

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

**Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas
enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)
y Cushuro (*Nostoc sphaericum*)**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO (A) EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

**Bach. Gabriela HURTADO FLORES
Bach. Luis Alberto LLALLAHUI VILLAR**

ASESOR:

M.Sc. Wiler DE LA CRUZ QUISPE

COASESOR:

M.Sc. Wilber VILCAPOMA QUISPE

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A mí madre: este logro académico, materializado en esta tesis, es el fruto directo de tu amor incondicional, tu sacrificio y tu apoyo inquebrantable a lo largo de mi camino educativo.

LUIS

A mis padres que con cada sacrificio, con cada gesto de amor desinteresado, han construido un legado de cariño que perdurara por siempre en mi corazón.

GABRIELA

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma máter, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por habernos brindado la formación profesional que recibimos a lo largo de nuestra carrera.

A los docentes ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, quienes acompañaron nuestro proceso universitario y a quienes agradecemos sinceramente por compartir los conocimientos que hoy nos permiten culminar esta etapa.

Al M.Sc. Wiler De la cruz Quispe, nuestro asesor, expresamos nuestro agradecimiento por su dedicación, compromiso, guía académica y buen juicio fueron esenciales para fortalecer nuestro trabajo, tanto nuestro crecimiento profesional.

De igual manera, extendemos nuestro reconociendo al M.Sc. Wilber Vilcapoma Quispe, nuestro coasesor, cuya disposición, apoyo constante y confianza en nuestras capacidades nos motivaron a continuar con firmeza. Su cercanía y consejo oportuno hicieron de este proceso una experiencia más segura y enriquecedora.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*). Evaluando las características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales. El proceso incluyó la selección, deshidratación y posterior molienda para obtener harinas de arracacha y cushuro, respectivamente. Ambas fueron seleccionadas con el propósito de desarrollar una galleta enriquecida. Para evaluar esta propuesta, se obtuvieron 12 tratamientos, establecidos bajo restricciones específicas: harina de trigo hasta 27,51%, harina de arracacha 9,614% y cushuro 6,555%. El diseño estadístico aplicado fue un diseño de mezcla D-óptimo, desarrollada utilizando el programa Design Expert 13, con tres réplicas por tratamiento para las características fisicoquímicas y sensoriales. Para el análisis sensorial, participaron 30 panelistas semi-entrenados que utilizaron una escala hedónica de siete puntos, lo que resultó en una aceptación favorable porque la galleta es apetitosa (sensorialmente) y nutritiva.

El software determinó que la formulación óptima está compuesta por un 30,90 % de trigo, un 6,23 % de arracacha y un 6,56 % de cushuro. Las tres harinas juntas representan el 43,7 %, y los demás ingredientes el 56,3 %, sumando un total del 100 % de la mezcla. Esta formulación alcanzó valores de 97,7598 mg/100 g de hierro y 1410,01 mg/100 g de calcio. Además, esta combinación mostró resultados favorables en el análisis sensorial, particularmente en los atributos de textura, sabor, aroma y color.

Palabras clave: galletas, arracacha, cushuro, calidad

ABSTRACT

This research study aimed to evaluate the nutritional and sensory quality of cookies enriched with Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) and Cushuro (*Nostoc sphaericum*) flour. To this end, various nutritional (calcium, iron), physicochemical (protein, moisture, pH, fiber, acidity), and sensory (texture, odor, flavor, and color) characteristics were evaluated. The process involved the selection, dehydration, and subsequent milling to obtain arracacha and cushuro flour, respectively. Both were selected for the purpose of developing an enriched cookie. To evaluate this proposal, 13 treatments were obtained, established under certain constraints, which were: wheat flour up to 27,51%, arracacha flour 9,614%, and Cushuro 6,555%. The statistical design applied corresponded to a D-Optimal mixture design, developed using Design Expert 13 software, with three replicates per treatment for the physicochemical and sensory characteristics. For the sensory analysis, 30 semi-trained panelists participated, using a seven-point hedonic scale, resulting in favorable acceptance by the evaluators.

The software determined the optimal formulation to be composed of 88,4% wheat, 8,2% arracacha, and 3,4% cushuro, obtaining values of 55,05 mg of iron and 1117,04 mg of calcium. Furthermore, this combination showed favorable results in the sensory analysis, particularly in the attributes of appearance, flavor, odor, and color.

Keywords: cookies, arracacha, cushuro, quality

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES	3
2.1.1 A nivel internacional	3
2.1.2 A nivel nacional.....	4
2.2 ARRACACHA (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	6
2.2.1 Origen	6
2.2.2 Clasificación y descripción botánica	7
2.2.3 Variabilidad	7
2.2.4 Composición química de la raíz de arracacha.....	8
2.2.5 Harina de Arracacha	8
2.2.6 Composición química de la harina de arracacha.....	11
2.2.7 Usos de la Arracacha.....	12
2.2.8 Importancia de la Arracacha	12
2.3 CUSHURO (<i>Nostoc sphaericum</i>)	12
2.3.1 Origen y distribución geográfica.....	13
2.3.2 Taxonomía del Cushuro	14
2.3.3 Variedades del cushuro.....	15
2.3.4 Valor nutricional del Cushuro deshidratado	15
2.3.5 Composición bromatológica	16
2.3.6 Usos del Cushuro.....	17

2.4	TRIGO (<i>Triticum aestivum</i>)	18
2.4.1	Propiedades y usos.....	18
2.4.2	Harina de trigo	18
2.4.3	Composición de la harina de trigo	19
2.4.4	Valor nutricional de harina de trigo	19
2.5	GALLETAS	20
2.5.1	Clasificación de las galletas	21
2.5.2	Requisitos generales de las galletas	21
2.5.3	Producción de galletas	22
2.5.4	2.5.4 Formulación de galletas	22
2.6	MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS	23
2.6.1	Diseño simplex de centroide	23
2.6.2	Diseño óptimo	24
2.6.2.1	Optimal D	24
2.6.2.2	Modelos de mezclas	25
2.7	EVALUACIÓN SENSORIAL.....	26
2.7.1	Escalas hedónicas	27
2.8	CALIDAD FÍSICOQUÍMICA.....	28
2.8.1	Proteína	29
2.8.2	pH	29
2.8.3	Fibra.....	30
2.8.4	Humedad	30
2.9	CALIDAD NUTRICIONAL	31
2.9.1	Calcio	31
2.9.2	Hierro	31
	CAPÍTULO III.....	33
	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN	33

3.1.1	Diseño metodológico.....	33
3.1.2	Tipo de investigación	33
3.1.3	Nivel de investigación	33
3.2	MATERIA PRIMA.....	33
3.2.1	Insumos	33
3.3	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	34
3.3.1	Materiales	34
3.3.2	Equipos.....	34
3.3.3	Materiales	34
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
3.4.1	Diseño experimental para el determinar los tratamientos	35
3.4.2	Elaboración de harina de Arracacha (variedad amarilla)	37
3.4.3	Elaboración de la harina de Cushuro (Nostoc sphaericum).....	39
3.4.4	Formulación y elaboración de las galletas.....	41
3.4.5	Proceso de elaboración de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro.....	43
3.4.6	Evaluación del análisis nutricional, análisis fisicoquímico y análisis sensorial en galletas enriquecidas.....	45
3.4.6.1	Análisis nutricional	45
3.4.6.2	Análisis fisicoquímico.....	45
3.4.6.3	Análisis sensorial	45
CAPÍTULO IV		46
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		46
4.1	EVALUACION DE NUTRICIONAL	46
4.1.1	Análisis del contenido de hierro.....	46
4.1.2	Análisis del contenido de calcio.....	50
4.2	EVALUACION FISICOQUIMICA	53
4.2.1	Análisis del contenido de proteínas	53

4.2.2	Análisis del contenido de pH	54
4.2.3	Análisis del contenido de fibra.....	54
4.2.4	Análisis del contenido de humedad	55
4.3	ANÁLISIS SENSORIAL.....	56
4.3.1	Textura.....	56
4.3.2	Olor	60
4.3.3	Sabor	63
4.3.4	Color	68
4.3.5	Solución de optimización.....	71
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		78
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Composición química de la arracacha</i>	8
Tabla 2	<i>Composición química proximal de la harina de arracacha</i>	11
Tabla 3	<i>Composición química proximal de la harina de arracacha</i>	11
Tabla 4	<i>Taxonomía del Cushuro</i>	14
Tabla 5	<i>Taxonomía del cushuro</i>	14
Tabla 6	<i>Información nutricional de Cushuro deshidratado</i>	15
Tabla 7	<i>Análisis proximal del cushuro</i>	16
Tabla 8	<i>Cuadro comparativo de alimentos de origen vegetal deshidratados con alto contenido de hierro y proteínas</i>	17
Tabla 9	<i>Según Alegre, R. E. (2019) el contenido de hierro y calcio en 100g (Nostoc sphaericum) pulverizado procedente de la laguna de Conococha (Catac – Huaraz)</i>	17
Tabla 10	<i>Minerales de harina de trigo en muestra de 100 gramos</i>	19
Tabla 11	<i>Composición proximal de harina de trigo en 100 gramos</i>	20
Tabla 12	<i>Criterios fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas</i>	21
Tabla 13	<i>Escala de evaluación sensorial</i>	28
Tabla 14	<i>Comparación de las características físicas de las galletas dulces tipo wafer de harina de trigo y de harina compuesta con arracacha</i>	30
Tabla 15	<i>Tratamientos con diseño de mezclas con el programa Desing Expert</i> 13.35	
Tabla 16	<i>Diseño experimental de las galletas</i>	36
Tabla 17	<i>Formulación base para producción de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro.</i>	41
Tabla 18	<i>Formulaciones para producción de galletas enriquecidas.</i>	42
Tabla 19	<i>Escala de evaluación sensorial</i>	45
Tabla 20	<i>Variable de respuesta del hierro en la mezcla</i>	46
Tabla 21	<i>Análisis de varianza del contenido de hierro en la mezcla</i>	47
Tabla 22	<i>Coeficientes estimados de la mezcla en el contenido de hierro</i>	48
Tabla 23	<i>Variable de respuesta del calcio en la mezcla</i>	50
Tabla 24	<i>Análisis de varianza del contenido de calcio en la mezcla</i>	51
Tabla 25	<i>Coeficientes estimados de la mezcla en el contenido de calcio</i>	51
Tabla 26	<i>Variable de respuesta proteínas en la mezcla</i>	53
Tabla 27	<i>Variable de respuesta pH en la mezcla</i>	54
Tabla 28	<i>Variable de respuesta fibra en la mezcla</i>	55
Tabla 29	<i>Variable de respuesta humedad en la mezcla</i>	56

Tabla 30 <i>Variable de respuesta de la textura en la mezcla</i>	56
Tabla 31 <i>Análisis de varianza de la textura</i>	57
Tabla 32 <i>Coeficientes estimados de la mezcla en la textura</i>	58
Tabla 33 <i>Variable de respuesta olor en la mezcla</i>	60
Tabla 34 <i>Análisis de varianza del olor</i>	61
Tabla 35 <i>Coeficientes estimados de la mezcla en el olor</i>	62
Tabla 36 <i>Variable de respuesta sabor en la mezcla</i>	64
Tabla 37 <i>Análisis de varianza del sabor</i>	65
Tabla 38 <i>Coeficientes estimados de la mezcla en el sabor</i>	66
Tabla 39 <i>Variable de respuesta color en la mezcla</i>	68
Tabla 40 <i>Análisis de varianza del color</i>	69
Tabla 41 <i>Coeficientes estimados de la mezcla en el color</i>	70
Tabla 42 <i>La formulación Óptimo</i>	72
Tabla 43 <i>Variables del procesos y datos experimentales</i>	84
Tabla 44 <i>Evaluación sensorial del color de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	86
Tabla 45 <i>Evaluación sensorial del olor de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	87
Tabla 46 <i>Evaluación sensorial de la textura de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	88
Tabla 47 <i>Evaluación sensorial del sabor de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Arracacha</i>	6
Figura 2 <i>Diagrama de flujo para la obtención de harina de arracacha</i>	10
Figura 3 <i>Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	13
Figura 4 <i>Espacio de los factores restringidos para mezclas con $q=3$ componentes</i>	23
Figura 5 <i>Diseño simplex con centroide ($q = 3$)</i>	24
Figura 6 <i>Regiones experimentales con restricciones en $q = 3$ componentes</i>	25
Figura 7 <i>Sensograma</i>	27
Figura 8 <i>Diagrama para la producción de harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)</i>	38
Figura 9 <i>Diagrama para la producción de harina de Cushuro (Nostoc sphaericum)</i>	40
Figura 10 <i>Diagrama del proceso de elaboración de galletas enriquecidas con harina de Arracacha y harina de Cushuro</i>	44
Figura 11 <i>Líneas de contornos para el hierro</i>	49
Figura 12 <i>Líneas de contornos para el calcio</i>	52
Figura 13 <i>Líneas de contornos para la textura</i>	59
Figura 14 <i>Líneas de contornos para el Olor</i>	63
Figura 15 <i>Líneas de contornos para el Sabor</i>	67
Figura 16 <i>Líneas de contornos para el color</i>	70
Figura 17 <i>Líneas de rampas para la solución de optimización</i>	71
Figura 18 <i>Líneas de contorno para la formulación optima</i>	72
Figura 19 <i>Ficha de evaluación sensorial</i>	85
Figura 20 <i>Lavado y cortado de la raíz de arracacha variedad amarilla</i>	103
Figura 21 <i>Deshidratación de la raíz de arracacha variedad amarilla</i>	103
Figura 22 <i>Recepción del cushuro</i>	104
Figura 23 <i>Lavado y desinfectado del cushuro</i>	104
Figura 24 <i>Proceso de deshidratado del cushuro</i>	104
Figura 25 <i>Deshidratado del cushuro</i>	105
Figura 26 <i>Molienda del cushuro</i>	105
Figura 27 <i>Obtención de la harina de arracacha</i>	105
Figura 28 <i>Pesado de los insumos</i>	106
Figura 29 <i>Distribución de los insumos para cada tratamiento</i>	106
Figura 30 <i>Distribución de los insumos para cada tratamiento</i>	106
Figura 31 <i>Amasado de los insumos</i>	107

Figura 32 Moldeado de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro	107
Figura 33 Galletas moldeadas y separadas en bandejas por cada tratamiento	108
Figura 34 Enfriado de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cusuro	108
Figura 35 Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro separadas por cada tratamiento	109
Figura 36 Peso de la muestra para analizar	110
Figura 37 Determinación del pH	110
Figura 38 Determinación de la humedad	110
Figura 39 Determinación de la proteína	111
Figura 40 Determinación de la fibra	111
Figura 41 Evaluación organoléptica de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro	112

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tendencia hacia el consumo de alimentos más saludables ha motivado un renovado interés por recursos andinos y amazónicos que, aunque poseen un valor nutritivo y funcional, continúan siendo poco explotados. Este contexto coincide con el crecimiento de la industria alimentaria en la elaboración de productos accesibles y con mejor perfil nutricional. Entre ellos destacan la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), un tubérculo caracterizado por su contenido de carbohidratos de fácil digestión, y el cushuro (*Nostoc sphaericum*), un microorganismo que se desarrolla en esferas de agua altoandinos y que sobresale por su riqueza en minerales. Ambos ingredientes poseen un perfil nutricional favorable que podría mejorar la calidad de alimentos de consumo habitual.

Dado su bajo costo, larga vida útil y amplia preferencia entre distintos grupos de consumidores, las galletas constituyen una alternativa alimentaria adecuada para añadir ingredientes con valor nutricional. Sin embargo, gran parte de las opciones disponibles en el mercado presentan escasos contenidos en micronutrientes, lo que disminuye su aporte a una dieta saludable. Esta situación resalta la importancia de desarrollar formulaciones que conserven una aceptable calidad sensorial y, al mismo tiempo, ofrezcan un mayor beneficio nutricional.

Aunque se han explorado diversas harinas alternativas en productos horneados, el uso de arracacha y cushuro en galletas sigue siendo limitado y poco investigado. Además, aún no se conoce con claridad cómo estos ingredientes modifican las características sensoriales, fisicoquímicas y nutricionales del producto. Por ello, se requiere realizar estudios que permitan entender su comportamiento tecnológico y su impacto en distintas preparaciones alimentarias.

