo y entre 40,09 y 44,27 g por 100 g en cocido. El valor medido en crudo coincide con el calculado a partir de la formulación y de la composición de las materias primas, con una pendiente de regresión estadísticamente indistinguible de la unidad, lo que valida de forma

simultánea la ejecución de la formulación, el pesado de los componentes y la caracterización proximal de las materias primas.

- Se estableció, mediante el balance de agua entre ambos estados, que el 89,9 % de la masa perdida durante la cocción corresponde a agua, con una desviación estándar de 0,4 puntos entre las siete formulaciones, y que la retención de agua del producto asciende a 63,5 %. La constancia de esa fracción indica que el mecanismo de pérdida es común a todas las formulaciones y que lo que las distingue es la cantidad de agua inicial.

- Se determinó un pH de 6,21 sin diferencias entre formulaciones, con p de 0,507, valor coincidente con el reportado para el músculo de pota y consistente con que esta materia prima aporta la capacidad tamponante del sistema. El producto se clasifica en consecuencia como alimento de baja acidez, de modo que su conservación depende del tratamiento térmico y de la cadena de frío.

- Se acreditó la reproducibilidad del proceso de elaboración mediante los tres lotes independientes del centroide, cuyas desviaciones estándar entre lotes ascendieron a 0,038 puntos en rendimiento de cocción, 0,054 en humedad y 0,030 en pH, magnitudes inferiores a la variación observada entre piezas de un mismo lote.

- Se optimizó la formulación mediante una función de deseabilidad construida sobre el contenido proteico, la aceptación general y el rendimiento de cocción, con ponderaciones iguales. La solución se localiza en el interior de la región y resulta indistinguible del centroide del diseño, por lo que se propone como formulación óptima la constituida por 83,33 g de carne de pota precocida, 8,33 g de harina de tarwi y 8,33 g de harina de quinua por cada 100 g de fracción variable. Esta formulación aporta 20,37 g de proteína por 100 g, equivalentes al 40,74 % del valor de referencia de nutrientes, con una aceptación general de 7,13 puntos y un rendimiento de cocción de 79,16 %.

- Se validaron los modelos empleados en la optimización mediante un procedimiento independiente, consistente en reajustarlos excluyendo las tres unidades del centroide y predecir con ellos ese punto. Las tres respuestas medidas se situaron dentro de su intervalo de predicción. La humedad, propiedad aditiva, se predijo con una desviación de 0,07

puntos, mientras que la aceptación y el rendimiento resultaron subestimados en 0,23 y 0,92 unidades, lo que confirma con datos independientes la sinergia de la mezcla ternaria.

- No fue posible atribuir a la formulación las diferencias observadas en el color superficial ni en la firmeza instrumental. En el color, la variación existente dentro de una misma unidad experimental superó a la observada entre formulaciones y limitó el coeficiente de determinación máximo alcanzable a valores comprendidos entre 0,208 y 0,386, de modo que ningún modelo de mezcla resultó adecuado. En la firmeza, el orden de cocción, que avanzó de forma correlativa entre tratamientos, explicó el 96,2 % de la variación observada, con lo que el efecto de la formulación no puede separarse del efecto de la secuencia. Ambas variables se excluyeron de la optimización.

VI. RECOMENDACIONES

- Aleatorizar el orden de cocción de las piezas destinadas a la determinación instrumental de textura, intercalando los tratamientos en lugar de procesarlos de forma correlativa, y verificar la temperatura de la plancha con termómetro antes de cada pieza. El presente trabajo demostró que aleatorizar únicamente el orden de medición no basta, puesto que el sesgo se introduce durante la cocción y ninguna precisión instrumental posterior lo corrige. La profundidad de penetración de 2,0 mm empleada resultó adecuada, al mantener la fuerza máxima en el 60,6 % de la capacidad de la celda de carga, y puede conservarse.

- Elevar el número de lecturas de color hasta el orden de cuarenta por unidad experimental si se pretende detectar diferencias de dos unidades de luminosidad, y complementar la medición puntual con un análisis de imagen que capture la superficie completa de la pieza, dado que la heterogeneidad del dorado constituye la principal fuente de variación de esta variable.

- Diseñar un ensayo específico que permita separar el efecto de cada harina sobre la aceptabilidad, en el que la harina de tarwi y la harina de quinua varíen de forma independiente frente a un mismo control. El diseño de mezclas empleado mide el efecto del intercambio entre ambas y no permite discernir si la penalización observada corresponde a un perjuicio atribuible al tarwi o a un beneficio atribuible a la quinua.

- Mejorar el rendimiento del acondicionamiento de las materias primas. En el tarwi conviene reducir el arrastre de cotiledón fragmentado durante los cambios de agua del desamargado, operación que retuvo solo el 51,01 % de la materia seca del grano. En la quinua conviene remoler el material retenido en el tamizado, etapa que recuperó como harina únicamente el 34,52 % del material molido.

- Determinar la fibra cruda de las materias primas y completar el balance de la carne de pota precocida, en la que la suma de las fracciones determinadas deja una brecha de cierre de 8,67 g por 100 g que no resulta atribuible a carbohidratos en un músculo de cefalópodo.

- Aleatorizar el orden de cocción y controlar la temperatura de la plancha con termómetro en futuras determinaciones de rendimiento, de modo que el orden deje de estar confundido

con la formulación, y cuantificar por separado el aceite incorporado durante la cocción y el exudado retenido por el papel absorbente, contribuciones que en el presente trabajo actúan en sentidos opuestos sobre el valor absoluto del rendimiento.

- Evaluar la vida útil del producto en las condiciones de almacenamiento previstas, considerando que su pH de 6,21 lo clasifica como alimento de baja acidez y que su conservación no puede sustentarse en la acidez del medio.

- Determinar analíticamente el contenido proteico del producto terminado, de modo que el valor calculado a partir de la formulación quede confirmado por una medición directa, tal como ocurrió con la humedad.

- Elaborar un lote de comprobación en la composición óptima calculada si se decidiera adoptar una formulación distinta del centroide, dado que esa composición no fue elaborada y sus valores constituyen predicciones sin verificación experimental

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agraria.pe. (2024, 22 de mayo). *Producción de tarwi de Perú alcanzó las 16 000 toneladas en 2023*. https://agraria.pe/noticias/produccion-de-tarwi-de-peru-alcanzo-las-16-000-toneladas-en--36884

Aguirre, E. (2020). *Evaluación del efecto de la masa madre elaborado a partir de harina de trigo (Triticum aestivum), harina de centeno (Secale cereale) y harina de tarwi (Lupinus mutabilis) en el pan francés* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].

Ahmed, J., Thomas, L., & Arfat, Y. A. (2019). Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International, 116*, 302–311. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.039

Albrecht-Ruiz, M., Yupanqui-Galindo, G., Solari-Godiño, A., & Pariona-Velarde, D. (2017). Seasonal effects on proximal composition of male and female giant squid (*Dosidicus gigas*) and its rheological properties of surimi. *Cogent Food & Agriculture, 3*(1), Artículo 1308621. https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1308621

Amaral, S. M. B., Nascimento, C. P. do, Santos, S. M. L. dos, Milhome, M. A. L., & Damaceno, M. N. (2021). Valorization of agroindustry waste for the elaboration of fishburgers. *Research, Society and Development, 10*(3), e40010313395. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13395

Arias Escobar, J., Quispe Capajaña, M., & Arcata-Maquera, E. J. (2024). Perspectivas en el desarrollo y consumo de alimentos funcionales y su promoción en la salud: Una revisión de alcance. *Ingeniería Investiga, 6*. https://doi.org/10.47796/ing.v6i00.956

Astudillo, L., & Farfán, J. (2024). *Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de arveja (Pisum sativum), kiwicha (Amaranthus caudatus) y tarwi (Lupinus mutabilis)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

Bahmanyar, F., Hosseini, S. M., Mirmoghtadaie, L., & Shojaee-Aliabadi, S. (2021). Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef

burger formulation. *Meat Science, 172*, 108305. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108305

Bainy, E. M., Bertan, L. C., Corazza, M. L., & Lenzi, M. K. (2015). Effect of grilling and baking on physicochemical and textural properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish burger. *Journal of Food Science and Technology, 52*(8), 5111–5119. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1604-3

Bebeli, P. J., Lazaridi, E., Chatzigeorgiou, T., Suso, M.-J., Hein, W., Alexopoulos, A. A., Canha, G., van Haren, R. J. F., Jóhannsson, M. H., Mateos, C., Neves-Martins, J., Prins, U., Setas, F., Simioniuc, D. P., Talhinhas, P., & van den Berg, M. (2020). State and progress of Andean lupin cultivation in Europe: A review. *Agronomy, 10*(7), 1038. https://doi.org/10.3390/agronomy10071038

Bianco D., H. W., Capote L., T., & Garmendia G., C. (2014). Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 45*(2), 50–63.