El cushuro se presenta como un recurso hidrobiológico de alto valor funcional para la industria de panificación, ya que su inclusión en formulaciones de galletas permite

alcanzar niveles de proteína y minerales que superan los estándares de los productos convencionales hechos solo con harina de cereales" Pajuelo et al., (2020). Así mismo la sustitución parcial de harina de trigo por harina de raíces y tubérculos como la arracacha en la elaboración de galletas dulces, favorece la obtención de un producto con menor índice glucémico y una textura más suave, debido a las propiedades únicas de sus gránulos de almidón" Rodríguez y Valencia, (2021).

Bajo esta perspectiva, la presente investigación se orienta a analizar la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro, con el fin de desarrollar un producto que combine aceptabilidad organoléptica con un mayor contenido de nutrientes esenciales. Para ello, se aplicará un diseño experimental que permita determinar la influencia de ambos ingredientes en las características del producto final y brindar información que contribuya al diseño de opciones alimentarias más saludables y accesibles para la población.

El objetivo general de esta investigación es evaluar la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha y Cushuro, a fin de desarrollar una alternativa alimenticia novedosa, altamente nutritiva y de fácil acceso para el consumidor. Con este fin, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la calidad sensorial de las galletas enriquecidas con harina de Arracacha y Cushuro (color, olor, textura y sabor).
- Evaluar la calidad fisicoquímica de las galletas enriquecidas con harina de Arracacha y Cushuro (proteína, pH, fibra y humedad).
- Evaluar la calidad nutricional de las galletas enriquecidas con harina de Arracacha y Cushuro (calcio y hierro).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 A nivel internacional

En su investigación de García y Pacheco (2007) “Evaluación de galletas dulces tipo wafer a base de harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza B.*)” Tuvo resultados que mostraron que la harina compuesta, contribuyó a un ligero incremento en la fracción de fibra, ceniza y almidón resistente en las galletas. Mientras, las propiedades funcionales de la mezcla para elaborar las galletas indicaron una adecuada interacción de los ingredientes, alta absorción de agua, pero una menor capacidad de absorción de aceite en la masa, originando cambios en la textura de la galleta horneada al compararla con la galleta de trigo. En anaquel, se mantuvieron las características fisicoquímicas de la galleta, coincidiendo con las especificaciones de la norma Covenin (Comisión Venezolana de Normas Industriales) nº 1483-2001, siendo esto atribuido al bajo contenido de humedad y actividad de agua. En conclusión, el uso de la harina de arracacha en una relación de 12%, resultó un ingrediente adecuado en la elaboración de galletas con alta preferencia sensorial, constituyendo una alternativa como fuente de fibra dietética.

Según Aguilar (2022); en su investigación “Optimización del tiempo de horneado y de la formulación utilizando Cushuro (*Nostoc sphaericum*) y harina de coronta de maíz morado (*Zea mays l.*) En galletas”, se utilizó como variables independientes el porcentaje de sustitución de harina de maíz morado, cushuro y tiempo de horneado, para conseguir una mayor aceptabilidad general. Se aplicó un análisis estadístico (DCCR), esto generó 17 ensayos con sustituciones de harina de coronta de maíz morado entre el 2 al 10%, cushuro entre 5 al 19% y tiempo de horneado entre 8 a 30 min a una temperatura de horneado del 140 °C, se finalizó, que una sustitución de harina de coronta de maíz entre 5.5 a 7.5%, la sustitución de cushuro entre 18 a 20% y tiempo

de cocción de galletas entre el 17 a 20 min se obtiene una aceptabilidad general más de 8 puntos. Además, que a mayores concentraciones de harina de coronta de maíz morado disminuye la aceptabilidad general.

Chirinos y Vargas (2017); en su investigación “Análisis proximal de galletas de harina de trigo (*Triticum vulgare*): Tapirama (*Phaseolus lunatus*) de pueblo nuevo de Paraguaná”, el objetivo de su investigación es determinar el análisis proximal de galletas a base de harina de trigo: tapirama proveniente de pueblo nuevo de paraguaná, los análisis se realizaron por los métodos estandarizados por la norma COVENIN y AACC. En galletas las características de la mejor formulación 50:50 trigo: tapirama fueron proteína (15.70%); carbohidratos totales (72,67%); grasa (2,62%); humedad (3,9%); cenizas (2,08%); fibra (3,03%); minerales: K (1,05%); Na (4,05%); Fe (0,34%); Mn (0,04%); Ca (0,4%); Mg (2,86%); P (0,003%) y Cu (0,06%). Las harinas a base de leguminosas son ricas en proteína, fibra, carbohidratos y minerales y asociadas al trigo, mejoran su calidad nutricional.

2.1.2 A nivel nacional

Culqui y Guevara (2022), en su investigación “Formulación de galletas sustituidas parcialmente con harina de algarroba (*Prosopis pallida*) y enriquecidas con algas cushuro (*Nostoc sphaericum*)”, eligió la formulación T3 que contenía 6% de harina de cushuro como el tratamiento de mayor aceptación, ya que presentaba las siguientes características fisicoquímicas: humedad 6.20 %, cenizas 2.30%, carbohidratos 57.93%, proteínas 14.27%, grasas totales 17.80%, fibra cruda 1.50%; valores que eran superiores en proteínas y fibra respecto a las otras formulaciones, además, se determinó la cantidad de hierro que contenía, dando como resultado 14.79 mg/100g, por lo tanto su consumo ayuda a cumplir con la cantidad necesaria de hierro diario.

Meza (2022), en su tesis “Proceso de elaboración de una galleta con harina de Pituca (*Colocasia esculenta*) Y Cushuro (*Nostoc sphaericum*) con alto contenido nutricional” define como objetivo determinar las características de la galleta con alto contenido nutricional elaborada a partir de harina de pituca y cushuro. Se hizo las corridas experimentales elaborando muestras de galleta en función a tres composiciones, las cuales son 20:10, 15:15 y 10:20. Los resultados estadísticos fueron comparados a partir del análisis estadístico Anova de un factor y la prueba de homogeneidad de varianzas. Obteniendo como resultado que el tratamiento 2 es el que se obtuvo un mayor incremento en proteínas y hierro. En comparación con otras

investigaciones se pudo evidenciar que si existe un incremento en sus valores nutricionales.

Carlos (2023), en su tesis “Elaboración Tecnológica de galletas con sustitución parcial de harina de Cushuro (*Nostoc sphaericum*) y Aceite refinado de Anchoveta (*Engraulisringens*)”, en su formulación I (harina de Cushuro 85:15, aceite refinado de anchoveta 91:9, temperatura de 140°C y tiempo de horneado de 20 minutos) la que mostró los mejores resultados en términos de aceptabilidad. Además, se realizó un análisis fisicoquímico a esta muestra, revelando un contenido de hierro del 100%, un 11% de proteínas y un 21% de omega 3, estos valores respecto a su valor requerido diario de consumo. En conclusión, se puede afirmar que utilizando una formulación de 85:15 de harina de trigo y harina de Cushuro, y 91:9 de manteca vegetal y aceite refinado de anchoveta, es posible elaborar galletas con alta calidad nutricional y buena aceptabilidad.

Aliaga y Sánchez, (2011); en su tesis “Influencia de la proporción de harinas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y de harina de trigo (*Triticum aestivum*) sobre las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de las galletas para consumo humano”, el objetivo fue evaluar su potencialidad en la elaboración de una galleta a partir de harina de arracacha, partiendo de una harina compuesta de trigo con proporciones de 2%, 7%, 11% y 50 % de harina de arracacha. La metodología permitió determinar en la galletería las características físicas (pH), composición química proximal (humedad, ceniza, grasa. Fibra, proteínas y carbohidratos) y la estabilidad comercial por un mes almacenamiento.

Benavente y Surco, (2025); en su tesis “Evaluación de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en galletas dulces”, el objetivo de la investigación es evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina cushuro y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la aceptabilidad sensorial, características fisicoquímicas, oligoelementos, compuestos fenólicos y vida útil de una galleta dulce. La metodología empleada tuvo un enfoque experimental. Para la sustitución parcial de harinas, se utilizó un diseño de mezclas Simplex con Centroide, basado en 10 tratamientos que incluyeron tres factores. La aceptación de las galletas fue evaluada por jueces consumidores, tanto niños como adultos. El tratamiento con mayor aceptación fue la muestra T7, compuesta por un 10% de harina de trigo, un 10% de harina de cushuro y un 5% de harina de cañihua. Esta combinación permitió obtener una galleta con un contenido de 18,09% de

proteína, 52,05% de carbohidratos, 480,31 Kcal / 100gr de energía, 213,37 mg de calcio, 23,27 mg de hierro y 81,47 mg de compuestos fenólicos.

2.2 ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*)

Baldeón y De la Cruz (2008), indica diferentes nominaciones, en quechua: Laquchu, Rakkacha, Huiasampilla, en aymara: Lakachu, Lecachu, en español: Arrecate (América Latina) Carrot, Peruvian Parsnip. Zanahoria blanca (Ecuador) Arracacha, Racacha, Virraca (Perú) Arracacha, Racacha, Apio criollo (Venezuela).

Según Romero y Reina (2015), menciona que actualmente se han identificado más de 60 variedades distribuidas en países como Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Estas se distinguen principalmente por características como el color y la forma de sus ramas y hojas, así como por el color externo de la raíz y su pigmentación interna, que puede ser blanca, amarilla o presentar tonalidades moradas, como se muestra en la figura 1.

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) es una raíz notable por su amplia diversidad morfológica. Se considera principalmente una fuente de energía, gracias a su composición nutricional, en la que predominan los carbohidratos (almidón y azúcares totales). Además, aporta cantidades significativas de vitamina A y niacina, así como niveles apreciables de minerales como calcio, fósforo y hierro (Ventura, 2017).

Figura 1

Arracacha



Nota. Fuente: Romero y Reina (2015).

2.2.1 Origen

La arracacha es probablemente una de las plantas andinas más antiguas y ampliamente cultivadas durante la época preincaica, habiendo sido domesticada antes que cultivos como la papa y el maíz. Aunque no se cuenta con evidencia arqueológica

precisa que determine su lugar de origen, se presume que proviene del norte de América del Sur, dada la presencia de especies silvestres relacionadas. No obstante, investigaciones señalan que los departamentos de Cajamarca, La Libertad y Cuzco presentan la mayor diversidad de esta especie (Baldeón y De la Cruz, 2008).

2.2.2 Clasificación y descripción botánica

De acuerdo con Ventura (2017), la arracacha pertenece a la misma familia que la zanahoria y el apio, y presenta características similares a estas plantas. Su clasificación botánica es la siguiente:

Reino : Vegetal
División : Angiospermas
Clase : Dicotiledónea
Sub. Clase : Archichalamydeae
Orden : Umbellifloreae
Sub. Orden : Umbelíferas
Familia: Umbelliferae
Sub. Familia : Apioidae
Género : Arracacia
Especie : Xanthorrhiza Bancroft
Nombre común: Arracacha, Racacha, Zanahoria Blanca

2.2.3 Variabilidad

Según Millán (2001), se dice que existen tres variedades hortícolas agrupadas en tres variedades principales, la diferencia radica en el color de la superficie y/o pulpa de las raíces siendo estas blanca, amarilla y morada. Reportan que hay nueve formas hortícolas nativas de arracacha distribuidas en zonas de ceja de Selva y valles interandinos del, citando un rango de adaptación de 1400 a 2600 msnm con precipitaciones fluviales de 800mm. y temperaturas de 16 a 24° C. Hace mención de tres variedades cultivadas:

- Variedad blanca: parecida al nabo a la que se denomina esculenta.
- Variedad amarilla: denominada xanthorrhiza.
- Variedad morada: esta última se denomina también blanca, con la diferencia que alrededor de la raíz tiene un tono violeta.

2.2.4 Composición química de la raíz de arracacha

Romero y Reina (2015), mencionan que los valores promedio de los componentes químicos por cada 100 gramos de materia fresca de este tubérculo. Se destaca que los carbohidratos (24,91 g) y, en particular, el almidón (23,51 g), son los nutrientes predominantes en su composición. Esta alta concentración los convierte en los principales responsables de su valor nutricional, clasificando a este rizoma como un alimento energético.

Tabla 1

Composición química de la arracacha

Componentes	Promedio (100 g de materia fresca)
Humedad %	74%
Sólidos totales %	26%
Carbohidratos (g)	24,91 (g)
Proteínas (g)	0,96 (g)
Lípidos (g)	0,26
Cenizas (g)	1,30
Fibra (g)	0,85
Almidón (g)	23,51
Azúcares totales (g)	1,66
Calorías (Kcal)	104
Hierro (mg)	9,5
Calcio (mg)	65
Fosforo (mg)	52

Fuente: Romero y Reina (2015)

2.2.5 Harina de Arracacha

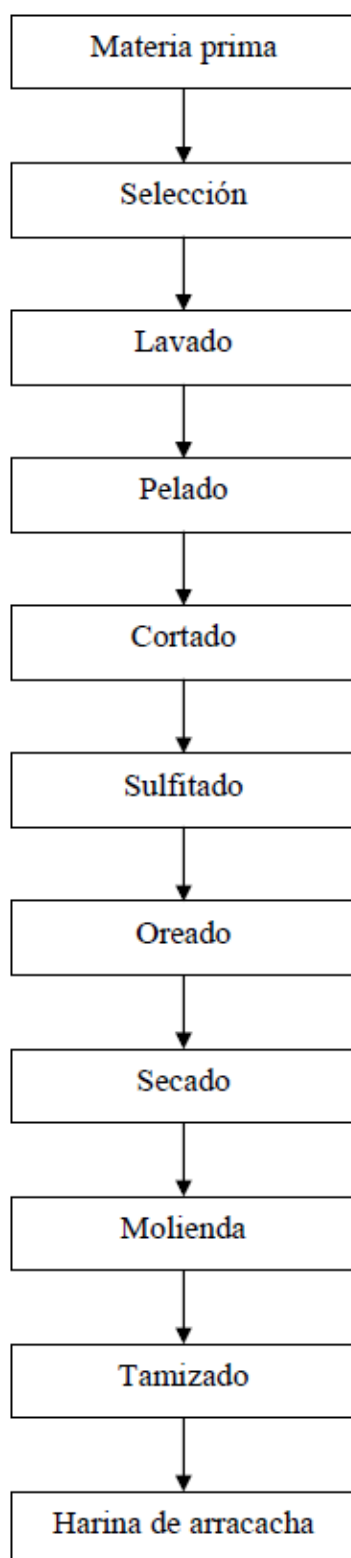
Según Baldeón y De la Cruz (2008) La harina de arracacha es un producto orgánico innovador, producido mediante la molienda de raíces que se mantienen en niveles óptimos de humedad para su almacenamiento y conservación.

- La harina elaborada a partir de arracacha conserva los nutrientes propios de la raíz y puede emplearse como sustituto de otras harinas.
- Tiene diversas aplicaciones en la elaboración de panes, pastas, espesantes, sopas y condimentos.
- También se emplea en la preparación de papillas para bebés y dulces.

Ventura (2015), indica que es un producto realizado a partir de la molienda de la raíz de arracacha, donde contiene las características adecuadas en beneficio al consumo humano.

Figura 2

Diagrama de flujo para la obtención de harina de arracacha



Nota. Fuente: Ventura (2017).

2.2.6 Composición química de la harina de arracacha

Tabla 2

Composición química proximal de la harina de arracacha

Composición química (g/100 g)	Harina de arracacha
Humedad	9,64 ± 0,01
Ceniza	1,86 ± 0,01
Proteína	2,46 ± 0,01
Grasa	0,48 ± 0,02
Azúcares totales	6,22 ± 0,03
Azúcares reductores	3,48 ± 0,03
Almidón	74,47 ± 0,01
Almidón resistente	4,23 ± 0,01
Fibra dietaria	4,87 ± 0,01

Fuente: García y Pacheco (2007)

Tabla 3

Composición química proximal de la harina de arracacha

Componentes	1
g/100 gramos de materia seca	
Humedad	7,60
Materia seca	92,4
Proteína	3,60
Grasa	0,84
Fibra	13,24
Cenizas	2,10
Carbohidratos	-
Almidón	68,47
Minerales (mg)	
Potasio	857,3
sodio	14,03
calcio	102,84
Magnesio	101,77
Fósforo	108,74
Hierro	5,16
Zinc	0,94

Fuente: Ventura (2017).