Bracamonte, A. (2023). *Caracterización fisicoquímica y reológica de galletas sustituidas parcialmente por harina de tarwi (Lupinus mutabilis) y harina de kañiwa (Chenopodium pallidicaule)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Calvo, M. de la C., Carranco, M. E., Salinas, C. A., & Carrillo, S. (2016). Composición química de harina de calamar gigante *Dosidicus gigas*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 66*(1), 65–72. https://doi.org/10.37527/2016.66.1.009

Carboni, A. D., Martins, G. N., Castilho, P. C., Puppo, M. C., & Ferrero, C. (2024). Influence of thermal treatment and granulometry on physicochemical, techno-functional and nutritional properties of lentil flours. *Foods, 13*(17), 2744. https://doi.org/10.3390/foods13172744

Cardoso, C., Valentim, J., Gomes, R., Matos, J., Rego, A., Coelho, I., Delgado, I., Motta, C., Castanheira, I., Prates, J. A. M., Bandarra, N. M., & Afonso, C. (2024). Mackerel and seaweed burger as a functional product for brain and cognitive aging prevention. *Foods, 13*(9), 1332. https://doi.org/10.3390/foods13091332

Carvajal-Larenas, F. E., Nout, M. J. R., van Boekel, M. A. J. S., Koziol, M., & Linnemann, A. R. (2013). Modelling of the aqueous debittering process of *Lupinus mutabilis* Sweet. *LWT - Food Science and Technology, 53*(2), 507–516. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.017

Castro, L. S. B., Pacheco, D. O., Radünz, M., Helbig, E., Gularte, M. A., Zambiazi, R. C., Rodrigues, K. L., Gandra, T. K. V., & Gandra, E. A. (2020). Physicochemical characterization and microbiological analysis of *Oligosarcus robustus* raw fish meat and development a fish hamburger. *Revista Chilena de Nutrición, 47*(4), 561–567. https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000400561

Céspedes Gira, P. (2022). Elaboración experimental de harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) como complemento alimenticio para consumo humano, periodo 2000-2019. *Ventana Científica Estudiantil, 3*(4), 1–16.

Cheng, Q., & Sun, D.-W. (2008). Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48*(2), 137–159. https://doi.org/10.1080/10408390601177647

Cheng, Y., Meng, Y., & Liu, S. (2024). Diversified techniques for restructuring meat protein-derived products and analogues. *Foods, 13*(12), 1950. https://doi.org/10.3390/foods13121950

Codex Alimentarius. (2011). *Directrices sobre etiquetado nutricional (CAC/GL 2-1985)*. FAO/OMS.

Codex Alimentarius. (2013). *Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables (CAC/GL 23-1997)*. FAO/OMS.

Cornell, J. A. (2002). *Experiments with mixtures: Designs, models, and the analysis of mixture data* (3rd ed.). Wiley.

Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology, 12*(4), 214–219. https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968

Duman, M. (2022). Nutritional value and sensory acceptability of fish burger prepared with flaxseed flour. *Food Science and Technology, 42*, e27920. https://doi.org/10.1590/fst.27920

El Hazzam, K., Mhada, M., Metougui, M. L., El Kacimi, K., Sobeh, M., Taourirte, M., & Yasri, A. (2022). Box-Behnken design: Wet process optimization for saponins removal from *Chenopodium quinoa* seeds and the study of its effect on nutritional properties. *Frontiers in Nutrition, 9*, 906592. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.906592

Espinoza, R. (2023). *Valor nutricional y evaluación de la aceptabilidad de un snack de maíz amarillo (Zea mays L.), haba (Vicia faba), mijo (Panicum miliaceum) y harina de pota (Dosidicus gigas)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12349

Fernández, F., Lucas, C., & Bañón, S. (2021). Mineral composition of raw and marinated-cooked arms from Pacific giant squid (*Dosidicus gigas*). *Emirates Journal of Food and Agriculture, 33*(1), 20–28. https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i1.2355

García Solaesa, Á., Villanueva, M., Vela, A. J., & Ronda, F. (2020). Protein and lipid enrichment of quinoa (cv. Titicaca) by dry fractionation. Techno-functional, thermal and rheological properties of milling fractions. *Food Hydrocolloids, 105*, Artículo 105770. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105770

GBIF Secretariat. (2026a). *Chenopodium quinoa* Willd. *GBIF Backbone Taxonomy*. https://www.gbif.org/species/3083935

GBIF Secretariat. (2026b). *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835). *GBIF Backbone Taxonomy*. https://www.gbif.org/species/9205532

GBIF Secretariat. (2026c). *Lupinus mutabilis* Sweet. *GBIF Backbone Taxonomy*. https://www.gbif.org/species/search?q=Lupinus%20mutabilis

Gregorio, J., Lanza, P., Churión, C., & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N Cube) para la determinación de proteínas

en distintas clases de alimentos. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 28*(2), 245–249.

Gutiérrez, A., Infantes, M., Pascual, G., & Zamora, J. (2016). Evaluación de los factores en el desamargado de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Agroindustrial Science, 1*, 145–149. https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.01.17

Gutiérrez, C. (2022). *Elaboración de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://hdl.handle.net/20.500.12996/5393

Huatuco Lozano, M., Achulla Parco, B., & Flores Alarcón, J. E. (2020). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas dulces. *Revista de Investigación Científica Tayacaja, 3*(2). https://doi.org/10.46908/rict.v3i2.129

Iacumin, L., Pellegrini, M., Sist, A., Tabanelli, G., Montanari, C., Bernardi, C., & Comi, G. (2022). Improving the shelf-life of fish burgers made with a mix of sea bass and sea bream meat by bioprotective cultures. *Microorganisms, 10*(9), 1786. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091786

Karydogianni, S., Roussis, I., Chatzitriantafyllou, M., Kallergi, S., Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Bilalis, D., & Kakabouki, I. (2026). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) saponins and their pharmaceutical potential: A review. *International Journal of Molecular Sciences, 27*(15), 6679. https://doi.org/10.3390/ijms27156679

Keyes, P., Nyhan, L., Halm, J., Weisz, U., Bader-Mittermaier, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2026). Compositional and techno-functional properties of quinoa-based ingredients for gluten-free applications. *Future Foods, 13*, 100979. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2026.100979

Kidane, S. W. (2021). Application of response surface methodology in food process modeling and optimization. En *Response Surface Methodology in Engineering Science*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.100113

León-Heredia, M. A., Marquez-Rios, E., Cadena-Cadena, F., Santacruz-Ortega, H., Rivero-Espejel, I. A., Montoya-Camacho, N., & Tolano-Villaverde, I. J. (2025). Temperature-induced structural changes in muscle proteins from giant squid (*Dosidicus gigas*) mantle: FT-IR, circular dichroism, and FE-SEM analysis. *Foods, 14*(17), 2922. https://doi.org/10.3390/foods14172922

Liu, K. (2019). Effects of sample size, dry ashing temperature and duration on determination of ash content in algae and other biomass. *Algal Research, 40*, 101486. https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101486

Maciel, C. N., Seller, L. F. F., Souza, A. B. de, & Almeida, P. F. de. (2021). Formulation of fishburgers with the addition of different protein sources and taro flour. *Ciência Rural, 51*(2), e20200380. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200380

Mariezcurrena Berasain, M. A., Braña Varela, D., Partida de la Peña, J. A., Ramírez Rodríguez, E., & Domínguez Vara, I. (2010). Estandarización de la metodología para la determinación de grasa en la carne de cerdo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 1*(3), 269–275.

Maza, S., Solari, A., & Albrecht-Ruiz, M. (2008). Reducción de la intensidad del sabor ácido amargo de la pota mediante lavados con soluciones ácidas y neutralizantes. *Boletín de Investigación del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú, 8*, 23–29.

Méndez-Ancca, S., Zapata Rojas, J. C., Palacios Alvarado, Á. T., Ruiz Choque, M., Vera Zúñiga, M. A., Quispe Pacho, M. A., & Soto Gonzales, H. H. (2023). Evaluación de formulaciones de pulpa de bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*) y algas marinas rojas (*Chondracanthus chamissoi*) en la elaboración de hamburguesas nutritivas. *Trends in Agricultural and Environmental Sciences*, e230003. https://doi.org/10.46420/taes.e230003

Meneses Quelal, O., & Burbano Pulles, M. (2025). Nutritional, functional and microbiological potential of Andean *Lupinus mutabilis* and *Amaranthus* spp. in the development of healthy foods: A review. *Foods, 14*(12), 2059. https://doi.org/10.3390/foods14122059

Mercês, Z. da C. das, Salvadori, N. M., Evangelista, S. M., Cochlar, T. B., Rios, A. de O., & Oliveira, V. R. de. (2024). Hybrid and plant-based burgers: Trends, challenges, and physicochemical and sensory qualities. *Foods, 13*(23), 3855. https://doi.org/10.3390/foods13233855

Ministerio de la Producción. (2026). *Resolución Ministerial que modifica el Límite Máximo de Captura Total Permisible del recurso calamar gigante o pota para el periodo enero a diciembre 2026*. El Peruano. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2531917-1

Ministerio de Salud. (2008). *Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (NTS N.° 071-MINSA/DIGESA-V.01)*. Aprobada por Resolución Ministerial N.° 591-2008/MINSA.