2.2.7 Usos de la Arracacha

Según Aguirre y Echevarría (2024) la arracacha, debido a su facilidad de digestión y su sabor agradable, se combina fácilmente con otras especias. Las raíces de la planta de arracacha son las más importantes, ya que pueden consumirse cocidas, horneadas o fritas. Se utilizan en una variedad de platos, como guisos, estofados, chupes, sopas, y en la sierra del Perú se usa en el tradicional plato llamado Sancocho. También se emplea en papillas y purés para bebés debido a su sabor agradable y fácil digestión, además, en la medicina nativa se le utilizaba cocida y amasada en calidad de cataplasmas antiinflamatorios y antisépticos; también se le conocía como diurético y estimulante, antidiarréico, para expulsar la placenta y para las verrugas de la piel.

2.2.8 Importancia de la Arracacha

Aguirre y Echevarría (2024), menciona que la arracacha es una raíz ampliamente empleada en la industria alimentaria debido a su sobresaliente composición nutricional. Su alto contenido en caroteno y las características funcionales de su almidón la convierten en un ingrediente ideal para alimentos instantáneos. Los hidratos de carbono (azúcares y almidón) pueden constituir hasta el 96% de su materia seca. Además, la arracacha es rica en calcio, vitaminas A y C, niacina y hierro. Su notable calidad de almidón, que alcanza el 23%, la hace un alimento de fácil digestión, recomendado especialmente para niños y ancianos.

2.3 CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)

Según Corpus et al. (2021), el cushuro es conocido por diversos nombres populares como “*murmunta*”, “*llullucha*”, “*crespito*” o “*llayta*”. Se trata de un recurso natural renovable que crece en una variedad de cuerpos de agua ubicados en distintas regiones del Perú, incluyendo Ancash, Amazonas, Cajamarca, Cusco, Huancayo, Junín, La Libertad, Puno, Cerro de Pasco, así como en zonas de la selva de Huánuco.

Según Carlos (2023), la cianobacteria *Nostoc sphaericum*, conocida como “cushuro”, es un alimento que se desarrolla en lagunas de las regiones altoandinas. Investigaciones han demostrado que es una fuente rica en hierro y proteínas, lo que la convierte en un recurso nutritivo accesible para la población. No obstante, aún es poco conocida por gran parte de la sociedad, lo que impide un mayor aprovechamiento de sus propiedades. Aun así, constituye una excelente alternativa alimentaria, especialmente para personas en situación de inseguridad o vulnerabilidad nutricional.

Meza (2022), menciona que el cushuro es una cianobacteria incluida en el reino de las eubacterias. Puede ser unicelular, filamentosa y/o comunitaria, y presenta diversas formas, como esférica o cilíndrica, con folíolos y estructura estratificada. Este producto se encuentra en el altiplano andino de Ecuador, Bolivia y Perú. Aparece como esferas o estructuras redondas de colores azul, verde-marrón, y verde, formando colonias de diversos tamaños. El Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (2017) destaca que el nostoc es una valiosa fuente de hierro y carbohidratos, como se muestra en sus análisis nutricionales.

En cuanto a la toxicidad, no existe referencia específica de la presencia de toxinas en esta especie (*Nostoc sphaericum*) Pues no son productoras de microcistinas, por tanto, son aptas para el consumo humano, a diferencia de otras especies de Cyanobacterias (Alegre, 2019).

Figura 3

Cushuro (Nostoc sphaericum)



Nota. Fuente: Corpus et al. (2021)

2.3.1 Origen y distribución geográfica

Estas cianobacterias son organismos ubicuos y cosmopolitas que forman colonias tanto microscópicas como macroscópicas en diversos entornos terrestres y bentónicos. Pueden encontrarse en distintos medios acuáticos, sobre rocas y suelos húmedos, y especialmente en zonas elevadas que superan los 3000 metros sobre el nivel del mar, donde hay lagunas de aguas cristalinas y ricas en nitrógeno, un elemento esencial para su crecimiento. Su desarrollo es particularmente notable durante la época de lluvias, cuando forman colonias gelatinosas esféricas que flotan a lo largo de las superficies de lagos, lagunas y ambientes altoandinos muy húmedos, como en los

departamentos de Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Puno (Corpus et al., 2021).

En las regiones andinas de Perú, Chile y Bolivia, *Nostoc punctiforme* Hariot y *Nostoc verrucosum* Vaucher ex Bornet & Flahault son consumidos como parte de la dieta habitual, constituyendo una fuente relevante de nutrientes y desempeñando un papel importante en la identidad cultural (Arenas, 2009). En el caso de Perú, las comunidades indígenas denominan a *Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault y *Nostoc commune* con nombres locales como cushuro, murmunta, llayta, yoyo o luche. Su recolección y consumo se intensifican durante la temporada de lluvias, periodo en el cual estos organismos proliferan en mayor cantidad. (Muñoz, 2021).

2.3.2 Taxonomía del Cushuro

La clasificación taxonómica de las especies andinas según Muñoz (2021), es:

Tabla 4

Taxonomía del Cushuro

Reino	Bacteria, Planctae (clasificados en dos reinos distintos como Bacterias y Cushurus;
Filum	Cyanobacteria;
Orden	Nostocales;
Familia	Nostocaceae;
Género	Nostoc

Tomado de Muñoz (2021).

Según Carlos (2023), muestra la clasificación taxonómica del cushuro.

Tabla 5

Taxonomía del cushuro

Nombre científico	<i>Nostoc sp</i>
Dominio	<i>Bacteria</i>
Filo	<i>Cyanobacteria</i>
Clase	<i>Cyanophyceae</i>
Orden	<i>Nostocales</i>
Familia	<i>Nostocaceae</i>
Género	<i>Nostoc</i>
Especie	<i>Nostoc sphaericum</i>

2.3.3 Variedades del cushuro

Según Muñoz (2021) las variedades de Nostoc que se conocen son las siguientes:

- *Nostoc sphaericum*.
- *Nostoc commune*.
- *Nostoc pruniforme*.
- *Nostoc parmelioides*.
- *Nostoc verrucosum*.
- *Nostoc flageliforme*.
- *Nostoc Nicheoides*.

2.3.4 Valor nutricional del Cushuro deshidratado

Muñoz (2021), Resalta que el Nostoc tiene la capacidad de inhibir la formación de colesterol, debido a su compuesto activo, la nostocarbolina, que ayuda a la regeneración ósea.

Según Culqui y Guevara (2022), esta alga destaca por su alto contenido de proteínas y por proporcionar una gran cantidad de aminoácidos esenciales. Su fácil digestibilidad se debe a la ausencia de celulosa en su pared celular, lo que permite a nuestro cuerpo aprovechar mejor sus nutrientes.

Tabla 6

Información nutricional de Cushuro deshidratado

Composición	Cushuro deshidratado
Energía (kcal)	242
Agua (g)	15.1
Proteínas (g)	29
Grasa total (g)	0.5
Carbohidrato (g)	46.9
Cenizas (g)	8.5
Calcio (mg)	147
Fosforo (mg)	64
Hierro (mg)	83.6
Tiamina (mg)	0.2
Riboflavina (mg)	0.41

Fuente: Carlos (2023)

En el análisis proximal, se evidencia la distinción entre la muestra de Cushuro seca y la muestra de Cushuro fresca, lo que indica que su composición varía en función de la humedad. Esto se puede observar en la tabla 7

Tabla 7

Análisis proximal del cushuro

Componentes	Muestra seca %	Muestra fresca %
Agua	0 %	97 %
Grasas	0,3 %	0,009 %
Proteínas	20 %	0,6 %
Fibra	0,9 %	0,027 %
Cenizas	4,6 %	0,138 %
Carbohidratos	74,2 %	2,226 %

Fuente: Meza (2022)

2.3.5 Composición bromatológica

Culqui y Guevara (2022), señala que diversas variedades de cushuro fresco contienen entre 35% y 42% de lípidos, proteínas y minerales como calcio, fósforo, hierro, sodio y potasio. Además, este alimento proporciona aminoácidos esenciales y vitaminas del complejo B, específicamente B1, B2, B5 y B8. En comparación con otros superalimentos andinos como la kiwicha y la quinua, el Nostoc contiene aproximadamente el doble de proteínas. Asimismo, según el Ministerio del Ambiente (2016), el contenido de calcio en el cushuro (154 mg) supera ampliamente al de la leche (20 mg), y su aporte de hierro (83.6 mg) es significativamente mayor que el de la lenteja (7.6 mg), lo que evidencia su alto valor nutricional.

A continuación, se presentan variedades de alimentos vegetales ricos en hierro, energía, grasas y proteínas.

Tabla 8

Cuadro comparativo de alimentos de origen vegetal deshidratados con alto contenido de hierro y proteínas

Alimento	Proteínas (g)	Hierro (mg)	Calcio (mg)	Grasas (g)
Kiwicha	12.8	7.32	236	6.6
Quinoa	13.6	7.5	56	5.8
Avena hojuelas	13.3	4.1	49	4
Lentejas	22.6	7.6	73	1
Cushuro deshidratado	29.0	83.6	147	0.5

Fuente: Culqui y Guevara (2022).

Tabla 9

Según Alegre, R. E. (2019) el contenido de hierro y calcio en 100g (Nostoc sphaericum) pulverizado procedente de la laguna de Conococha (Catac – Huaraz)

Producto	Hierro (mg)	Calcio (mg)
Cushuro 3 repeticiones	15,72 ± 2,70	122,4 ± 0,01

2.3.6 Usos del Cushuro

Según Carlos (2023), la incorporación del cushuro (*Nostoc sphaericum*) en la dieta del consumidor peruano podría tener un impacto positivo en la salud y nutrición, ya que se trata de un superalimento con alto contenido de proteínas y diversos nutrientes esenciales. Esta cianobacteria, que se presenta como esferas gelatinosas, tiene un sabor neutro que facilita su combinación con otros alimentos, adaptándose al sabor del ingrediente principal. Gracias a esta propiedad, su uso es muy versátil, pudiendo incluirse en una variedad de preparaciones como sopas, guisos, mermeladas y bebidas. En las regiones altoandinas, como Cusco, es comúnmente utilizada en platos a base de zapallo, tarwi o verduras, siendo conocida popularmente como “caviar andino”. Tradicionalmente, se ha consumido en preparaciones picantes, ya sea fresco o rehidratado. Además, su biomasa ofrece oportunidades de innovación en la industria alimentaria, permitiendo la elaboración de productos como panes y galletas enriquecidos con esta alga.

Desde hace aproximadamente 2000 años, distintas especies de *Nostoc* han sido parte de la alimentación humana en regiones de Asia, donde *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault se consumía como recurso alimenticio en tiempos de hambruna. Además, hace unos 400 años, se comenzó a utilizar *Nostoc flagelliforme* Komárek con fines medicinales, específicamente para el tratamiento de diarrea, hipertensión y hepatitis (Muñoz, 2021)

2.4 TRIGO (*Triticum aestivum*)

El trigo (*Triticum aestivum*) es fundamental en la dieta humana. Se consume directamente o se transforma en harina, almidón, aceite, salvado, jarabes de azúcar, y numerosos ingredientes utilizados en la fabricación de otros alimentos (Esquivel, 2023).

2.4.1 Propiedades y usos

El trigo es una pieza fundamental en la nutrición humana, constituyendo la base de la pirámide alimentaria. Contiene proteínas, almidón, cenizas, grasas, azúcares, fibras, enzimas hidrolíticas, vitamina B y vitamina E. Además, en la industria alimentaria, el trigo se procesa en harina para la elaboración de productos como pan, pasta (ravioles, agnolotis, torteletis, canelones), sémolas y semolina (Esquivel, 2023).

2.4.2 Harina de trigo

Se trata de un producto que se elabora utilizando granos de trigo común, trigo ramificado o incluso una combinación de ambos, obtenido a partir de un proceso de molienda o trituración y que luego se refina (Mesa, 2022).

La harina de trigo constituye un componente fundamental en la elaboración de galletas, cuyas características pueden variar según la variedad del trigo, la temporada de cultivo, el tipo de suelo y los fertilizantes utilizados (Esquivel, 2023).

Además, existen dos tipos de harina de trigo: la blanca y la integral. La harina integral se produce moliendo todo el grano de trigo y se puede hacer de dos formas: utilizando piedras de molino, que trituran el grano; o rodillos, que separan el salvado del endospermo (Esquivel, 2023).

La harina de trigo influye en las características del producto de panadería, como su composición (proteínas, almidón, contenido de fibra) y sus propiedades fisicoquímicas (tamaño de partícula y capacidad proteica). Las proteínas más importantes en la panadería son las gliadinas y la glutenina, que afectan la calidad de la harina y las propiedades reológicas de la masa (Esquivel, 2023).

2.4.3 Composición de la harina de trigo

Según Meza (2022) menciona que es crucial comprender qué son y cómo funcionan estos materiales, ya que conocer su interacción puede mejorar la elaboración del producto. La calidad final dependerá de la correcta combinación de los ingredientes que contienen harina.

Minerales

La harina de trigo contiene minerales como magnesio, calcio, sodio y potasio. El resto de su composición incluye elementos orgánicos procesados, donde los valores de minerales presentes en la harina de trigo se evidencian en la tabla 10.

Tabla 10

Minerales de harina de trigo en muestra de 100 gramos

Minerales (mg)	100 g de porción
Calcio	15
Hierro	1.1
Yodo	1
Magnesio	28
Zinc	0.8
Sodio	3
Potasio	30
Fósforo	20
Selenio	4

Fuente: Meza (2022).

2.4.4 Valor nutricional de harina de trigo

Esta harina se compone en su mayoría de carbohidratos y también incluye lípidos, proteínas, vitaminas y minerales, entre otros nutrientes, como se muestra en la tabla 11 a continuación.

Tabla 11*Composición proximal de harina de trigo en 100 gramos*

Componente (%)	100 g de porción
Humedad	6.1
Grasas	14
Proteínas	9.3
Carbohidratos	79.2
Fibra	3.4
Hierro (mg)	1.1

Fuente: Meza (2022)

2.5 GALLETAS

Según la NTC 1241 (2007, como se citó en Meza, 2022), las galletas son productos horneados elaborados a partir de ingredientes como harina de trigo, azúcar, aceites y grasas vegetales. Se caracterizan por tener formas pequeñas y delgadas, lo que les otorga propiedades sensoriales distintivas, especialmente en su textura, que la diferencia de otros alimentos derivados de cereales procesados.

Según la NTP 206.001 (INACAL, 2016), menciona que las galletas son productos elaborados mediante el horneado adecuado de una masa sólida o semisólida, formada a partir del amasado de harinas derivadas del trigo u otras alternativas de harinas suculentas, combinadas con ingredientes aptos para el consumo humano.

Para la elaboración de galletas como se menciona en la NTP 206.001 (INACAL, 2016), debe realizarse bajo condiciones higiénicas adecuadas, cumpliendo con las buenas prácticas de manufactura, conforme a la normativa sanitaria vigente.

Según Carlos (2023), el término "galleta", proveniente del francés gallette, se refiere, según la Real Academia Española, a una pasta hecha con harina, azúcar, huevo, manteca y otros ingredientes, moldeada en pequeñas porciones y horneada. Además, se considera galleta a todo producto alimenticio elaborado principalmente a partir de harina, grasas comestibles y agua, con o sin la adición de azúcares, aditivos, aromas o especias, que se somete a amasado y tratamiento térmico, resultando en un producto de baja humedad y múltiples presentaciones. Su sabor, calidad, buena conservación, facilidad de transporte y precio accesible han contribuido a su popularidad, especialmente entre el público infantil, siendo consumida tanto como snack como complemento alimenticio.