Nigmatullin, Ch. M., Nesis, K. N., & Arkhipkin, A. I. (2001). A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fisheries Research, 54*(1), 9–19. https://doi.org/10.1016/S0165-7836(01)00371-X

Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., Paliwal, J., & Aluko, R. E. (2024). Impact of particle size on the physicochemical, functional, and in vitro digestibility properties of fava bean flour and bread. *Foods, 13*(18), 2862. https://doi.org/10.3390/foods13182862

Pachekrepapol, U., Thangrattana, M., & Kitikangsadan, A. (2022). Impact of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on chemical, physical, microbiological and sensory characteristics of fish burger prepared from salmon and striped catfish filleting by-product. *International Journal of Gastronomy and Food Science, 30*, 100598. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100598

Pantaleón Santa María, A. L., Montes Ninaquispe, J. C., Portilla Capuñay, L. M., Morales Salazar, P. O., Azañero Díaz, R., & Montes Tocto, R. I. (2024). Dinámica de la producción y

exportación de quinua (*Chenopodium quinoa*) en Perú. *ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 8*(22), 84–94.

Pantoja-Tirado, L., Prieto-Rosales, G., & Aguirre Vargas, E. (2020). Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para su industrialización. *Revista de Investigación Científica Tayacaja, 3*(1), 76–83. https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.72

Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) greens: A review. *Nutrients, 14*(3), 558. https://doi.org/10.3390/nu14030558

Presenza, L., Fabrício, L. F. F., Galvão, J. A., & Vieira, T. M. F. S. (2022). Simplex-centroid mixture design as a tool to evaluate the effect of added flours for optimizing the formulation of native Brazilian freshwater fish burger. *LWT, 156*, 113008. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113008

Quirino, D. F., Palma, M. N. N., Franco, M. O., & Detmann, E. (2023). Variations in methods for quantification of crude ash in animal feeds. *Journal of AOAC INTERNATIONAL, 106*(1), 6–13. https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsac100

Rosas-Quina, Y. E. (2020). Efecto del tamaño de partícula en la extracción de alcaloides del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) por método convencional. *Peruvian Journal of Agronomy, 2*(1). https://doi.org/10.51431/par.v2i1.619

Rosas-Romero, Z. G., Ramirez-Suarez, J. C., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M. E., Carvallo-Ruiz, G., & García-Sánchez, G. (2010). Partial characterization of an effluent produced by cooking of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle. *Bioresource Technology, 101*(2), 600–605. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.074

Scheffé, H. (1958). Experiments with mixtures. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 20*(2), 344–360.

Scheffé, H. (1963). The simplex-centroid design for experiments with mixtures. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 25*(2), 235–251. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1963.tb00506.x

Siche, R., Aredo, V., Velásquez, L., & Castillo, I. (2016). El diseño simplex-centroide y la función de deseabilidad en la optimización de la aceptabilidad sensorial de pan dulce enriquecido con *Chenopodium quinoa*. *Enfoque UTE, 7*(3), 70–81. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.106

Silva, I. L. L. da, Coutinho, J. dos S., Goes, E. S. dos R., & Tobal, T. M. (2023). Development of fish hamburger with reduced sodium content using sweet passion fruit shell flour. *Food Science and Technology, 43*, e00095522. https://doi.org/10.5327/fst.0095522

Solari-Godiño, A., Córdova-Ramos, J. S., Pilco-Quesada, S., Cerrón-Mallqui, L. M., Albrecht-Ruiz, M., & Sánchez Hernández, J. (2017). Proximal composition and functional properties of lyophilizated surimi of *Dosidicus gigas* "jumbo squid". *Scientia Agropecuaria, 8*(1), 57–62. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.01.06

Solinho, J., Gonçalves, S., Machado, S., Pereira-Pinto, R., Vázquez, M., & Pinheiro, R. (2025). Development of nutritionally enhanced fish burgers: Integrating Atlantic bonito (*Sarda sarda*) with seaweed and hydrocolloids for sustainable food innovation. *LWT, 215*, 117247. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117247

Squeo, G., De Angelis, D., Leardi, R., Summo, C., & Caponio, F. (2021). Background, applications and issues of the experimental designs for mixture in the food sector. *Foods, 10*(5), 1128. https://doi.org/10.3390/foods10051128

Valderrama Ll., D. C., Palacios Carrasco, J. C., & Chasquibol Silva, N. A. (2025). Desarrollo de una hamburguesa plant-based con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*), frejol negro (*Phaseolus vulgaris*) y harina de cushuro (*Nostoc sphaericum* sp.). *Revista de la Sociedad Química del Perú, 91*(1), 20–30. https://doi.org/10.37761/rsqp.v91i1.496

Valencia-Pérez, A. Z., García-Morales, M. H., Cárdenas-López, J. L., Herrera-Urbina, J. R., Rouzaud-Sández, O., & Ezquerra-Brauer, J. M. (2008). Effect of thermal process on

connective tissue from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle. *Food Chemistry, 107*(4), 1371–1378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.060

Wichchukit, S., & O'Mahony, M. (2015). The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: Some reappraisals and alternatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 95*(11), 2167–2178. https://doi.org/10.1002/jsfa.6993

Wiles, P. G., Gray, I. K., & Kissling, R. C. (1998). Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: Review and interlaboratory study using dairy products. *Journal of AOAC INTERNATIONAL, 81*(3), 620–632. https://doi.org/10.1093/jaoac/81.3.620

Zamora, I., & Barboza, Y. (2020). Consumo de alimentos funcionales por estudiantes universitarios ecuatorianos. *Anales Venezolanos de Nutrición, 33*(1), 14–23.

.

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Datos originales de la caracterización proximal de las materias primas

Materia prima	Determinación	Rep.	Recipiente vacío (g)	Muestra (g)	Recipiente + residuo (g)	Resultado (g/100 g)
Carne de pota precocida	Humedad	R1	42,15	5,05	43,65	70,30
		R2	45,82	5,00	47,31	70,20
		R3	41,34	5,00	42,82	70,40
Harina de tarwi desamargado		R1	40,67	4,90	45,41	3,27
		R2	44,12	4,91	48,87	3,26
		R3	46,25	4,88	50,97	3,28
Harina de quinua		R1	43,50	5,01	48,18	6,59
		R2	41,88	5,02	46,57	6,57
		R3	45,03	4,99	49,69	6,61
Carne de pota precocida	Grasa	R1	46,1245	5,0214	46,1973	1,45
		R2	51,8412	4,9985	51,9122	1,42
		R3	48,3521	5,0612	48,4270	1,48
Harina de tarwi desamargado		R1	47,6512	5,0312	48,5281	17,43
		R2	50,4128	4,9812	51,2795	17,40
		R3	48,9102	5,0684	49,7951	17,46
Harina de quinua		R1	45,3210	5,0124	45,6237	6,04
		R2	49,7841	4,9852	50,0842	6,02
		R3	52,1098	5,0741	52,4173	6,06
Carne de pota precocida	Cenizas	R1	45,3124	3,0215	45,3639	1,70
		R2	48,7451	2,9984	48,7972	1,74
		R3	50,1287	3,0542	50,1816	1,73
Harina de tarwi desamargado		R1	45,9142	3,0412	46,0003	2,83
		R2	48,1158	2,9915	48,2002	2,82
		R3	50,8421	3,0720	50,9293	2,84
Harina de quinua		R1	46,8512	3,0124	46,9268	2,51
		R2	49,3204	2,9845	49,3947	2,49

Materia prima	Determinación	Rep.	Recipiente vacío (g)	Muestra (g)	Recipiente + residuo (g)	Resultado (g/100 g)
		R3	47,1095	3,0812	47,1875	2,53

Anexo 2

Reporte del analizador de nitrógeno por combustión

Muestra	Rep.	Masa (g)	Área de N	N (g/100 g)	Proteína (g/100 g)
Carne de pota precocida	R1	0,1016	201,95	2,858	17,863
	R2	0,1018	201,43	2,845	17,781
	R3	0,1015	202,68	2,871	17,944
Harina de tarwi desamargado	R1	0,1017	594,65	8,336	52,100
	R2	0,1018	585,49	8,201	51,256
	R3	0,1017	592,37	8,304	51,902
Harina de quinua	R1	0,1015	130,13	1,905	11,906
	R2	0,1017	133,06	1,942	12,136
	R3	0,1016	129,61	1,896	11,849

Nota. Salida del analizador elemental por combustión. La carne de pota precocida se analizó sobre la muestra precocida tal cual y las dos harinas con el método denominado "Harinas general". La proteína se obtuvo multiplicando el nitrógeno por el factor 6,25 y se expresa sobre la muestra tal cual. Además del nitrógeno, el equipo registró las áreas y los porcentajes de dióxido de carbono y de agua de cada combustión, que no se reproducen por no intervenir en el cálculo. Las medias resultantes son 17,86 ± 0,08 g por 100 g en la carne de pota precocida, 51,75 ± 0,44 en la harina de tarwi desamargado y 11,96 ± 0,15 en la harina de quinua, valores que figuran en las tablas de composición proximal del capítulo IV. Elaboración propia a partir del reporte del equipo.

Anexo 3

Balances de materia de las líneas de acondicionamiento

Línea	Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Variación (kg)	Rendimiento de etapa (%)	Rendimiento acumulado (%)
Harina de tarwi desamargado	Recepción	10,000	10,000	0,000	100,00	100,00
	Selección y limpieza	10,000	9,000	−1,000	90,00	90,00
	Hidratación y remojo	9,000	15,550	+6,550	172,78	155,50
	Cocción	15,550	16,950	+1,400	109,00	169,50
	Desamargado	16,950	15,800	−1,150	93,22	158,00
	Escurrido final	15,800	15,300	−0,500	96,84	153,00
	Secado	15,300	4,200	−11,100	27,45	42,00
	Molienda	4,200	3,978	−0,222	94,71	39,78
	Tamizado a 250 µm	3,978	3,087	−0,891	77,60	30,87
Harina de quinua	Recepción	10,000	10,000	0,000	100,00	100,00
	Lavado y desaponificado	10,000	16,125	+6,125	161,25	161,25
	Secado	16,125	7,550	−8,575	46,82	75,50
	Molienda	7,550	6,300	−1,250	83,44	63,00
	Tamizado a 250 µm	6,300	2,175	−4,125	34,52	21,75
Carne de pota precocida	Recepción	31,850	31,850	0,000	100,00	100,00
	Selección y lavado	31,850	31,850	0,000	100,00	100,00
	Eviscerado y limpieza	31,850	27,900	−3,950	87,60	87,60
	Troceado	27,900	27,900	0,000	100,00	87,60
	Precocción y escurrido	27,900	17,499	−10,401	62,72	54,94

Nota. Cada línea se procesó en un lote único, por lo que los valores tienen carácter descriptivo. La variación expresa la diferencia entre la salida y la entrada de cada operación; los valores positivos de la hidratación, la cocción y el lavado corresponden a la incorporación de agua y no a ganancia de sólidos. El rendimiento de etapa es la masa de salida respecto de la masa de entrada de la operación y el acumulado, la masa de salida respecto de la materia prima recibida, es decir 10,000 kg de grano en las dos harinas y 31,850 kg de pota entera sin limpiar. En el tamizado, el retenido sobre malla fue de 0,891 kg en el tarwi y de 4,100 kg en la quinua; en esta última, la suma de la harina y el retenido deja 0,025 kg sin contabilizar, atribuibles al material adherido a las mallas. En la pota, la precocción a 90 °C durante 35 minutos y el escurrido durante 10 minutos se registraron como una sola operación, dado que la masa se pesó al finalizar el escurrido, y la masa de pota precocida fue de 17,4988 kg, consignada aquí redondeada a tres decimales. Elaboración propia.

Anexo 4

Balance de materia de la elaboración de las hamburguesas

Unidad	Formulación	Pota (g)	Tarwi (g)	Quinua (g)	Fracción fija (g)	Mezcla (g)	Hamburguesas (n)	Remanente (g)
T1	T1	1690,4	99,4	198,9	298,3	2287	22	87
T2	T2	1690,4	198,9	99,4	298,3	2287	22	87
T3	T3	1690,4	211,3	211,3	317,0	2430	24	30
T4	T4	1690,4	149,2	149,2	298,3	2287	22	87
T5	T5	1690,9	205,0	153,7	307,4	2357	23	57
T6	T6	1690,9	153,7	205,0	307,4	2357	23	57
T7.1	T7	1690,5	169,0	169,0	304,3	2333	23	33
T7.2	T7	1690,5	169,0	169,0	304,3	2333	23	33
T7.3	T7	1690,5	169,0	169,0	304,3	2333	23	33
Total		15214,9	1524,5	1524,5	2739,6	21004	205	504

Nota. La masa de mezcla y el número de hamburguesas son los registrados en cada lote; las masas de los cuatro componentes se obtuvieron a partir de la masa de mezcla y de la formulación correspondiente, dado que la mezcla se preparó sobre una base de 115 g, de los cuales 100 g corresponden a la fracción variable y 15 g a la fracción fija. Cada hamburguesa se moldeó con 100 g de mezcla y el remanente es la masa que no completaba una unidad en cada lote. La masa de

carne de pota precocida se mantuvo prácticamente constante entre unidades, entre 1690,4 y 1690,9 g, de modo que las diferencias en la masa total de mezcla responden a la distinta proporción de pota de cada formulación. Las unidades T7.1, T7.2 y T7.3 corresponden a lotes independientes de la formulación del centroide. Los totales son la suma de los valores de cada columna, de modo que difieren en 0,5 g de la masa de mezcla por efecto del redondeo a un decimal.

Anexo 5

Registro fotográfico del proceso

Registro fotográfico del proceso



a. Grano de tarwi recibido



b. Desamargado del tarwi



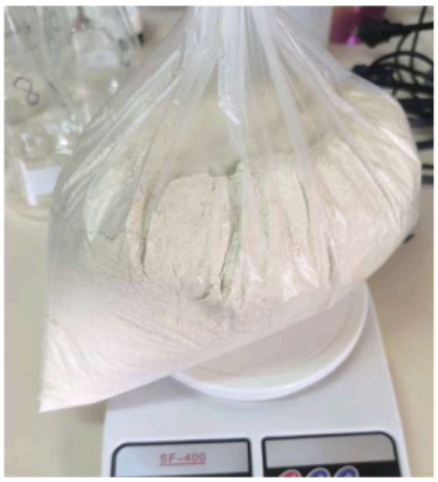
c. Harina de tarwi



d. Lavado de la quinua



e. Secado de la quinua



f. Harina de quinua



g. Pota entera referencial



h. Pre cocción de la pota



i. Carne de pota precocida



j. Molienda de la carne



k. Moldeado de las unidades

Anexo 6

Aporte proteico de cada componente, en gramos por unidad de 115 g

Trat.	Pota (g)	Pota	Tarwi	Quinua	Fija	Total	P (g/100 g)
T1	85,00	15,181	2,587	1,196	3,234	22,199	19,30
T2	85,00	15,181	5,175	0,598	3,234	24,188	21,03
T3	80,00	14,288	5,175	1,196	3,234	23,893	20,78
T4	85,00	15,181	3,881	0,897	3,234	23,193	20,17
T5	82,50	14,735	5,175	0,897	3,234	24,041	20,90
T6	82,50	14,735	3,881	1,196	3,234	23,046	20,04
T7	83,33	14,883	4,311	0,996	3,234	23,424	20,37

Nota. Las columnas Pota, Tarwi, Quinua y Fija expresan los gramos de proteína aportados por cada componente. La fracción fija aporta una cantidad constante, procedente de 3,00 g de albúmina y 6,00 g de pan rallado; los 6,00 g de condimentos se consideraron sin aporte proteico. La última columna expresa el total referido a 100 g de formulación.

Anexo 7

Hamburguesa cruda

Unidad	Rep.	Crisol	Muestra	Crisol + húmeda	Crisol + seca	Humedad
T1	R1	47,28	5,02	52,3	49,63	53,19
T1	R2	48,87	5,09	53,96	51,19	54,42
T1	R3	50,14	5,11	55,25	52,47	54,40
T2	R1	47,63	5,0	52,63	49,96	53,40
T2	R2	49,22	5,02	54,24	51,55	53,59
T2	R3	50,84	5,01	55,85	53,17	53,49
T3	R1	48,15	5,04	53,19	50,62	50,99
T3	R2	49,68	5,12	54,8	52,2	50,78
T3	R3	47,42	5,11	52,53	49,93	50,88
T4	R1	48,56	5,01	53,57	50,89	53,49
T4	R2	50,34	5,01	55,35	52,67	53,49
T4	R3	47,91	5,03	52,94	50,24	53,68
T5	R1	49,17	5,08	54,25	51,57	52,76
T5	R2	47,83	5,05	52,88	50,23	52,48
T5	R3	50,62	5,04	55,66	53,03	52,18
T6	R1	48,24	5,02	53,26	50,64	52,19
T6	R2	49,51	5,03	54,54	51,91	52,29
T6	R3	50,76	5,02	55,78	53,16	52,19
T7.1	R1	47,18	5,01	52,19	49,56	52,49
T7.1	R2	48,92	5,04	53,96	51,3	52,78
T7.1	R3	50,43	5,02	55,45	52,8	52,79
T7.2	R1	47,74	5,08	52,82	50,15	52,56
T7.2	R2	49,38	5,08	54,46	51,78	52,76
T7.2	R3	50,91	5,08	55,99	53,3	52,95
T7.3	R1	48,71	5,01	53,72	51,06	53,09
T7.3	R2	47,49	5,06	52,55	49,91	52,17
T7.3	R3	49,81	5,03	54,84	52,19	52,68

Nota. La humedad se calculó como la diferencia entre las masas del crisol con muestra húmeda y con muestra seca, referida a la masa de muestra.