2.5.1 Clasificación de las galletas

Según Carlos (2023) existen variedades de galletas, por lo que las clasifica de esta manera:

- Galleta salada
Estas galletas se distinguen por su forma pequeña y plana; al ser horneadas, desarrollan una textura crocante y un tono dorado. Generalmente, se consumen como aperitivo.
- Galleta dulce
Estas galletas se destacan por su alto valor energético, resultado del contenido significativo de azúcares y grasas en su composición.
- Galleta Waffer
Una característica distintiva de estas galletas es la incorporación de un relleno, lo que permite formar un tipo de sándwich.
- Galleta con relleno
- Galleta recubiertas o revestidas

2.5.2 Requisitos generales de las galletas

Tabla 12

Criterios fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas

PRODUCTO	PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Pan de molde (blanco, integral y sus productos tostados)	Humedad	40% - Pan de molde
		6% - Pan tostado
	Acidez (expresada en ácido sulfúrico)	0.5% - Base seca
	Cenizas	4.0% - base seca
Pan común o de labranza (francés, baguette, y similares)	Humedad	23% (min) – 35% (máx)
	Acidez (expresada en ácido sulfúrico)	No más del 0.25% calculada sobre la base de 30% de agua
Galletas	Humedad	12%
	Cenizas totales	3%
	Índice de peróxido	5 mg/kg
	Acidez (expresada en ácido láctico)	0.1%

Fuente: Ministerio de Salud. (2010).

En Perú, las galletas están reguladas por la "Norma Técnica de Salud N°088-MINSA/DIGESA-V01. Norma sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería". Esta norma define los criterios fisicoquímicos y microbiológicos, junto con los límites máximos permisibles.

Asimismo, dispone que toda harina de trigo empleada en la elaboración de productos de panadería y pastelería debe ser enriquecida con micronutrientes con el propósito de mejorar su aporte nutricional.

2.5.3 Producción de galletas

El consumo de galletas en Perú ha disminuido en un 29% desde el 17 de junio de 2019 debido a la obligación de incluir octógonos de advertencia, que informan sobre el alto contenido de sodio, azúcares, grasas saturadas y grasas trans. Además, en ese mismo mes, la frecuencia de compra de galletas se redujo en un 7% (Esquivel, 2023). En consecuencia, el consumo de galletas en Perú alcanza los 4.1 kilos por persona, y el 80% de este consumo ocurre fuera del hogar, principalmente en paquetes individuales, según informó la empresa Alicorp. El mercado de galletas en el país se divide en galletas dulces, que representan el 60%, y galletas saladas, que a su vez se subdividen en galletas de soda, integrales y cocktail. Se estima que el consumo de galletas saladas cocktail envasadas alcanzará las 16,500 toneladas, un 8% más que el volumen registrado en 2011 (Esquivel, 2023).

2.5.4 2.5.4 Formulación de galletas

La formulación es un proceso mediante el cual se combinan distintas sustancias en proporciones específicas con el objetivo de desarrollar un producto determinado. Este procedimiento requiere de una experimentación repetitiva con los ingredientes involucrados, a fin de lograr las propiedades deseadas en el producto final. De manera similar, muchos productos alimenticios se elaboran a partir de mezclas, lo que hace necesario aplicar diseños experimentales enfocados en mezclas. Estos diseños permiten, entre otras cosas, identificar los ingredientes de la mezcla y sus posibles interacciones, modelar las variables de interés según las proporciones de los ingredientes, y utilizar dicho modelo para establecer las cantidades óptimas de cada componente que garanticen una formulación adecuada (Esquivel, 2023).

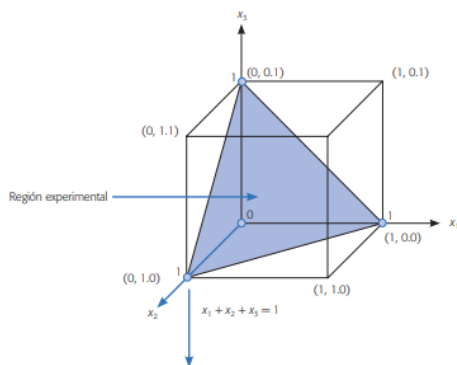
2.6 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de experimentos implica emplear el método científico para adquirir conocimientos sobre un sistema o proceso a través de pruebas organizadas de manera estratégica. Este método combina técnicas estadísticas y de ingeniería para facilitar la comprensión de situaciones complejas, incluyendo las interacciones entre causas y efectos.

En los experimentos con mezclas, los factores corresponden a los componentes o ingredientes de una mezcla. Cabe destacar que sus niveles están interrelacionados; por ejemplo, si $x_1, x_2, \dots, x_q$ representan las proporciones de p componentes en una mezcla, estas proporciones no son independientes entre sí (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Figura 4

Espacio de los factores restringidos para mezclas con $q=3$ componentes



Nota. Gutiérrez y De la Vara, (2008).

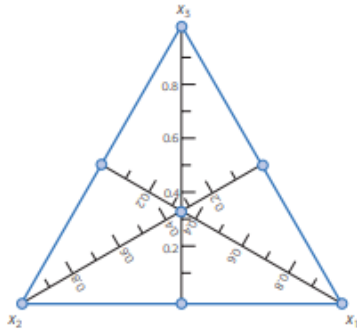
2.6.1 Diseño simplex de centroide

El diseño básico conocido como simplex con centroide se utiliza en experimentos con pocos componentes y se define mediante 2^{q-1} puntos. Estos incluyen: las q mezclas puras, los puntos medios de las aristas generadas por cada par de vértices del simplex $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0), \dots, (0, 0, \dots, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, los centroides de las caras formadas por cada grupo de tres vértices del simplex $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0), \dots, (0, \dots, 0, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$, y así sucesivamente hasta llegar al centroide global $(\frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$. Para el caso de $q = 3$, el simplex con centroide incluye las mezclas (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0); (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}); (0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) \text{ y } (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$$

Figura 5

Diseño simplex con centroide ($q = 3$)



Nota. Gutiérrez y De la Vara, (2008).

2.6.2 Diseño óptimo

El diseño óptimo se define como aquel que resulta superior según un criterio específico. Este enfoque generalmente incluye los siguientes pasos: especificar un modelo, identificar la región de interés, determinar el número de corridas, establecer los criterios de optimalidad y seleccionar los puntos de diseño de un conjunto de puntos candidatos (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

2.6.2.1 Optimal D

El diseño D-Optimal es un algoritmo computacional utilizado para reducir el volumen de la región de confianza conjunta asociada al vector de los coeficientes de regresión definido en el modelo establecido (Montgomery ,2004).

$$(X'X)^{-1}$$

Las limitaciones en los componentes de una mezcla definen la región experimental factible como una zona o subregión dentro del simplex. Estas restricciones se expresan de la siguiente forma:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1$$

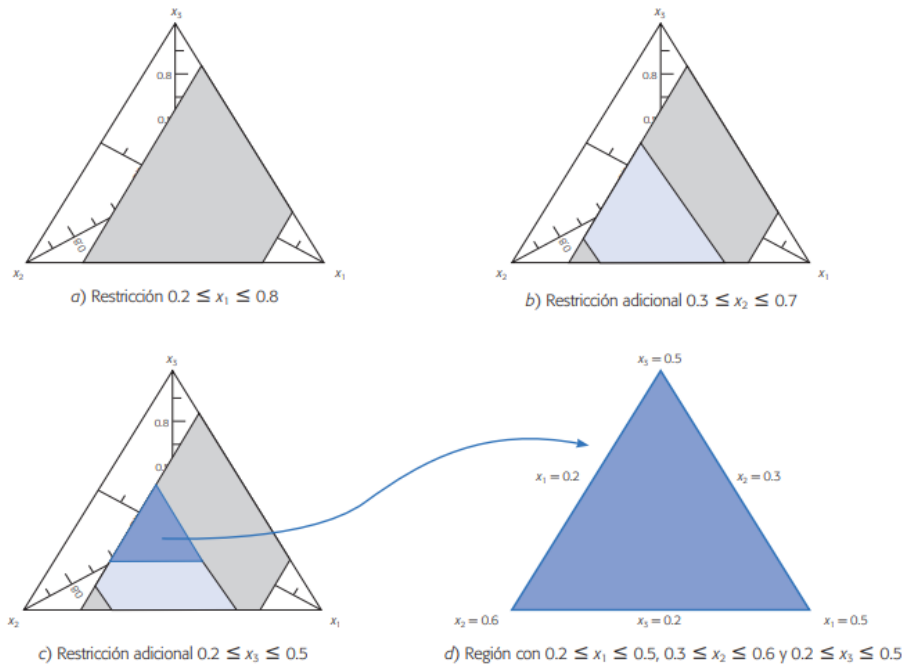
Donde a_i corresponde a la restricción inferior, b_i a la restricción superior y x_i representa la mezcla.

se muestra un experimento de tres componentes en la figura 6 donde x_1 está limitado a $0.2 \leq x_1 \leq 0.8$. Esto implica que no es posible evaluar mezclas puras, ya que deben cumplir la condición $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Al establecer una restricción de $0.3 \leq x_2 \leq 0.7$, la región experimental corresponde a la ilustrada en la Figura 7.b. Si se aplica una restricción adicional de $0.2 \leq x_3 \leq 0.5$, la región experimental cambia a la indicada en la

Figura 7.c. Esta última restricción reduce aún más los valores posibles de x_1 y x_2 , dando como resultado la región experimental final, que está delimitada por $0.2 \leq x_1 \leq 0.5$, $0.3 \leq x_2 \leq 0.6$ y $0.2 \leq x_3 \leq 0.5$, tal como se observa en la Figura 7.d. (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Figura 6

Regiones experimentales con restricciones en $q = 3$ componentes



Nota. Gutiérrez y De la Vara, (2008).

2.6.2.2 Modelos de mezclas

Los modelos para las mezclas se diferencian de los polinomios usuales empleados en los diseños de superficie de respuesta debido a la restricción

$$\sum X_i = 1$$

Asimismo, las formas estándares de los modelos para mezclas que se utilizan ampliamente son las siguientes:

Lineal

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i$$

Cuadrático

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j$$

Cubico completo

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i < j}^p \delta_{ij} X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k$$

Cubico especial

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k$$

En las ecuaciones lineal, cuadrática cubico completo y cubico especial, el parámetro β_i representa la respuesta esperada para la mezcla pura $X_i = 1$ y $X_j = 0$ cuando $j \neq i$. A la porción $\sum \beta_i x_i$ se le llama porción de mezcla lineal. Asimismo, hay curvatura derivada de una mezcla no lineal entre pares de componentes, los parámetros β_{ij} representa una mezcla sinérgica o bien antagónica. Y los términos de órdenes superiores son necesarios en los modelos para mezclas porque: 1) Los fenómenos estudiados pueden ser complejos 2) La región experimental con frecuencia es la región de operabilidad completa y, en consecuencia, es grande y requiere un modelo elaborado (Montgomery, 2004).

2.7 EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial es una ciencia que se encarga de medir, analizar e interpretar las respuestas que generan los alimentos o materiales en los sentidos humanos, como la vista, el gusto, el olfato, el oído y el tacto. Dado que no existe aparato alguno capaz de sustituir la percepción sensorial humana, este tipo de evaluación se considera fundamental en cualquier investigación relacionada con alimentos (Guivar y Menos, 2021)

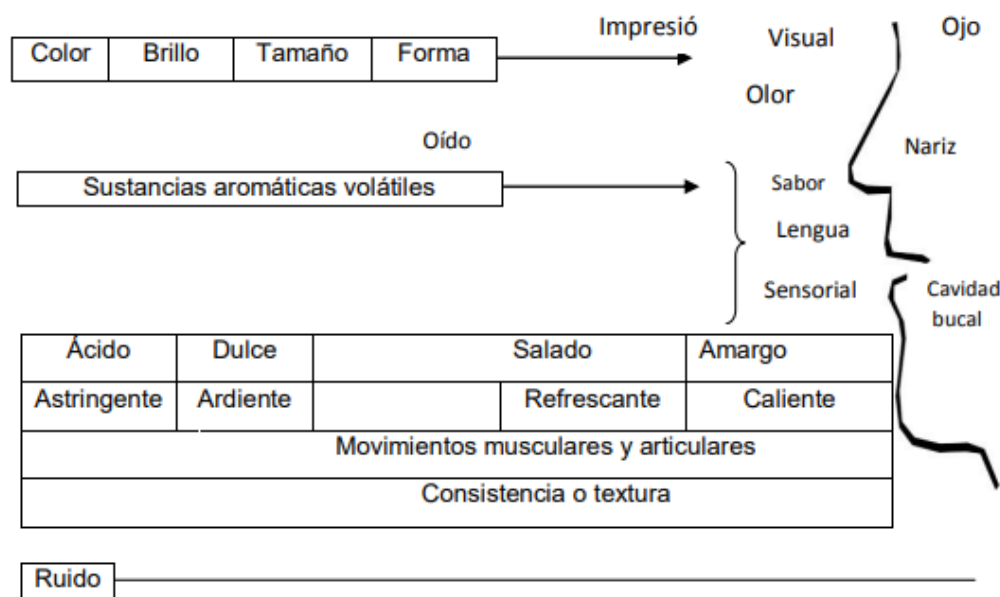
Se trata de la caracterización y el análisis de la aceptación o rechazo que un catador o consumidor manifiesta hacia un alimento, basándose en las sensaciones percibidas desde el momento en que lo observa hasta después de consumirlo. Es importante considerar que estas percepciones están influenciadas principalmente por el individuo, el contexto espacial y temporal. También se puede definir de forma más simple como el análisis de las propiedades sensoriales, que implica medir y cuantificar productos alimenticios o materias primas a través de los cinco sentidos. La percepción

de cualquier estímulo, ya sea de naturaleza física o química, depende fundamentalmente de la integración de la información captada por los órganos sensoriales, también conocidos como receptores periféricos. Estos órganos codifican la señal recibida y generan una respuesta sensorial que varía según la intensidad, duración y calidad del estímulo, lo cual permite al individuo determinar su aceptación o rechazo (Hernández, 2005).

El éxito de un nuevo producto está determinado por la aceptación o rechazo por parte del consumidor final, lo cual está directamente relacionado con sus propiedades organolépticas, como el color, sabor, aroma y textura. Por ello, estos atributos deben ser considerados cuidadosamente durante la evaluación sensorial. Las evaluaciones se realizan con el apoyo de jueces encargados de medir el nivel de aceptación del producto por parte del consumidor (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Figura 7

Sensograma



Nota. Fuente: Hernández, (2005).

2.7.1 Escalas hedónicas

Las pruebas hedónicas tienen como objetivo principal evaluar el nivel de agrado o desagrado que un producto genera en los consumidores. Este tipo de pruebas se basa en la utilización de escalas categóricas que permiten cuantificar las preferencias sensoriales. Dichas escalas pueden variar en la cantidad de categorías, pero

usualmente incluyen opciones que van desde expresiones como “me gusta muchísimo”, pasando por una posición neutral como “no me gusta ni me disgusta”, hasta llegar a “me disgusta muchísimo”. Durante la evaluación, los panelistas deben probar las muestras proporcionadas y seleccionar, dentro de la escala, la opción que mejor refleje su percepción o reacción ante el producto. Estas pruebas son fundamentales para conocer la aceptación del producto por parte del consumidor final (Guivar y Menos, 2021).

El catador o consumidor final realiza un juicio inmediato sobre lo que siente al interactuar con una materia prima, un producto en proceso o producto terminado. Primero identifica y describe la cualidad percibida y, posteriormente, evalúa su intensidad. De este modo, si la percepción resulta agradable, se genera una respuesta de agrado; en cambio, si la experiencia es desfavorable, el producto será rechazado, generando una sensación de desagrado. Las diferentes percepciones que un catador siente respecto al producto alimenticio se observan en la figura 7.

Tabla 13

Escala de evaluación sensorial

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

Fuente: Díaz y Espinoza (2022).