Anexo 8

Hamburguesa cocida

Unidad	Rep.	Crisol	Muestra	Crisol + húmeda	Crisol + seca	Humedad
T1	R1	49,55	5,09	54,64	52,35	44,99
T1	R2	47,98	5,01	52,99	50,79	43,91
T1	R3	49,7	5,08	54,78	52,55	43,90
T2	R1	49,36	5,0	54,36	52,17	43,80
T2	R2	47,88	5,05	52,93	50,73	43,56
T2	R3	49,24	5,06	54,3	52,08	43,87
T3	R1	48,68	5,04	53,72	51,71	39,88
T3	R2	50,24	5,01	55,25	53,23	40,32
T3	R3	49,79	5,04	54,83	52,81	40,08
T4	R1	47,89	5,07	52,96	50,76	43,39
T4	R2	47,38	5,01	52,39	50,23	43,11
T4	R3	49,41	5,08	54,49	52,29	43,31
T5	R1	49,14	5,09	54,23	52,06	42,63
T5	R2	47,32	5,03	52,35	50,21	42,54
T5	R3	50,53	5,03	55,56	53,43	42,35
T6	R1	49,81	5,02	54,83	52,73	41,83
T6	R2	50,09	5,09	55,18	53,06	41,65
T6	R3	50,46	5,04	55,5	53,39	41,87
T7.1	R1	49,54	5,03	54,57	52,41	42,94
T7.1	R2	48,42	5,06	53,48	51,32	42,69
T7.1	R3	49,43	5,02	54,45	52,3	42,83
T7.2	R1	47,66	5,03	52,69	50,53	42,94
T7.2	R2	47,88	5,03	52,91	50,79	42,15
T7.2	R3	47,92	5,01	52,93	50,78	42,91
T7.3	R1	48,61	5,01	53,62	51,47	42,91

Unidad	Rep.	Crisol	Muestra	Crisol + húmeda	Crisol + seca	Humedad
T7.3	R2	50,5	5,03	55,53	53,37	42,94
T7.3	R3	48,58	5,08	53,66	51,49	42,72

Nota. La humedad se calculó como la diferencia entre las masas del crisol con muestra húmeda y con muestra seca, referida a la masa de muestra.

Anexo 9

Lecturas de pH de las nueve unidades experimentales

Unidad	Repetición	pH
T1	R1	6,29
T1	R2	6,21
T1	R3	6,31
T2	R1	6,19
T2	R2	6,27
T2	R3	6,08
T3	R1	6,26
T3	R2	6,2
T3	R3	6,14
T4	R1	6,2
T4	R2	6,12
T4	R3	6,32
T5	R1	6,15
T5	R2	6,12
T5	R3	6,27
T6	R1	6,33
T6	R2	6,28
T6	R3	6,15
T7.1	R1	6,18
T7.1	R2	6,2
T7.1	R3	6,25

Unidad	Repetición	pH
T7.2	R1	6,21
T7.2	R2	6,11
T7.2	R3	6,14
T7.3	R1	6,15
T7.3	R2	6,23
T7.3	R3	6,21

Nota. Cada unidad experimental corresponde a un lote de elaboración independiente. Las unidades T7.1, T7.2 y T7.3 son los tres lotes del centroide del diseño.

Anexo 10

Determinaciones de color

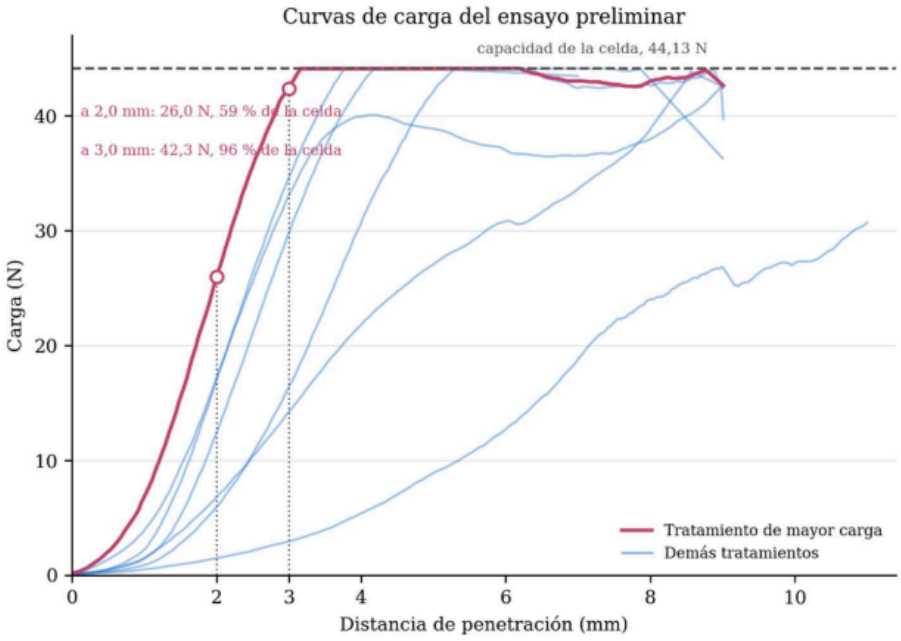
Unidad	Cara	Punto	L* H1	a* H1	b* H1	L* H2	a* H2	b* H2
T1	A	1	28,88	8,40	15,20	27,08	7,69	13,69
	A	2	29,18	8,57	16,41	31,29	7,74	14,71
	A	3	25,93	9,81	18,09	24,67	18,81	15,88
	B	1	28,01	8,08	13,59	33,09	9,70	19,61
	B	2	31,82	8,64	19,16	22,94	7,66	11,99
	B	3	29,14	9,83	21,01	25,04	9,71	17,41
T2	A	1	32,08	11,37	18,63	33,72	12,59	21,84
	A	2	30,87	14,80	19,03	33,68	15,26	19,62
	A	3	27,55	14,28	19,18	28,20	15,24	19,62
	B	1	36,10	12,84	21,61	32,83	11,84	18,20
	B	2	25,66	12,18	15,23	28,05	12,24	13,99
	B	3	24,65	12,58	17,12	27,83	14,00	21,36
T3	A	1	30,75	12,62	19,81	32,69	14,38	20,27
	A	2	29,72	10,34	20,03	29,27	9,35	17,83
	A	3	24,28	11,32	16,56	30,00	12,92	22,75
	B	1	24,84	10,01	16,18	27,87	12,41	19,41
	B	2	26,80	10,58	18,09	24,00	8,60	12,80
	B	3	30,99	13,43	24,77	28,15	13,23	20,76
T4	A	1	26,11	10,03	33,63	33,29	9,84	24,72
	A	2	19,56	7,01	9,75	23,12	6,71	12,16
	A	3	32,85	9,65	26,37	33,33	9,78	27,14
	B	1	29,77	9,63	19,35	30,35	10,11	18,85
	B	2	34,34	9,24	26,12	33,62	9,69	27,35
	B	3	34,14	10,55	27,69	33,04	10,17	26,13
T5	A	1	35,84	11,21	22,13	38,31	13,14	25,06
	A	2	31,77	3,42	19,90	36,34	13,11	22,26
	A	3	33,72	14,19	25,80	33,57	14,12	24,71
	B	1	31,88	11,56	19,38	32,93	10,41	22,41
	B	2	35,31	11,83	22,70	36,05	14,38	22,17