2.8 CALIDAD FISICOQUÍMICA

La calidad fisicoquímica de los alimentos es el conjunto de propiedades físicas, estructurales y composicionales químicas que determinan la estabilidad, inocuidad, textura, valor comercial y aptitud de un producto para su procesamiento o consumo. A diferencia de la calidad nutricional, que mide el impacto biológico de los nutrientes, la fisicoquímica analiza parámetros como la actividad del agua, el pH, la acidez titulable, la viscosidad, el color y el porcentaje de humedad. Igual y Martínez (2022)

2.8.1 Proteína

Las proteínas están formadas por un grupo de aminoácidos que el cuerpo humano utiliza para mantener y reparar tejidos y músculos. Además, el cuerpo las emplea para producir hormonas. Las proteínas desempeñan diversas funciones, entre ellas, la relacionada con el transporte de la hemoglobina de un órgano a otro. (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Las proteínas vegetales representan una fuente clave de nutrientes y compuestos funcionales, apreciadas por su diversidad, accesibilidad y bajo costo. Se valoran tanto por sus propiedades tecnológicas como por sus aportes nutricionales, e incluso pueden emplearse en la elaboración de envases biodegradables. Generalmente, se extraen de semillas de legumbres, cereales, oleaginosas y, en menor proporción, de hojas verdes. La cantidad de proteína varía considerablemente entre variedades de una misma especie, influida por factores genéticos, ambientales y ecológicos. Su aplicación en la industria alimentaria depende de su capacidad para resistir los procesos de transformación y del contenido de compuestos antinutricionales presentes en la planta de origen (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Las proteínas desempeñan un papel fundamental en los sistemas alimentarios, no solo por su valor nutricional, sino también porque sus componentes nitrogenados contribuyen al mantenimiento estructural y al crecimiento del organismo que las consume. Además, pueden incorporarse como ingredientes en diversos productos alimenticios, y gracias a sus propiedades funcionales, influyen en la estructura y las características finales del alimento (Badui, 2013, pp. 55–58).

2.8.2 pH

El pH es un indicador que mide el nivel de acidez o alcalinidad de una solución, reflejando la concentración de iones de hidrógeno en ella. Las siglas «pH» hacen referencia al potencial de hidrógeno o de hidrogeniones. Aunque no existe un consenso absoluto sobre el significado de la «p», la Fundación Carlsberg sugiere que representa el «poder de hidrógeno». Un pH controlado ayuda a mejorar la vida útil del producto, ya que ciertos niveles de acidez pueden inhibir el crecimiento de microorganismos (Guivar y Menos, 2021)

Tabla 14

Comparación de las características físicas de las galletas dulces tipo wafer de harina de trigo y de harina compuesta con arracacha

Características físicas	Wafer 12 % Harina de arracacha 88 % Harina de trigo	Wafer 100% Harina de trigo
pH	4,98 ± 0,01 ^a	4,96 ± 0,01 ^a
Actividad del agua	0,330 ± 0,002 ^a	0,334 ± 0,002 ^a
Color (método Hunter Lab)		
L	67,86 ± 0,04 ^a	66,94 ± 0,04 ^b
a	1,58 ± 0,02 ^b	2,62 ± 0,02 ^a
b	28,46 ± 0,02 ^a	28,48 ± 0,02 ^a

Fuente: García y Pacheco (2007).

2.8.3 Fibra

Escudero y Gonzáles (2006) señalan que la fibra dietética se considera hoy en día un componente clave para una alimentación saludable. Se incluye dentro de este término a los polisacáridos de origen vegetal y la lignina, los cuales no pueden ser descompuestos por las enzimas digestivas humanas. En esencia, la fibra dietética engloba las partes comestibles de las plantas o carbohidratos similares que no son digeridos ni absorbidos en el intestino delgado, pero que se fermentan total o parcialmente en el intestino grueso. Este grupo abarca polisacáridos, oligosacáridos, lignina y otros compuestos asociados de las plantas. Además, se le atribuyen beneficios fisiológicos, como facilitar el tránsito intestinal, reducir los niveles de colesterol en sangre y regular la glucosa.

2.8.4 Humedad

La humedad afecta significativamente la fluidez, compresibilidad y cohesión de los materiales. En los sectores agrícola y alimentario, un exceso de humedad puede provocar el deterioro y mal estado de los productos. Los métodos tradicionales para medir el contenido de humedad suelen ser lentos, invasivos y demandan un alto nivel de trabajo manual. El método más común consiste en la determinación analítica a través de la pérdida de peso, empleando técnicas de secado en mufla o estufa. En este procedimiento, la humedad se calcula a partir de la variación en el peso de la muestra tras la evaporación del agua absorbida en el horno (Tirado et al., 2015).

2.9 CALIDAD NUTRICIONAL

La calidad nutricional se define como la capacidad intrínseca de una matriz alimentaria para aportar la energía y los nutrientes esenciales (macronutrientes y micronutrientes) requeridos por el organismo humano para cumplir sus funciones metabólicas, considerando tanto su cantidad y densidad como su biodisponibilidad y grado de aprovechamiento real. Su evaluación contemporánea ha evolucionado desde el simple conteo de compuestos bioquímicos aislados hacia el análisis de patrones dietéticos complejos y su impacto directo en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Lange et al., 2022).

2.9.1 Calcio

El calcio es el mineral más abundante en el organismo humano, representando aproximadamente el 2% del peso corporal, lo que equivale entre 1,000 y 1,500 gramos en un adulto promedio. La mayor parte, alrededor del 99%, se encuentra en los huesos, y solo un 1% circula en los fluidos corporales y tejidos blandos. La ingesta diaria recomendada es de 800 mg para adultos y niños en desarrollo, aunque en el caso de mujeres embarazadas o en periodo de lactancia, esta cantidad puede aumentar hasta un 50%. Aproximadamente el 40% del calcio consumido se absorbe en el intestino delgado, mientras que el resto es eliminado en las heces. Esta absorción mejora con la presencia de vitamina D, ciertos aminoácidos como lisina y arginina, lactosa y un ambiente ácido, ya que en condiciones alcalinas el calcio es menos soluble. En la parte final del intestino delgado, la fermentación de la lactosa produce ácido láctico, lo que reduce el pH y favorece la solubilidad y, por ende, la absorción del calcio. Por su contenido elevado de calcio, vitamina D y lactosa, la leche se considera una de las fuentes más eficientes de este mineral para el ser humano (Badui, 2013, pp. 396-397).

2.9.2 Hierro

El hierro cumple múltiples funciones esenciales en el cuerpo humano, siendo clave para el transporte de oxígeno mediante la hemoglobina y su almacenamiento en la mioglobina. También participa como cofactor en numerosas reacciones enzimáticas. En la alimentación, este mineral se presenta en dos formas: hierro hemo, que se encuentra principalmente en carnes como la de res, pollo y pescado; y hierro no hemo, presente mayormente en cereales, legumbres y vegetales. El hierro hemo se absorbe con mayor eficiencia (entre un 20% y 30%), mientras que la absorción del hierro no hemo es menor (entre 2% y 10%) y depende en gran medida de otros componentes de

la dieta. Entre los elementos que dificultan su absorción se encuentran los fitatos, polifenoles, fosfatos y el calcio; en cambio, la vitamina C, el ácido cítrico, algunos péptidos ricos en cisteína, el etanol y los alimentos fermentados favorecen su aprovechamiento por el organismo (Badui, 2013, p. 397).

El hierro es un mineral fundamental para la vida, ya que interviene en casi todos los procesos de oxidación-reducción del organismo. Se encuentra integrado en enzimas esenciales del ciclo de Krebs, en la respiración celular y en el transporte de electrones a través de los citocromos. También forma parte de enzimas que preservan la integridad celular, como las catalasas, peroxidasas y oxigenasas. Su alta capacidad redox y su potencial para generar compuestos tóxicos altamente reactivos hacen que su metabolismo esté regulado de forma estricta por mecanismos específicos. En el cuerpo humano, el hierro se distribuye principalmente en dos compartimentos: el funcional, que incluye proteínas como la hemoglobina, mioglobina, transferrina y varias enzimas que lo utilizan como cofactor o lo contienen en forma de grupo hemo; y el de depósito, formado por la ferritina y la hemosiderina, responsables de almacenar el hierro. En una persona sana, el contenido total de hierro corporal varía entre 3.5 y 4 gramos en mujeres y entre 4 y 5 gramos en hombres. De este total, aproximadamente el 65 % está en la hemoglobina, un 15 % en la mioglobina y otras enzimas, y alrededor del 20 % se encuentra almacenado como hierro de depósito. Solo entre el 0,1 y el 0,2 % circula en la sangre unido a la transferrina (Forrellat et al., 2000)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

Se desarrolló en el laboratorio Análisis de alimentos, laboratorio de control de calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, laboratorio de Transferencia de Masa de la Escuela Profesional de Ingeniería Química y en el Centro Experimental de Panificación de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.1.1 Diseño metodológico

El presente estudio tuvo los siguientes aspectos de diseño de investigación metodológico.

3.1.2 Tipo de investigación

El presente estudio respondió a un tipo de investigación aplicativo y experimental.

3.1.3 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo.

3.2 MATERIA PRIMA

- Harina de trigo
- Harina de arracacha (variedad amarilla)
- Harina de cushuro

3.2.1 Insumos

- Azúcar

- Manteca vegetal
- Leche en polvo
- Bicarbonato de sodio
- Polvo para hornear

3.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1 Materiales

- 18 placas Petri
- 18 crisoles
- 1 probeta 250 mL
- 1 mortero
- Espátula
- Pinza
- Tamiz malla 100 (0.150 mm)
- Moldes para galletas
- Rodillo
- Recipientes

3.3.2 Equipos

- Estufa (Wärmeschränk WS 30/31)
- Balanza analítica (marca OHAUS, con capacidad de 200 g)
- Digestor de proteínas
- Destilador de proteínas (Distillation Unit K-350)
- Equipo de Soxhlet
- Cocina industrial (marca surge)
- Termómetro (-10 a 250 °C)

3.3.3 Materiales

- Solución 0,1N de hidróxido de sodio
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1%
- Solución de ácido sulfúrico
- Solución de ácido sulfúrico 0, 95%
- Solución indicadora de ácido bórico

- Hidróxido de sodio 1,25%.

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 Diseño experimental para el determinar los tratamientos

Para la formulación de galletas enriquecidas con harina de Arracacha y harina de Cushuro, aplicando la metodología de diseño de mezclas D-Optimal mediante el programa Desing Expert 13. Considerando las siguientes restricciones Harina de Arracacha hasta 9.614 %, harina de Cushuro hasta 6.555 % y harina de Trigo hasta 27.51 %, en la tabla 15 se observa los 12 tratamientos experimentales 1 testigo.

Tabla 15

Tratamientos con diseño de mezclas con el programa Desing Expert 13.

Tratamientos	Harina de Arracacha %	Harina de Cushuro %	Harina de trigo %
TESTIGO	0.00	0.00	43.70
T1	0.87	0.87	41.95
T2	7.15	6.19	30.36
T3	5.24	3.71	34.74
T4	5.67	0.87	37.15
T5	4.44	6.56	32.70
T6	9.61	3.47	30.62
T7	5.24	3.71	34.74
T8	9.61	0.87	33.21
T9	0.87	6.56	36.27
T10	1.81	3.23	38.66
T11	5.24	3.71	34.74

Tabla 16

Diseño experimental de las galletas

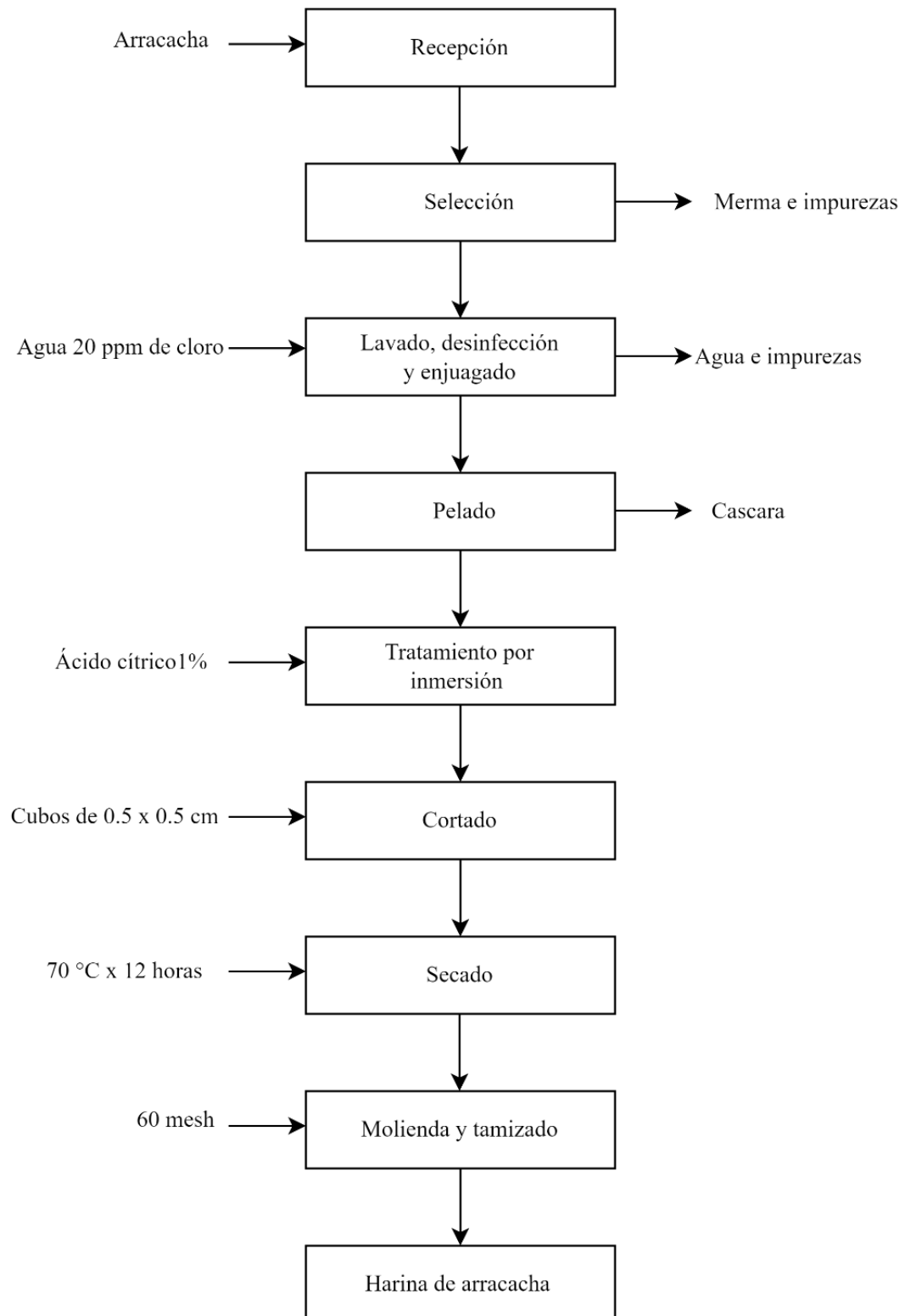
Tratamientos	Variables del Independiente			Variables dependientes									
	Harina de Trigo	Harina de Arracacha	Harina de Cushuro	Hierro	Calcio	Proteinas	Humedad	pH	Fibra	Textura	Olor	Sabor	Color
	%	%	%	mg	mg	%	%	%	%	Escala	Escala	Escala	Escala
T	43.70	0.00	0.00										
T1	41.95	0.87	0.87										
T2	30.36	7.15	6.19										
T3	34.74	5.24	3.71										
T4	37.15	5.67	0.87										
T5	32.70	4.44	6.56										
T6	30.62	9.61	3.47										
T7	34.74	5.24	3.71										
T8	33.21	9.61	0.87										
T9	36.27	0.87	6.56										
T10	38.66	1.81	3.23										
T11	34.74	5.24	3.71										
T12	27.53	9.61	6.56										
X1: Harina de trigo (%)													
X2: Harina de arracacha (%)													
X3: Harina de cushuro (%)													

3.4.2 Elaboración de harina de Arracacha (variedad amarilla)

- **Recepción:** Se recepcionó las raíces de arracacha en estado fresco.
- **Selección:** Las raíces de arracacha deben ser de calidad y sin presencia de pudrición.
- **Lavado, desinfección y enjuagado:** Se realizó manualmente, donde se utilizó una solución de 20 ppm hipoclorito de sodio y se enjuagó con agua limpia
- **Pelado:** Con ayuda de un cuchillo se retira las cáscaras.
- **Tratamiento por inmersión:** Se preparó una solución de ácido cítrico al 1% al cual se sumerge la arracacha pelada.
- **Cortado:** Se realizó de manera mecánica, el cual tiene como finalidad disminuir el tamaño.
- **Secado:** Se dejó secar la arracacha a una temperatura de 70 °C x 12 horas en un secador.
- **Molienda y tamizado:** Se molieron los trozos secados de manera mecánica para obtener partículas homogéneas de 60 mesh.
- **Harina de Arracacha:** Finalmente se obtuvo harina de arracacha pura, homogénea y lista para su almacenamiento.