Unidad	Cara	Punto	L* H1	a* H1	b* H1	L* H2	a* H2	b* H2
	B	3	32,43	9,67	21,01	32,33	14,21	25,17
T6	A	1	31,27	12,27	23,32	33,36	14,01	24,00
	A	2	32,26	13,34	22,85	30,88	11,63	22,06
	A	3	31,81	13,08	22,58	28,58	10,28	17,87
	B	1	30,74	11,10	19,63	27,60	13,02	21,03
	B	2	33,01	9,84	22,26	28,79	11,94	19,62
	B	3	23,17	17,91	17,70	28,69	11,77	21,04
T7.1	A	1	28,40	27,21	15,04	31,09	9,92	19,77
	A	2	27,65	6,59	11,59	31,31	9,18	18,97
	A	3	28,70	6,94	11,90	33,10	9,12	18,59
	B	1	27,31	8,14	15,70	31,61	10,12	17,57
	B	2	34,90	10,12	18,96	35,04	10,39	18,89
	B	3	34,61	9,64	20,57	28,63	9,16	16,61
T7.2	A	1	30,27	7,80	14,66	32,17	9,11	19,33
	A	2	26,71	7,22	15,27	35,43	8,92	19,88
	A	3	33,31	17,93	18,22	32,22	7,64	18,35
	B	1	35,35	8,90	18,56	29,36	7,63	15,83
	B	2	34,11	8,95	19,81	29,84	7,15	16,22
	B	3	33,99	9,60	20,04	27,94	6,34	10,86
T7.3	A	1	35,10	8,64	18,62	26,17	5,61	8,28
	A	2	33,43	8,88	17,88	31,27	6,39	11,43
	A	3	28,24	9,05	16,93	28,36	7,65	13,99
	B	1	21,66	7,65	14,13	32,21	7,07	15,41
	B	2	23,75	8,41	13,56	29,41	8,59	17,34
	B	3	30,04	9,41	18,02	29,11	8,17	16,95

Nota. Lecturas en el espacio CIELAB con iluminante D65 y observador de 2 grados, sobre las hamburguesas cocidas. En cada unidad experimental se evaluaron dos piezas, identificadas como H1 y H2, midiendo tres puntos en cada una de sus dos caras, identificadas como A y B. Cada fila reúne las dos piezas de un mismo punto, de modo que las 54 filas contienen las 108 lecturas. Las unidades T7.1, T7.2 y T7.3 son los tres lotes del centroide del diseño. Elaboración propia.

Anexo 11

Curvas de carga del ensayo preliminar de penetración



Nota. Curvas del ensayo preliminar realizado sobre una unidad por tratamiento, en el que se ensayaron profundidades de 11 mm en T1, 9 mm en T2 a T6 y 7 mm en T7. El tramo horizontal sobre la línea discontinua corresponde al recorte de la señal en el fondo de escala de la celda de carga, de 44,13 N, que alcanzaron cinco de los siete ensayos; únicamente T1 y T4 completaron el recorrido sin llegar a él. La lectura de estas curvas a distintas profundidades fue lo que fijó la profundidad definitiva: a 2,0 mm la mayor carga entre los siete tratamientos alcanzaba el 59 % de la capacidad de la celda y a 3,0 mm el 96 %, de modo que solo la primera mantiene la medición dentro del intervalo calibrado con margen suficiente. Por el recorte de la señal, estas curvas no admiten comparación entre tratamientos y se presentan únicamente como fundamento de la profundidad adoptada. Elaboración propia a partir de los datos exportados por el equipo.

Anexo 12

Masas antes y después de la cocción de las 27 piezas

Unidad	Rep.	Masa cruda	Masa cocida	Rendimiento (%)
T1	R1	115,01	89,51	77,83
T1	R2	115,11	90,17	78,33
T1	R3	115,02	90,79	78,93
T2	R1	115,06	91,13	79,20
T2	R2	115,05	90,72	78,85
T2	R3	115,04	91,05	79,15
T3	R1	115,03	89,87	78,13
T3	R2	115,07	90,68	78,80
T3	R3	115,05	89,98	78,21
T4	R1	115,02	89,66	77,95
T4	R2	115,06	89,57	77,85
T4	R3	115,07	89,51	77,79
T5	R1	115,03	90,11	78,34
T5	R2	115,07	90,84	78,94
T5	R3	115,07	91,72	79,71
T6	R1	115,04	90,59	78,75
T6	R2	115,01	89,88	78,15
T6	R3	115,09	89,75	77,98
T7.1	R1	115,03	91,15	79,24
T7.1	R2	115,08	90,89	78,98
T7.1	R3	115,01	91,29	79,38

Unidad	Rep.	Masa cruda	Masa cocida	Rendimiento (%)
T7.2	R1	115,06	91,08	79,16
T7.2	R2	115,07	90,51	78,66
T7.2	R3	115,05	91,53	79,56
T7.3	R1	115,06	91,31	79,36
T7.3	R2	115,01	91,18	79,28
T7.3	R3	115,01	90,71	78,87

Nota. El rendimiento se calculó como el cociente entre la masa cocida y la masa cruda efectivamente pesada en cada pieza.

Anexo 13

Cartilla análisis sensorial

Muestra	Atributo	9	8	7	6	5	4	3	2	1
T1	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T2	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T3	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T4	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T5	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T6	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T7.1	Color	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Olor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Sabor	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Textura	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Aceptación general	□	□	□	□	□	□	□	□	□

a. Cartilla entregada a los panelistas

Nota. a, instrumento aplicado a los 82 panelistas. Cada panelista evaluó las nueve unidades experimentales en cinco atributos, color, olor, sabor, textura y aceptación general, sobre una escala hedónica de nueve puntos anclada en 1, "me disgusta muchísimo", y 9, "me gusta muchísimo", marcando una sola opción por atributo. La cartilla recoge además el número de panelista, la edad y el sexo, e incluye un espacio para observaciones. Las 45 combinaciones de unidad y atributo de cada cartilla, multiplicadas por los 82 panelistas, generaron las 738 observaciones por atributo que se analizan en el capítulo IV.

Anexo 14

Base de datos de la evaluación sensorial

Pan.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	Pan.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3
P01	7	7	6	7	8	7	8	7	8	P42	8	5	7	6	9	8	7	7	7
P02	6	7	7	7	8	7	7	8	7	P43	7	7	7	6	6	8	7	8	7
P03	7	8	7	7	6	6	6	8	7	P44	7	5	5	6	6	6	8	6	7
P04	8	8	8	8	8	7	8	8	8	P45	8	4	8	7	6	8	7	7	7
P05	8	8	8	8	8	8	7	7	7	P46	6	6	5	7	4	8	6	6	8
P06	8	7	7	7	8	7	7	7	8	P47	8	6	8	7	8	8	7	7	8
P07	9	8	8	8	6	6	7	8	7	P48	6	4	6	9	7	8	8	7	8
P08	7	7	6	8	8	9	7	8	7	P49	6	7	6	7	8	7	8	7	7
P09	6	5	7	7	7	7	7	7	8	P50	7	7	8	6	5	7	7	8	8
P10	7	7	7	7	6	6	6	7	7	P51	7	8	7	5	6	6	6	6	5
P11	6	6	6	7	7	6	8	7	8	P52	7	6	6	6	7	8	7	7	8
P12	7	8	8	8	6	8	8	7	6	P53	7	9	7	8	9	6	6	6	6
P13	8	6	5	4	4	6	5	6	6	P54	6	7	8	6	7	7	8	7	8
P14	7	3	6	6	7	7	6	6	7	P55	5	7	6	9	8	6	7	6	7
P15	8	8	8	8	7	8	8	7	7	P56	7	6	7	9	6	8	7	7	7
P16	7	5	6	6	6	7	7	6	7	P57	8	6	7	7	5	6	9	6	8
P17	7	7	7	7	6	6	8	7	7	P58	7	8	7	7	9	6	7	6	8
P18	6	8	6	6	8	7	8	7	7	P59	7	5	9	8	7	9	7	8	7
P19	6	4	6	6	6	7	6	7	7	P60	7	7	9	5	8	6	8	8	8
P20	7	6	8	5	7	5	7	7	6	P61	7	8	6	7	6	6	7	7	8
P21	9	7	6	8	7	8	7	7	7	P62	7	6	7	6	8	6	7	8	8
P22	7	9	6	8	7	6	7	7	7	P63	7	5	7	7	5	7	9	7	7
P23	9	6	8	7	5	9	6	7	7	P64	7	6	8	7	6	8	8	7	7
P24	7	6	9	9	8	8	7	7	7	P65	9	6	7	7	8	6	7	7	8
P25	5	9	4	7	8	7	8	8	9	P66	8	4	7	6	6	8	7	6	6
P26	9	6	6	6	9	6	6	6	9	P67	8	8	6	8	5	7	7	7	8
P27	7	7	7	8	9	7	8	7	7	P68	7	5	4	7	7	5	7	7	6
P28	7	5	7	7	6	8	7	8	7	P69	8	8	8	9	7	7	8	7	7
P29	8	6	9	6	6	7	7	8	8	P70	9	7	7	7	9	8	8	7	6