Figura 8

Diagrama para la producción de harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)

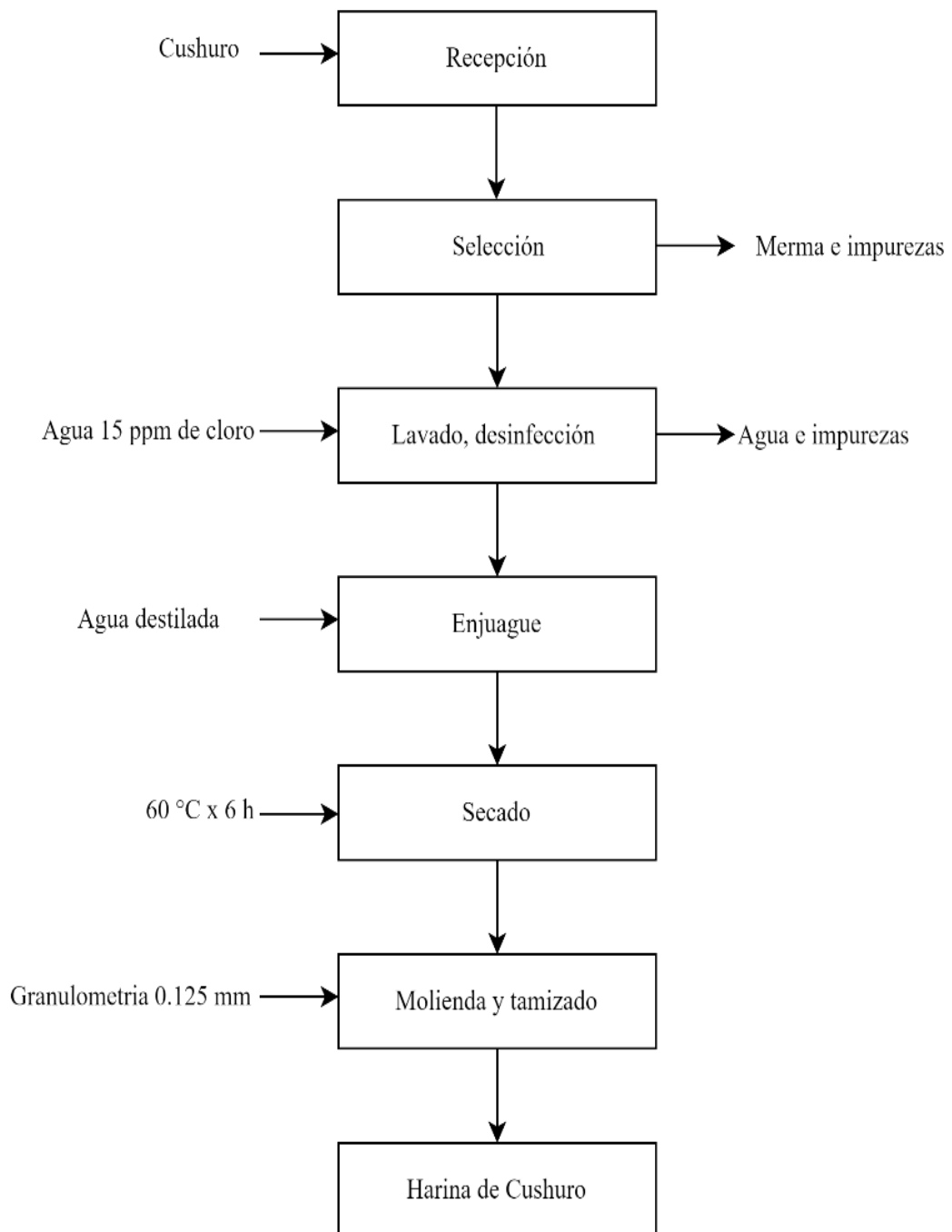


3.4.3 Elaboración de la harina de Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

- **Recepción:** Se recepcionó en estado fresco con sus respectivas características ovoides y lisas.
- **Selección:** Las algas se seleccionaron por tamaño, homogeneidad y buen estado general.
- **Lavado, desinfección:** Se realizó manualmente, el cual se usa una solución de 15 ppm hipoclorito de sodio para eliminar contaminantes.
- **Enjuague:** Se realizó manualmente con abundante agua limpia.
- **Secado:** Se dejó secar a la temperatura de 60°C durante 6 horas en un secador.
- **Molienda y tamizado:** Se realizó de manera mecánica con una máquina tritadora. Se tamizó en un tamiz de harina de 0.125 mm.
- **Harina de Cushuro:** se obtuvo harina de cushuro con el color característico y lista para su almacenamiento.

Figura 9

*Diagrama para la producción de harina de Cushuro (*Nostoc sphaericum*)*



3.4.4 Formulación y elaboración de las galletas

La formulación consta de 1 testigo y 12 tratamientos a base de harina de trigo, harina de arracacha y harina de cushuro el cual se observa en la tabla 17, donde cada tratamiento suma 43.7 % y los demás insumos donde se mantiene constante fue de 56.3%.

Tabla 17

Formulación base para producción de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro.

Ingredientes	Peso (g)	Porcentaje
Manteca vegetal	249.3	24.93%
Azúcar blanca	175	17.5%
Leche en polvo	43.7	4.37%
Polvo de hornear	4.4	0.44%
Bicarbonato de sodio	3.1	0.31%
Agua	87.5	8.75%
TOTAL		56.3 %

Tabla 18*Formulaciones para producción de galletas enriquecidas.*

TRATAMIENTOS	HARINAS (%) = 43.7			CONSTANTES (%) = 56.3						100
	Harina de trigo	Harina de arracacha	Harina de cushuro	Manteca	Azúcar	Leche en polvo	Polvo de hornear	NaHCO ₃	H ₂ O	%
T	43.7	0	0	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T1	41.95	0.87	0.87	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T2	30.36	7.15	6.19	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T3	34.74	5.24	3.71	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T4	37.15	5.67	0.87	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T5	32.70	4.44	6.56	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T6	30.62	9.61	3.47	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T7	34.74	5.24	3.71	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T8	33.21	9.61	0.87	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T9	36.27	0.87	6.56	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T10	38.66	1.81	3.23	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T11	34.74	5.24	3.71	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100
T12	27.53	9.61	6.56	24.93	17.5	4.37	0.44	0.31	8.75	100

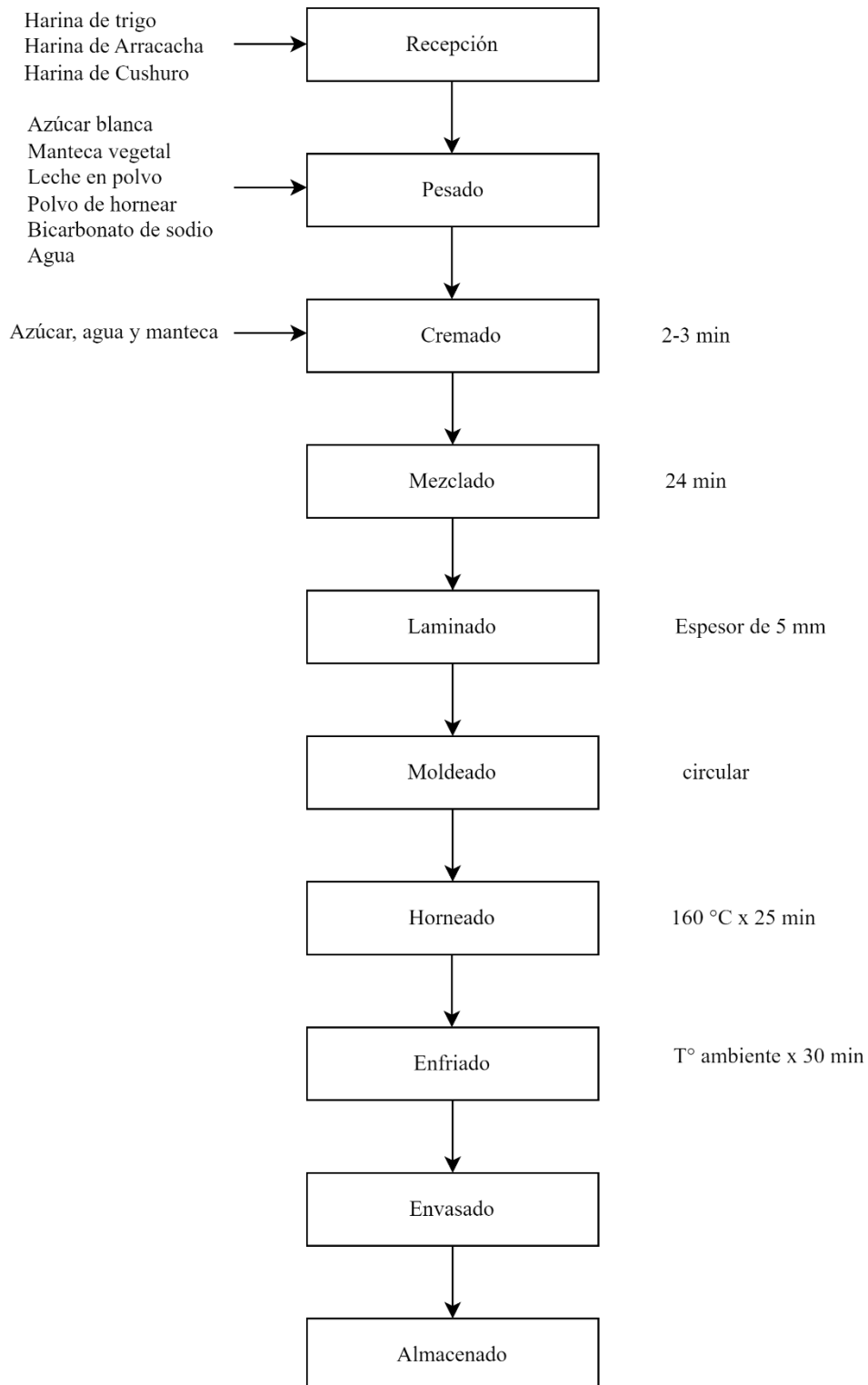
Tratamientos: T; T₁; T₂; T₃; T₄; T₅; T₆; T₇; T₈; T₉; T₁₀; T₁₁; T₁₂

3.4.5 Proceso de elaboración de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro

- **Recepción:** Las materias primas y los ingredientes se recibieron, se verificó que estén en buen estado, así como también la fecha de vencimiento.
- **Pesado:** Las materias primas y los ingredientes se pesaron en una balanza analítica de acuerdo a la formulación establecida.
- **Cremado:** Se combinó el azúcar con el agua de acuerdo a cada formulación para lo cual se usó un batido. Luego se agregó la manteca vegetal seguido del batido. Este proceso duró de 2 a 3 min.
- **Mezclado:** Después del cremado se prosiguió incorporando la leche en polvo, seguido de las harinas de trigo, harina de arracacha y harina de cushuro, polvo de hornear y bicarbonato de sodio; este proceso dura un aproximado de 24 min para que la masa logre llegar a la consistencia deseada.
- **Laminado:** La masa se extendió con ayuda de un rodillo de madera con un espesor de 5 mm.
- **Moldeado:** Se utilizó un cortador circular de 5 cm de diámetro para luego pasar a una bandeja de acero inoxidable.
- **Horneado:** Las bandejas de acero inoxidable junto con la masa moldeada se llevaron al horno rotativo a 160 °C durante 25 min.
- **Enfriado:** Se dejó enfriar durante 30 min a temperatura ambiente.
- **Envasado:** Fueron envasadas y sellados en bolsas de polipropileno en grupos de 4 und.
- **Almacenado:** Las galletas fueron almacenadas en un ambiente seco y fresco.

Figura 10

Diagrama del proceso de elaboración de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro



3.4.6 Evaluación del análisis nutricional, análisis fisicoquímico y análisis sensorial en galletas enriquecidas.

3.4.6.1 Análisis nutricional

- **Calcio:** AACC Method 40–70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.
- **Hierro:** AACC Method 40–70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

3.4.6.2 Análisis fisicoquímico

- **Proteína:** Se determinó mediante el método Kjeldahl- Método AOAC.
- **pH:** Se realizó en base a la (NTP 207.018:2011, 2016)
- **Fibra:** Método directo – AOAC (2005), 962.09.
- **Humedad:** NTP 206.011 Método de la Estufa.

3.4.6.3 Análisis sensorial

La evaluación estuvo conformada por 30 jueces semi-entrenados (estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Ayacucho), para ello se utilizó la prueba afectiva, tomando en cuenta una escala hedónica de 7 puntos; considerando los atributos de color, olor, textura y sabor de las diferentes formulaciones de galletas enriquecidas con harina de arracacha y harina de cushuro.

Tabla 19

Escala de evaluación sensorial

Puntaje	Escala hedónica
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	Me disgusta levemente
4	No me disgusta ni me disgusta
5	Me gusta levemente
6	Me gusta moderadamente
7	Me gusta mucho

Fuente: Diaz y Espinoza (2022).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 EVALUACION DE NUTRICIONAL

En el anexo 1 se hallan los resultados obtenidos de análisis nutricional de las galletas enriquecidas con harinas de arracacha y cushuro.

4.1.1 Análisis del contenido de hierro

A) Análisis de regresión

Se realizó un análisis de regresión para seleccionar el modelo matemático más adecuado. Basado en el resumen de ajuste el modelo **cuadrático** (ver tabla 20) fue seleccionado como el más apropiado ($p < 0.05$). Este modelo demostró un excelente coeficiente de determinación ajustado ($R^2\text{-aj} = 0,9931$) y una alta capacidad de predicción ($R^2\text{-pred} = 0,9789$), indicando que es capaz de explicar más del 99% de la variabilidad en el contenido de hierro. A pesar de detectarse una falta de ajuste significativa ($p < 0.05$), la robustez general del modelo permite su uso para el análisis de los efectos de los componentes y la posterior optimización.

Tabla 20

Variable de respuesta del hierro en la mezcla

Fuente	Secuencial	Falta de ajuste	Ajuste	Previsto
	P – valor	P - valor	R ²	R ²
Lineal	0,0001	< 0.0001	0,8332	0,7590
Cuadrático	< 0,0001	< 0.0001	0,9931	0,9789
Cubico especial	0,8167	< 0.0001	0,9918	0,8965
Cubico	< 0,0001		1,0000	

B) Análisis de varianza

El análisis de varianza se realizó para determinar la significancia estadística del modelo cuadrático ajustado para la respuesta de hierro. Los resultados demuestran que el modelo es altamente significativo ($p < 0,0001$), con un valor F de 316,44, lo que confirma una relación estadísticamente robusta entre la formulación de las harinas y el contenido de hierro en las galletas.

Tabla 21

Análisis de varianza del contenido de hierro en la mezcla

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	3989,20	5	797,84	316,44	< 0.0001
Mezcla lineal	3457,93	2	1728,96	685,75	< 0.0001
AB	0,7293	1	0,7293	0,2892	0,6101
AC	452,05	1	452,05	179,30	< 0,0001
BC	407,76	1	407,76	161,73	< 0,0001
Residual	15,13	6	2,52		
Falta de ajuste	15,13	4	3,78	16207,67	< 0.0001
Error puro	0,0005	2	0,0002		
Total Corregido	4004,33	11			

Al examinar los términos del modelo, se encontró que las interacciones trigo-cushuro (AC) y arracacha-cushuro (BC) fueron estadísticamente significativas, con p-valores de < 0,0001, respectivamente. Esto indica un efecto sinérgico, donde la combinación de harina de cushuro con las otras dos harinas potencia el contenido de hierro más allá de sus efectos individuales. Por otro lado, la interacción trigo-arracacha (AB) no fue significativa ($p = 0,6101$). Estos hallazgos sugieren que la Harina de cushuro es el componente clave, y su efecto se ve maximizado al interactuar con los demás ingredientes. A pesar de que la prueba de falta de ajuste resultó significativa ($p < 0,0001$), la excelente capacidad predictiva del modelo, evidenciada por un R^2 ajustado de 0,9931, respalda su validez para el análisis.