Pan.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	Pan.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3
P30	6	7	7	7	7	6	7	7	6	P71	7	6	7	7	5	7	7	7	6
P31	8	5	7	6	9	8	8	8	8	P72	8	7	6	8	7	6	7	5	8
P32	8	8	6	6	7	7	8	7	7	P73	8	6	5	7	6	7	6	7	8
P33	8	8	5	8	6	8	7	7	7	P74	7	7	7	8	8	7	7	5	7
P34	7	7	8	6	5	9	7	7	7	P75	7	7	7	5	7	5	8	7	7
P35	6	7	7	7	8	8	8	7	7	P76	7	6	7	7	9	9	8	9	8
P36	7	9	7	6	9	7	6	7	7	P77	8	6	7	7	6	6	8	8	7
P37	8	5	7	5	6	7	7	7	6	P78	9	7	6	8	7	6	7	6	8
P38	8	9	6	6	6	7	8	6	7	P79	7	6	7	6	5	8	7	6	8
P39	8	6	7	7	8	7	7	8	8	P80	8	6	5	7	7	8	6	7	7
P40	6	7	7	6	5	7	8	7	6	P81	8	6	7	6	5	8	7	8	8
P41	6	9	5	6	6	6	6	8	6	P82	8	7	7	7	7	7	8	6	7

Nota. Calificaciones de aceptación general otorgadas por los 82 panelistas a las nueve unidades experimentales, en escala hedónica de nueve puntos donde 1 corresponde a "me disgusta muchísimo" y 9 a "me gusta muchísimo". La tabla se dispone en dos bloques: el de la izquierda recoge los panelistas P01 a P41 y el de la derecha, los panelistas P42 a P82, de modo que contiene las 738 observaciones del atributo. Las columnas L1, L2 y L3 corresponden a las unidades T7.1, T7.2 y T7.3, los tres lotes independientes del centroide. Las medias resultantes son 7,27 en T1; 6,60 en T2; 6,78 en T3; 6,88 en T4; 6,84 en T5; 7,05 en T6; y 7,18; 7,00 y 7,21 en los tres lotes del centroide. Los cuatro atributos restantes, color, olor, sabor y textura, se registraron con esta misma estructura y comprenden igualmente 738 observaciones cada uno; se reproduce aquí la aceptación general por ser la variable empleada en la optimización de la formulación. Elaboración propia.

TESIS - RUFINO (terminada).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	14%	7%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	digitum.um.es Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de Moquegua Trabajo del estudiante	<1%
8	fst.emnuvens.com.br Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1%
13	repository.i3l.ac.id Fuente de Internet	<1%
14	www.mag.go.cr Fuente de Internet	<1%
15	fcai.uncuyo.edu.ar Fuente de Internet	<1%

16	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	1library.co Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
23	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
24	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	webmail.thescipub.com Fuente de Internet	<1 %
32	www.teses.usp.br Fuente de Internet	<1 %

33	www.atenaeditora.com.br Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad del Valle de Guatemala Trabajo del estudiante	<1 %
35	Atacy Maciel de Melo Cavalcante, Anely Maciel de Melo, Francisco Lucas Chaves Almeida, Natasha Carolina Melo Diniz et al. " Study of mesquite grain flour (Sw. DC) in hamburger storage ", Journal of Food Processing and Preservation, 2022 Publicación	<1 %
36	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	Jessy Victoria Bustinza Hilari, Frank Esteban Cuba Mayo, Enzo Aldoradin Puza. "Effect of sterilization on the physicochemical and sensory characteristics of “cau cau” (Peruvian creole food) of giant squid (Dosidicus gigas) in flexible pouches", Brazilian Journal of Food Technology, 2025 Publicación	<1 %
38	datos.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1 %
41	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	dogadergi.ksu.edu.tr Fuente de Internet	<1 %
43	erepository.uoeld.ac.ke Fuente de Internet	<1 %
44	www.ecorfan.org Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to Institución Universitaria Digital de Antioquia Trabajo del estudiante	<1 %
46	Isabelle de Lima Brito, Laís Chantelle, Marciane Magnani, Angela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro. " Nutritional, therapeutic and technological perspectives of Quinoa (Willd.): A review ", Journal of Food Processing and Preservation, 2022 Publicación	<1 %
47	www.biorxiv.org Fuente de Internet	<1 %

48	atr.vsu.edu.ph Fuente de Internet	<1 %
49	www.myfoodresearch.com Fuente de Internet	<1 %
50	buleria.unileon.es Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to espam Trabajo del estudiante	<1 %
52	research.ucc.ie Fuente de Internet	<1 %
53	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
54	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	www.dykinson.com Fuente de Internet	<1 %
56	pdfslide.net Fuente de Internet	<1 %
57	agrifoodscience.com Fuente de Internet	<1 %
58	e-journals2.unmul.ac.id Fuente de Internet	<1 %
59	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
60	Emmanuel Duah Osei, Anthony Amotoe-Bondzie, Abigail Ataa Pokuah, Wisdom Sambian Laar et al. "Cashew Apple Pomace: Chemical Composition and Applications in Functional Food Product Development—A Review", Food Science & Nutrition, 2025 Publicación	<1 %
61	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	Fan Zhu. "Quinoa-based food product development", Elsevier BV, 2023 Publicación	<1 %
63	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %

64	Castro, I.A.. "Optimization of the antioxidant capacity of a mixture of carotenoids and @a-tocopherol in the development of a nutritional supplement", Food Research International, 200510/11 Publicación	<1 %
65	Submitted to Mondragon Unibertsitatea Trabajo del estudiante	<1 %
66	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
67	Submitted to Universidad Politécnica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
68	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
70	www.inia.org.uy Fuente de Internet	<1 %
71	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
72	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
73	www.worldsofjournalism.org Fuente de Internet	<1 %
74	www.scala-lang.org Fuente de Internet	<1 %
75	C. I. Ochoa-Martínez, A. Ayala-Aponte. "MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA MATHEMATICAL MODELS OF MASS TRANSFER IN OSMOTIC DEHYDRATION MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA", Ciencia y Tecnologia Alimentaria, 2005 Publicación	<1 %
76	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
77	Submitted to ueb Trabajo del estudiante	<1 %
78	www.investigo.biblioteca.uvigo.es Fuente de Internet	<1 %

79	www.tandfonline.com Fuente de Internet	<1 %
80	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
81	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
82	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
83	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
84	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
85	revistas.sqperu.org.pe Fuente de Internet	<1 %
86	Submitted to IUBH - Internationale Hochschule Bad Honnef-Bonn Trabajo del estudiante	<1 %
87	Submitted to Universidad Nacional Agraria la Molina Trabajo del estudiante	<1 %
88	dergipark.org.tr Fuente de Internet	<1 %
89	heartofwellness.org Fuente de Internet	<1 %
90	Grabicoski, José Marcos. "Estratégias de Marketing Para Minimização do Desequilíbrio entre a Demanda e a Capacidade no Setor de Serviço no Brasil.", Pontificia Universidade Catolica do Parana (Brazil) Publicación	<1 %
91	Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y quinoa fermentadas con Pleurotus ostreatus", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
92	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
93	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
94	omeka.unibe.ac.cr Fuente de Internet	<1 %

95	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
96	Submitted to Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López Trabajo del estudiante	<1 %
97	Trujillo-Rodriguez, Maria Jose. "Desarrollo de Metodologias Analiticas de Microextraccion Empleando Novedosos Materiales Basados en Liquidos Ionicos y Sus Derivados", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1 %
98	unmsm-web-static-files.s3.sa-east-1.amazonaws.com Fuente de Internet	<1 %
99	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
100	R.D. Waniska. "Effects of preheating temperature, moisture, and sodium metabisulfite content on quality of noodles prepared from maize flour or meal / Efecto de la temperatura de precalentamiento, humedad y contenido de metabisulfito de sodio en la calidad de fideo", Food Science and Technology International, 01/01/1999 Publicación	<1 %
101	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
102	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
103	repositorio.uide.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
104	Leidy Indira Hinestroza Còrdoba. "Aplicación de tecnologías sostenibles para el desarrollo de alimentos nutritivos y saludables dirigidos a mejorar el estado nutricional de la población del departamento del Chocó (Colombia)", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
105	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
106	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
107	busquedas.elperuano.pe Fuente de Internet	<1 %
108	de.slideshare.net	

	Fuente de Internet	<1 %
109	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
110	revistas.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
111	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
112	Submitted to DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA Trabajo del estudiante	<1 %
113	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
114	bambu.com.ec Fuente de Internet	<1 %
115	noticias.juridicas.com Fuente de Internet	<1 %
116	repositorio.cepal.org Fuente de Internet	<1 %
117	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
118	revistaold.nutricion.org Fuente de Internet	<1 %
119	revistas.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
120	M. J. Larrazábal, I. Escriche, M. M. Camacho. " Cambios de calidad asociados a las condiciones de marinado de salmón ( ) y su evolución durante el almacenamiento Changes in quality associated with the conditions of marinating of salmon ( ) and their evolution during storage ", CyTA - Journal of Food, 2010 Publicación	<1 %
121	produccioncientificaluz.org Fuente de Internet	<1 %
122	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
123	www.cio.mx Fuente de Internet	<1 %
	www.dspace.uce.edu.ec:8080	