Según la Tabla 21, el modelo para el hierro debe presentar un P-valor < 0,05 para ser considerado estadísticamente significativo. En experimentos con insumos como el cushuro, la significancia indica que la variación del hierro no es al azar, sino que depende estrictamente de las proporciones de la mezcla. El uso del programa

Design Expert 13 y el modelo D-Optimal busca maximizar la precisión en la estimación de los efectos. Según Montgomery (2004), un ANOVA significativo valida que el modelo lineal o cuadrático ajustado describe correctamente el comportamiento del hierro en la galleta.

Tabla 22

Coefficientes estimados de la mezcla en el contenido de hierro

Componentes	Coefficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	47,95	1	1,44	44,43	51,47	2,89
B-Harina de arracacha	48,28	1	5,37	35,13	61,43	19,96
C-Harina de cushuro	-46,98	1	16,48	-87,30	-6,66	83,78
AB	6,25	1	11,61	-22,17	34,66	11,21
AC	354,86	1	26,50	290,01	419,70	35,86
BC	353,68	1	27,81	285,63	421,73	35,28

A partir del análisis de regresión, se obtuvo la ecuación del modelo en términos de componentes codificados que describe el contenido de hierro (Ecuación 1).

$$\text{Hierro} = 47,95A + 48,28B - 46,98C + 6,25AB + 354,86AC + 353,68BC$$

El análisis de los coeficientes del modelo revela la magnitud de los efectos de las interacciones. Los coeficientes para las interacciones AC (trigo-cushuro) y BC (arracacha-cushuro) son grandes y positivos (354,86 y 353,68 respectivamente), lo que confirma el fuerte efecto sinérgico encontrado. Esto cuantifica el impacto positivo que tiene la combinación de la harina de cushuro con las otras dos harinas en el aumento del contenido de hierro de las galletas.

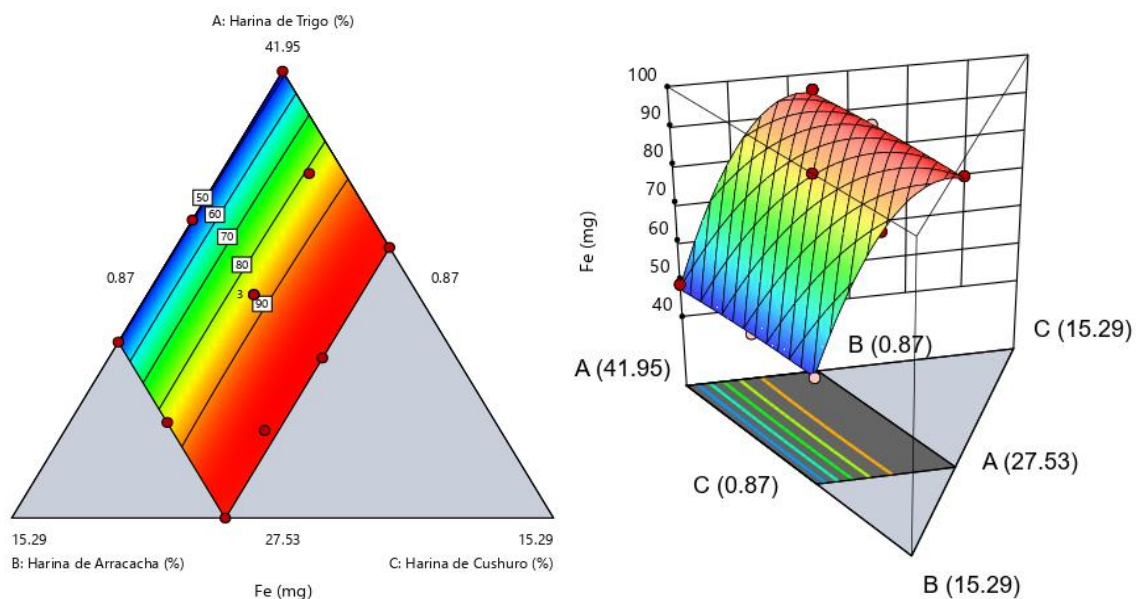
La ecuación de regresión (derivada de la Tabla 22) muestra coeficientes positivos para los componentes. El coeficiente asociado al cushuro es negativo (-46,98). Esto significa que su efecto individual no debe interpretarse de forma aislada, sino a través de sus interacciones. Esto se alinea con lo expuesto por Corpus et al. (2021), donde se establece que el *Nostoc sphaericum* posee hasta 83,6 mg/100g de Fe, frente a los 1.1 mg/100g del trigo. La regresión confirma matemáticamente que el cushuro es el principal "driver" o impulsor del valor nutricional en esta formulación.

Los componentes codificados permiten observar la interacción. Al ser una mezcla restringida (trigo hasta 27,51%, arracacha 9,614%, cushuro 5,555%), el hierro

se comporta de manera linealmente ascendente. Aunque la arracacha aporta hierro (9,5 mg en fresco según Tabla 1), su rol principal es el de matriz energética. La interacción entre el trigo y el cushuro es sinérgica: el trigo aporta la estructura proteica (gluten) que retiene las partículas de harina de cushuro, permitiendo una distribución homogénea del hierro en cada galleta.

Figura 11

Líneas de contornos para el hierro



En la figura 11 presenta la línea de contornos para la respuesta de hierro, ilustrando el efecto de la variación en las proporciones de harina de trigo (A), harina de arracacha (B) y harina de cushuro (C). Se observa una clara tendencia donde el contenido de hierro aumenta significativamente al disminuir la proporción de harina de trigo y aumentar la de las harinas de enriquecimiento.

La región de máxima respuesta (coloreada en rojo), que sube desde menos 50 mg (zona azul) hasta alcanzar valores superiores a 90 mg de hierro, se localiza en el área experimental correspondiente a las concentraciones más altas de harina de cushuro (hasta 6,56%) y Harina de Arracacha (hasta 9,61%). Este comportamiento visual confirma los resultados del ANOVA, que indicaron un fuerte efecto sinérgico entre la harina de cushuro y las otras dos harinas (interacciones AC y BC). Por lo tanto, se concluye que la adición de harina de cushuro es el factor más influyente para el incremento del contenido de hierro en las galletas, y su efecto es potenciado por la presencia de harina de arracacha. Según la teoría de Gutiérrez y De la Vara (2008) sobre regiones experimentales, el hecho de que el punto óptimo se ubique cerca de las

restricciones superiores del cushuro demuestra que este ingrediente es el factor limitante para la calidad nutricional.

4.1.2 Análisis del contenido de calcio

A) Análisis de regresión

Se realizó un análisis de regresión para seleccionar el modelo matemático más adecuado. Basado en el resumen de ajuste el modelo **cuadrático** (ver tabla 22) fue seleccionado como el más apropiado ($p < 0,05$). Este modelo demostró un excelente coeficiente de determinación ajustado ($R^2\text{-aj} = 0,9795$) y una predicción ($R^2\text{-pred} = 0,9098$), indicando que es capaz de explicar más del 97% de la variabilidad en el contenido de hierro. A pesar de detectarse una falta de ajuste significativa ($p < 0,05$), la robustez general del modelo permite su uso para el análisis de los efectos de los componentes y la posterior optimización.

Tabla 23

Variable de respuesta del calcio en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Falta de ajuste P - valor	Ajuste R^2	Previsto R^2
Lineal	< 0.0001	< 0.0001	0,9513	0,9276
Cuadrático	0,0428	< 0.0001	0,9795	0,9098
Cubico especial	0,0547	< 0.0001	0,9891	0,8478
Cubico	< 0,0001		1,0000	

B) Análisis de varianza

El modelo resultó ser extremadamente significativo ($p < 0,0001$), con un valor F de 106,14; lo que indica una relación estadística excepcionalmente fuerte entre los componentes de la mezcla y el contenido de calcio en las galletas.

Tabla 24*Análisis de varianza del contenido de calcio en la mezcla*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	1,788E+06	5	3,577E+05	106,14	< 0.0001
Mezcla lineal	1,736E+06	2	8,682E+05	257,65	< 0.0001
AB	36191,28	1	36191,28	10,74	0,0169
AC	1889,51	1	1889,51	0,5607	0,4823
BC	19624,57	1	19624,57	5,82	0,0523
Residual	20218,88	6	3369,81		
Falta de ajuste	20218,88	4	5054,72	1,264E+07	< 0.0001
Error puro	0,0008	2	0,0004		
Total Corregido	1,809E+06	11			

Al examinar los términos del modelo, se encontró que las interacciones trigo-arracacha (AB) fueron estadísticamente significativas, con p-valores de 0,0169. Mezclarlas produce un efecto en el calcio que no se explica solo sumándolas por separado. El incremento del calcio en la mezcla óptima (1117,04 mg) se debe directamente a la alta densidad mineral de la cianobacteria (*Nostoc sphaericum*), validando la hipótesis de que el cushuro actúa como un agente enriquecedor superior a los lácteos tradicionales en estas formulaciones. Según la Tabla 8, el cushuro deshidratado es el componente crítico, aportando 147 mg de calcio (según Culqui y Guevara) o hasta 1224,4 mg (según Alegre), superando ampliamente a la harina de trigo (15 mg).

Tabla 25*Coeficientes estimados de la mezcla en el contenido de calcio*

Componentes	Coeficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	642,58	1	52,59	513,89	771,27	2,89
B-Harina de arracacha	1852,62	1	196,49	1371,83	2333,43	19,96
C-Harina de cushuro	59,59	1	602,42	-1414,48	1533,67	83,78
AB	1391,27	1	424,53	352,47	2430,07	11,21
AC	725,49	1	968,86	-1645,23	3096,22	35,86
BC	2453,64	1	1016,75	-34,25	4941,53	35,28

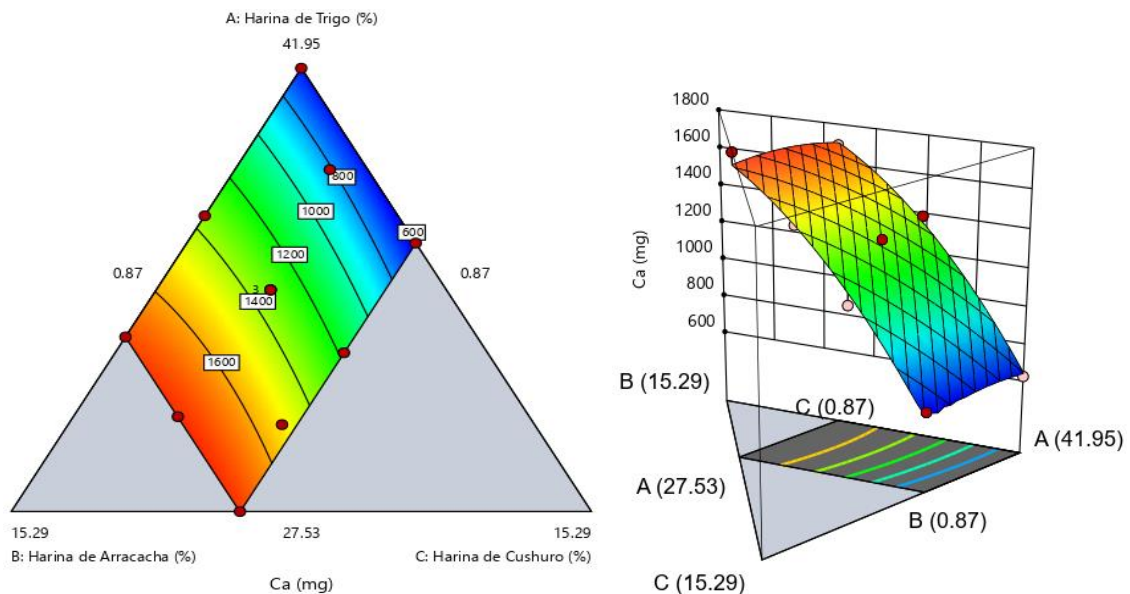
A partir del análisis de regresión, se obtuvo la ecuación del modelo en términos de componentes codificados que describe el contenido de calcio (Ecuación 1).

$$\text{Calcio} = 642,58A + 1852,62B + 59,59C + 1391,27AB + 725,49AC + 2453,64BC$$

El análisis de los coeficientes del modelo revela la magnitud de los efectos de las interacciones. Los coeficientes para las interacciones AB (trigo-cushuro) y BC (arracacha-cushuro) son grandes y positivos (1391,27 y 2453,64 respectivamente), lo que confirma el fuerte efecto sinérgico encontrado. Esto cuantifica el impacto positivo que tiene la combinación de la harina de cushuro con las otras dos harinas en el aumento del contenido de calcio de las galletas.

Figura 12

Líneas de contornos para el calcio



La Figura 12 muestra las líneas de contornos de superficie de respuesta para el contenido de calcio. El gráfico ilustra una fuerte dependencia de la formulación, donde los niveles de calcio aumentan sustancialmente al reducir la proporción de harina de trigo.

La región de máxima concentración de calcio (>1600 mg), indicada en color rojo, se localiza en la zona experimental caracterizada por los niveles más altos de harina de arracacha (hasta 9,61%) y niveles intermedios-altos de harina de cushuro (hasta 6,56%). La pronunciada curvatura de las isolíneas de respuesta es la representación gráfica de las complejas interacciones de segundo y tercer orden identificadas en el ANOVA. Esto sugiere que, si bien ambas harinas de enriquecimiento contribuyen positivamente, la Harina de Arracacha ejerce un efecto sinérgico particularmente fuerte,

desplazando el óptimo de la respuesta hacia su concentración máxima. A diferencia del hierro, donde la pendiente es casi vertical hacia el cushuro, aquí las líneas tienen una ligera curvatura que integra a la arracacha. Según la teoría de Cornell (2002) sobre experimentos con mezclas, esta configuración de líneas de contorno demuestra que existe una "zona de seguridad" donde, incluso si hay pequeñas variaciones en el pesado de los ingredientes, el contenido de calcio se mantendrá por encima de los 1000 mg.

4.2 EVALUACION FISICOQUIMICA

El anexo 1 se hallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro.

4.2.1 Análisis del contenido de proteínas

El análisis de regresión para la variable de respuesta proteínas indicó que no se pudo encontrar un modelo estadísticamente significativo. Aunque el programa sugirió el modelo cubico, este demostró no ser válido.

Tabla 26

Variable de respuesta proteínas en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Falta de ajuste P - valor	Ajuste R ²	Previsto R ²
Lineal	0,6733	0,1670	-0,1194	-1,1565
Cuadrático	0,2079	0,1956	0,1716	-1,7850
Cubico especial	0,5511	0,1626	0,0809	-8,3843
Cubico	0,1626		0,7437	

El p-valor secuencial para el modelo fue de 0,1626, es mayor a 0,05, esto significa que estadísticamente añadir los términos del modelo cubico no mejora. Además, el modelo presentó un bajo coeficiente de determinación ajustado (R^2 -aj = 0,7437), lo que anula su capacidad predictiva.

Con base en estos resultados, se concluye que la sustitución de harinas en las proporciones estudiadas no ejerció un efecto significativo en las proteínas de las galletas.

El análisis de varianza para la proteína resultó no significativo ($p > 0,05$), lo que indica que las formulaciones propuestas mantienen una homeostasis proteica. Esto se explica teóricamente por el equilibrio entre el bajo aporte proteico de la arracacha (3,60%) y el alto aporte del cushuro (29,0%), los cuales, en las proporciones de mezcla

estudiadas, no logran alterar de forma drástica el promedio de proteína ya presente en la harina de trigo (9,3%). No obstante, el enriquecimiento es válido desde el punto de vista cualitativo por la incorporación de aminoácidos esenciales del recurso andino.

4.2.2 Análisis del contenido de pH

El análisis de regresión para la variable de respuesta pH indicó que no se pudo encontrar un modelo estadísticamente significativo. Aunque el programa sugirió el modelo cubico, este demostró no ser válido.

Tabla 27

Variable de respuesta pH en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Falta de ajuste P - valor	Ajuste R ²	Previsto R ²
Lineal	0,28.59	0,0659	0,0747	-0,5384
Cuadrático	0,1255	0,0918	0,4305	-1,4140
Cubico especial	0,2268	0,0957	0,5046	-3,1467
Cubico	0,0957		0,9197	

El p-valor secuencial para el modelo fue de 0,0957, superior al umbral de significancia de 0,05. Además, el modelo presentó un bajo coeficiente de determinación ajustado ($R^2\text{-aj} = 0,9197$), lo que anula su capacidad predictiva.