124	Fuente de Internet	<1 %
125	Submitted to UPAEP: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla Trabajo del estudiante	<1 %
126	doris.snd.se Fuente de Internet	<1 %
127	roderic.uv.es Fuente de Internet	<1 %
128	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
129	"XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable", XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable, 2019 Publicación	<1 %
130	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %
131	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
132	www.avrupakongresi.org Fuente de Internet	<1 %
133	María Gabriela Albán, Clara Elena Villacrés Poveda, Diego Geovanny Rodriguez Ortega, Galo Mario Caviedes et al. "Memorias de la 17.a Conferencia Internacional del Lupino / Proceedings of the 17th International Lupine Conference", Archivos Académicos USFQ, 2026 Publicación	<1 %
134	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
135	Submitted to Universidad del Sinú Trabajo del estudiante	<1 %
136	revistaalfa.org Fuente de Internet	<1 %
137	www.ipcc-nggip.iges.or.jp Fuente de Internet	<1 %
138	Submitted to Universidad Estatal Amazonica- Trabajo del estudiante	<1 %
139	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	

		<1 %
140	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025 Trabajo del estudiante	<1 %
141	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1 %
142	Submitted to Universitat Oberta de Catalunya Trabajo del estudiante	<1 %
143	bdigital.zamorano.edu Fuente de Internet	<1 %
144	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
145	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
146	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
147	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Biotechnology, 2024 Publicación	<1 %
148	academica-e.unavarra.es Fuente de Internet	<1 %
149	dicyt.uajms.edu.bo Fuente de Internet	<1 %
150	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
151	extranet.who.int Fuente de Internet	<1 %
152	ise.uc3m.es Fuente de Internet	<1 %
153	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
154	pdfs.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %
155	repositorio.uel.br Fuente de Internet	<1 %

156	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
157	www.vaticannews.cn Fuente de Internet	<1 %
158	Gómez, Gonzalo Cifuentes. "¿Cuál es la Contribución de las Universidades en los Resultados de Aprendizaje de Sus Estudiantes?: El Caso de las Carreras de Pedagogía Media en Chile.", Pontificia Universidad Catolica de Chile (Chile) Publicación	<1 %
159	Submitted to Universidad Catolica San Antonio de Murcia Trabajo del estudiante	<1 %
160	Valdivia Barra, Tatiana Paulina. "Efecto del consumo de galletas con base a cultivos andinos sobre indicadores bioquímicos y crecimiento en ratas Wistar recién destetadas Puno 2018", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
161	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
162	etd.adm.unipi.it Fuente de Internet	<1 %
163	rdi.uncoma.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
164	repositorio.uleam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
165	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
166	scielo.isciii.es Fuente de Internet	<1 %
167	www.agraria.pe Fuente de Internet	<1 %
168	www.cedoc.inmujeres.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
169	www.consumaseguridad.com Fuente de Internet	<1 %
170	www.prometalicos.com Fuente de Internet	<1 %
171	www.vliz.be Fuente de Internet	<1 %

172	Castro Guerrero, Yovana. "Perfil de la fluidez del habla en ninos de 5 y 6 anos en instituciones educativas estatales de tres distritos de Lima.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020 Publicación	<1 %
173	Pires, Ricardo Junior Reyes |Orihuela, Jordi Ramirez. "Analisis de La dinamica Productiva Del Tarwi en La Provincia de Huaylas, Bajo El Enfoque de Los Principios de Biocomercio y Los Medios de Vida.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	<1 %
174	Ripoll García, Guillermo. "Valoración sensorial e instrumental de la carne de cabrito lechal", Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (Spain), 2023 Publicación	<1 %
175	Salas Sucaticona, Reynaldo. "Capacidad fitorremediadora de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) mediante incorporación de enmiendas orgánicas a suelos contaminados por mercurio procedente de actividad minera.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
176	Viviana Andrea Velasco-Arango, José Igor Hleap Zapata, Luis Eduardo Ordóñez-Santos. "Effect of carotenoid pigments extracted from papaya epicarp (Carica papaya L.) on the characteristics of Frankfurter sausages", Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2023 Publicación	<1 %
177	dgip.unach.mx Fuente de Internet	<1 %
178	entomologia.rediris.es Fuente de Internet	<1 %
179	memorias.somib.org.mx Fuente de Internet	<1 %
180	orcid.org Fuente de Internet	<1 %
181	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
182	revistas.usfq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
183	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
	www.alanrevista.org	

184	Fuente de Internet	<1 %
185	www.journalssystem.com Fuente de Internet	<1 %
186	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
187	www.scielo.br Fuente de Internet	<1 %
188	www.scipedia.com Fuente de Internet	<1 %
189	www.subpesca.cl Fuente de Internet	<1 %
190	www27.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
191	Arancha María Rizo Párraga. "DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE NUEVOS PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE LA PESCA AHUMADOS", Universitat Politecnica de Valencia, 2017 Publicación	<1 %
192	Benjamín Marco Maldonado Valle, Gloria Cristal Taboada Belmonte, Sandra Patricia Monasterios Yapu. "Evaluación del pan integral elaborado con harina de tarwi (Lupinus mutabilis) en el municipio de Viacha", CIBUM SCIENTIA, 2023 Publicación	<1 %
193	DIAZ MORALES FEDERICO GILBERTO EFRAIN. "PMA para la Implementación de la Unidad de Deshidratación de Líquidos de Gas Natural en la Planta Malvinas-IGA0003199", R.D. N° 023-2010-MEM/AAE, 2022 Publicación	<1 %
194	E.M. Elemam, I. Abdelbaser, K. Elbahrawy, M.M. Alseoudy, S. El Kenany. "Eficacia de la combinación del bloqueo ecoguiado del cordón espermático y el bloqueo del nervio ilioinguinal para analgesia en herniotomía inguinal pediátrica: estudio controlado aleatorizado", Revista Española de Anestesiología y Reanimación, 2025 Publicación	<1 %
195	Gordo, Maria Miguel. "Aspectos Quimicos y Bioactivos de Tres Matrices Naturales: Calendula Officinalis L., Mentha Cervina L. y Macrolepiota Procera (Scop.) Singer", Instituto Politecnico de Braganca (Portugal), 2022 Publicación	<1 %
196	S. Zilic, M. Milasinovic, D. Terzic, M. Barac, D. Ignjatovic-Micic. "Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids", Spanish Journal of	<1 %

	Agricultural Research, 1970 Publicación	
197	bffrepositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
198	chimie-biologie.ubm.ro Fuente de Internet	<1 %
199	ciad.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
200	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
201	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
202	doczz.net Fuente de Internet	<1 %
203	editorapantanal.com.br Fuente de Internet	<1 %
204	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
205	espanol.bruderhof.org Fuente de Internet	<1 %
206	http://200.13.202.26/proyectos/pdf/public/971151002a.pdf Fuente de Internet	<1 %
207	ica.mxl.uabc.mx Fuente de Internet	<1 %
208	laccei.org Fuente de Internet	<1 %
209	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
210	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
211	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
212	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
213	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	

		<1 %
214	revistas.udca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
215	revistas.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
216	www.aqualex.org Fuente de Internet	<1 %
217	www.euskadi.net Fuente de Internet	<1 %
218	www.infopesca.org Fuente de Internet	<1 %
219	www.maat.com.co Fuente de Internet	<1 %
220	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
221	JOHANNA MARÍA MARCANO RODRÍGUEZ. "Diseño de alimentos saciantes: estudio de las propiedades físicas, sensoriales y de la capacidad saciante esperada en un postre lácteo sólido tipo tarta de queso", Universitat Politecnica de Valencia, 2015 Publicación	<1 %
222	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
223	purl.org Fuente de Internet	<1 %
224	"Desarrollo de un queso análogo bajo en grasa y alto en proteína mediante el uso de suero de leche de vaca y bebida vegetal de quínoa chilota", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2021 Publicación	<1 %
225	"Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019 Publicación	<1 %
226	Karen Elizabeth Trejo-Cuevas, Guadalupe Rodríguez-Castillejos, Jesús Di Carlo Quiroz Velásquez, María Cristina Hernández-Jiménez et al. "Formulación y análisis proximal y sensorial de pastas a base de sorgo y almidón de sorgo", Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 2025 Publicación	<1 %
227	www.clubensayos.com	

Fuente de Internet <1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	Apagado
Excluir bibliografía	Apagado		