Con base en estos resultados, se concluye que la sustitución de harinas en las proporciones estudiadas no ejerció un efecto significativo en el pH de las galletas. Por lo tanto, esta respuesta no se incluirá en la optimización final, ya que no se encontró una relación causa-efecto válida entre los componentes de la mezcla y el pH.

El Análisis de Varianza determinó que la variable pH es no significativa ($p > 0,05$), lo cual demuestra que la sustitución parcial con harina de arracacha y cushuro no altera la estabilidad iónica de la masa. Este comportamiento es favorable desde el punto de vista tecnológico, ya que garantiza que el enriquecimiento nutricional no compromete los estándares de calidad establecidos por la normativa sanitaria vigente (NTS N°088-MINSA), manteniendo el producto dentro de rangos de acidez seguros para su conservación y aceptabilidad sensorial.

4.2.3 Análisis del contenido de fibra

El análisis de regresión para la respuesta de fibra se presenta en la tabla 28. A pesar de que se evaluaron múltiples modelos polinomiales, ninguno resultó ser

estadísticamente válido para describir la relación entre la formulación de la mezcla y el contenido de fibra.

Tabla 28

Variable de respuesta fibra en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Falta de ajuste P - valor	Ajuste R ²	Previsto R ²
Lineal	0,4171	0,0633	-0,0064	-0,6140
Cuadrático	0,3331	0,0618	0,1101	-3,9300
Cubico especial	0,0906	0,0870	0,4308	-2,9617
Cubico	0,0870		0,9162	

El modelo Cúbico, sugerido por el programa, no fue significativo ($p = 0,0870$) y, de manera crítica, presentó un R^2 ajustado (0,9162), lo que invalida completamente su capacidad predictiva.

Por lo tanto, se concluye que, dentro de los rangos estudiados, la formulación de la mezcla de harinas no tuvo una influencia significativa en el contenido de fibra de las galletas. Este resultado indica que los cambios en la composición no fueron suficientes para generar una respuesta sistemática y predecible en esta variable, la cual no será considerada para la etapa de optimización. Según García y Pacheco (2007): Mencionan que la harina de arracacha contribuyó a un "ligero incremento" en la fracción de fibra. Un incremento ligero a menudo no alcanza el umbral de significancia estadística en modelos de mezclas restrictivos. Culqui y Guevara (2022): obtuvieron un 1.50% de fibra cruda en galletas con 6% de cushuro, un valor que se mantiene dentro de los rangos normales para productos de galletería fina, reforzando la idea de que estos insumos no disparan el contenido de fibra. Estadísticamente, esto se atribuye a que el mayor aporte de fibra de la arracacha (4,87%) se ve diluido en la mezcla final, mientras que el cushuro aporta niveles mínimos (0,9%). Este resultado es positivo para el desarrollo del producto, ya que permite la fortificación mineral sin comprometer la suavidad y textura de la galleta, manteniendo los estándares sensoriales de una galleta dulce convencional

4.2.4 Análisis del contenido de humedad

El análisis de regresión para la respuesta de humedad se presenta en la tabla 29. A pesar de que se evaluaron múltiples modelos polinomiales, ninguno resultó ser estadísticamente válido para describir la relación entre la formulación de la mezcla y el contenido de humedad.

Tabla 29*Variable de respuesta humedad en la mezcla*

Fuente	Secuencial	Falta de ajuste P -	Ajuste	Previsto
	P – valor	valor	R²	R²
Lineal	0,8785	0,1467	-0,1875	-0,9728
Cuadrático	0,2053	0,1724	0,1252	-2,0385
Cubico especial	0,4476	0,1498	0,0757	-8,4984
Cubico	0,1498		0,7631	

El modelo Cúbico, sugerido por el programa, no fue significativo ($p = 0,1498$) y, de manera crítica, presentó un R^2 ajustado (0,7631), lo que invalida completamente su capacidad predictiva.

Se concluye, por tanto, que la sustitución de harina de trigo con harina de arracacha y cushuro no influye significativamente en la humedad final de las galletas. La variabilidad observada en esta respuesta se atribuye al error aleatorio inherente al proceso experimental y no a un efecto sistemático de los componentes de la mezcla.

4.3 ANÁLISIS SENSORIAL

El anexo 1 se hallan los resultados obtenidos del análisis sensorial de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro.

4.3.1 Textura

Para la respuesta sensorial de textura, el análisis del resumen de ajuste indicó que el modelo Lineal era el más adecuado y estadísticamente no significativo ($p = 0,0563$). Se descartaron modelos de orden superior, ya que no ofrecieron una mejora significativa en el ajuste (e.g., $p = 0,0968$ para el modelo cuadrático).

Tabla 30*Variable de respuesta de la textura en la mezcla*

Fuente	Secuencial	Ajuste	Previsto
	P – valor	R²	R²
Lineal	0,0563	0,3551	0,1093
Cuadrático	0,0968	0,6385	-0,1617
Cubico especial	0,2276	0,6852	-1,2113
Cubico		1,0000	
Cuartico especial	0,1112	0,8782	-485,0742

El modelo Lineal seleccionado presentó un coeficiente de determinación ajustado (R^2 -aj) de 0,3551 y un R^2 predicho de 0,1093. Aunque estos valores indican una capacidad explicativa y predictiva de moderada a débil justo en el límite de la significancia de 0.05, la significancia estadística del modelo confirma que la formulación de la mezcla tiene una influencia real y predecible en la percepción de la textura. La naturaleza lineal del modelo sugiere que los efectos de las harinas son principalmente aditivos. Esta variable es crítica en galletas, ya que, según la teoría de la NTP 206.001, lo que define a una galleta frente a otros productos de panificación es su consistencia sólida y crujiente. Los resultados muestran que las galletas enriquecidas mantuvieron una calificación promedio alta, lo que indica que la sustitución no afectó negativamente la "sensación en boca".

A) Análisis de varianza

El Análisis de Varianza para el modelo cuartico especial de la respuesta textura confirmó la significancia del modelo ($p = 0,0374$; $F = 10,92$).

Tabla 31

Análisis de varianza de la textura

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	8,70	8	1,09	10,92	0.0374
Mezcla lineal	4,25	2	2,13	21,34	0.0168
AB	1,55	1	1,55	15,55	0,0291
AC	0,0002	1	0,0002	0,0017	0,9694
BC	0,1909	1	0,1909	1,92	0,2603
A ² BC	0,9853	1	0,9853	9,89	0,0515
AB ² C	3,503E-12	1	3,503E-12	3,516E-11	1,0000
ABC ²	0,0053	1	0,0053	0,0528	0,8330
Residual	0,2989	3	0,0996		
Falta de ajuste	0,2989	1	0,2989		
Error puro	0,0000	2	0,0000		
Total Corregido	9,00	11			

Reveló el impacto en la mezcla lineal el cual es el responsable de casi el 50% de la variación total, las proporciones básicas de las harinas son las que más afectan la

dureza y suavidad de la galleta. Y en la interacción de AB es el segundo factor más importante. La combinación de harina de trigo con harina de arracacha genera un cambio significativo en la varianza. Esto demuestra que la interacción entre la harina de trigo (gluten) y las harinas sucedáneas (arracacha y cushuro) altera físicamente la red estructural de la masa. La validez del modelo se confirma si la "Falta de Ajuste" es no significativa, indicando que el diseño D-Optimal predice con precisión cómo cambia la dureza o fragilidad de la galleta al variar los porcentajes.

B) Análisis de los efectos de los componentes

Reveló el impacto individual de cada harina (ver tabla 31). La harina de trigo tuvo un efecto positivo y significativo en la puntuación de la textura (Efecto = +5,97) indicando que es el ingrediente principal para una textura aceptable. Por el contrario, la harina de arracacha mostró un efecto negativo y significativo (Efecto = -3,56), sugiriendo que niveles altos de esta harina perjudican la percepción de la textura. Finalmente, el efecto de la harina de cushuro es positivo, pero es totalmente inestable en la textura. Estos resultados indican que la optimización de la textura requerirá maximizar la proporción de harina de trigo, limitando la de arracacha.

Tabla 32

Coefficientes estimados de la mezcla en la textura

Componentes	Coefficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	5,97	1	0,3152	4,97	6,97	3,52
B-Harina de arracacha	-3,56	1	1,70	-8,98	1,86	50,74
C-Harina de cushuro	3,09	1	8,44	-23,77	29,95	556,27
AB	15,20	1	3,86	2,94	27,47	31,28
AC	0,5775	1	13,86	-43,53	44,69	248,23
BC	20,80	1	15,03	-27,02	68,62	260,70
A ² BC	-152,22	1	48,40	-306,26	1,82	21,83
AB ² C	0,0003	1	49,95	-158,98	158,98	17,74
ABC ²	16,45	1	71,56	-211,29	244,18	23,01

A partir del análisis de regresión, se generó la ecuación del modelo cuartico especial en términos de componentes reales, la cual describe la relación entre la formulación y la puntuación de textura.

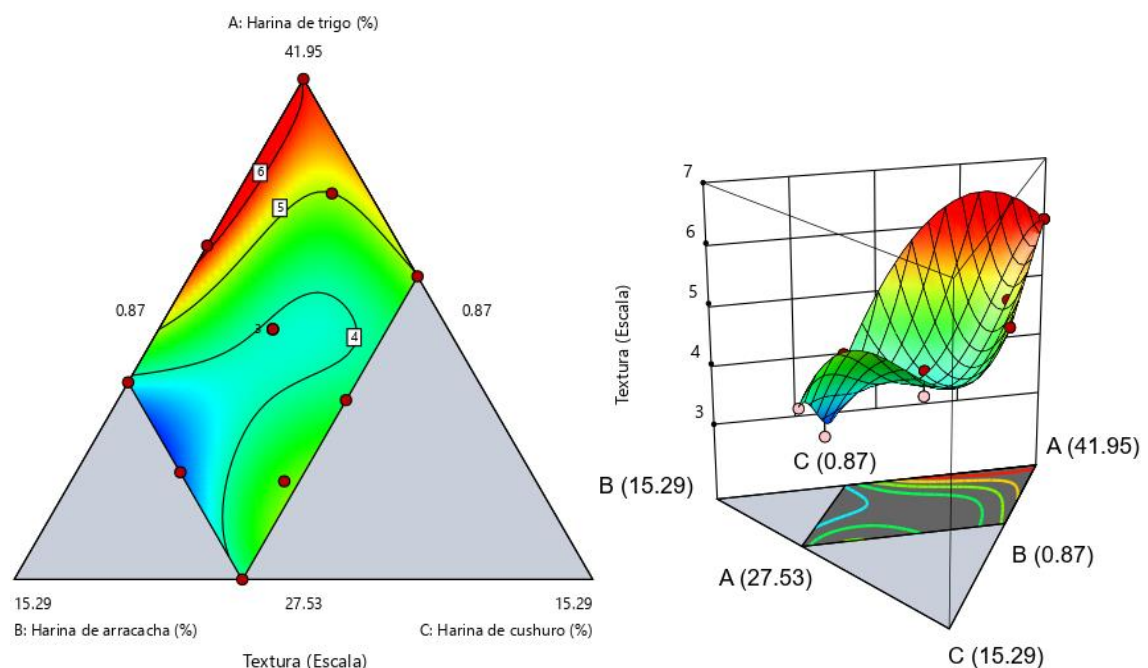
$$\text{Textura} = 5,97(A) - 3,56(B) + 3,09(C) + 15,20(AB) + 0,5775(AC) + 20,80(BC) - 152,22(A^2BC) + 0,0003(AB^2C) + 16,45(ABC^2)$$

Donde A, B y C representan las proporciones de harina de trigo, harina de arracacha y harina de cushuro, respectivamente.

El análisis de los coeficientes indica que la harina de trigo (A) es el componente con la mayor contribución positiva a la respuesta (coeficiente = 5,97), mientras que la harina de cushuro contribuye de manera positiva (coeficiente = 3,09). Esto cuantifica la tendencia observada, confirmando que un mayor contenido de harina de trigo favorece una mejor percepción de la textura, mientras que la adición de harina de arracacha ablanda la mezcla. Según García y Pacheco (2007), la arracacha aumenta la absorción de agua, pero disminuye la de aceite. Teóricamente, el alto contenido de almidón (74,47%, Tabla 2) de la arracacha favorece una textura más suave y digerible, lo cual es valorado positivamente por los panelistas. Sin embargo, un exceso de arracacha podría debilitar la red de gluten, haciendo la galleta demasiado quebradiza.

Figura 13

Líneas de contornos para la textura



En la Figura 13 se observa las líneas de contornos la textura es muy sensible a como mezclas la harina de trigo con la harina de arracacha.

La zona roja representa la textura más firme o dura (> 6) el cual se encuentra en el vértice superior, cuando la harina de trigo está en su máximo nivel permitido, la zona azul representa la textura más suave o blanda el cual se encuentra hacia el lado izquierdo, cuando aumentas la harina de arracacha y reduces la harina de trigo y la zona amarilla es la zona de transición (valores entre 4 y 5), donde hay un equilibrio entre las

3 harinas. Las líneas de contorno no son rectas sino tienen una forma de S esto confirma que no es un modelo lineal. Las líneas de contorno demuestran que la aceptabilidad es máxima cuando predomina la harina de trigo, permitiendo que el almidón de la arracacha actúe como un agente suavizante de la masa. Este resultado valida la teoría de que la sustitución parcial con recursos andinos es viable siempre que no se rompa el equilibrio del gluten, logrando una galleta que combina valor nutricional con la textura crujiente exigida por la normativa vigente.

4.3.2 Olor

Para la respuesta sensorial de olor, el modelo cuartico especial fue seleccionado como el más apropiado y es el único significativo ($p = 0,0319$) y tiene el mejor ajuste ($R^2 = 0,9373$) indicando que es capaz de explicar el 93.7 % de la variabilidad en la puntuación del olor. El cual es un modelo descriptivo y no predictivo.

Tabla 33

Variable de respuesta olor en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Ajuste R^2	Previsto R^2
Lineal	0,0899	0,2845	-0,1116
Cuadrático	0,1230	0,5628	-0,8867
Cúbico especial	0,6136	0,5041	-4,8857
Cúbico		1,0000	
Cuartico especial	0,0319	0,9373	-249,2460

A) Análisis de varianza

El Análisis de Varianza del modelo cuartico especial confirmó que el modelo es significativo ($p = 0,0142$), con un valor F de 21,56.

Tabla 34*Análisis de varianza del olor*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	4,18	8	0,5222	21,56	0.0142
Mezcla lineal	1,76	2	0,8810	36,38	0.0079
AB	0,1355	1	0,1355	5,60	0,0989
AC	0,0970	1	0,0970	4,01	0,1391
BC	0,2122	1	0,2122	8,76	0,0595
A ² BC	0,1510	1	0,1510	6,24	0,0879
AB ² C	0,9406	1	0,9406	38,84	0,0083
ABC ²	0,6644	1	0,6644	27,43	0,0135
Residual	0,0727	3	0,0242		
Falta de ajuste	0,0727	1	0,0727		
Error puro	0,0000	2	0,0000		
Total Corregido	4,25	11			

La mezcla lineal es significativa ($p = 0,0079$) al igual que otras variables, la base del olor está determinada por las proporciones individuales de harina de trigo, harina de arracacha y harina de cushuro. El efecto de los componentes es la fuerza principal. Las interacciones complejas de AB²C tiene un valor $p = 0,0083$ es altamente significativa. Indica que el olor cambia de forma única cuando la harina de arracacha está en una proporción dentro de la mezcla triple. Lo mismo pasa con la interacción compleja de ABC² ($p = 0,0135$) también es significativa, el cual sugiere que la harina de cushuro tiene un impacto determinante en el aroma cuando se combina con las otras dos harinas. En el caso de la mezcla BC ($p = 0,0595$) está en el límite de la significancia, esto sugiere que la combinación de harina de arracacha y harina de cushuro genera una nota aromática particular. Un modelo significativo indica que el olor de la galleta no depende únicamente del horneado, sino que la composición de la mezcla (arracacha y cushuro) altera el perfil aromático de forma medible. La validez del modelo estadístico permite asegurar que los cambios observados en el panel sensorial no son producto del azar.

B) Análisis de los efectos de los componentes

La harina de trigo tuvo un efecto positivo y significativo en la puntuación del olor (Efecto = +5,01) esto significa que el aroma del trigo es la base aceptable y predecible para la mezcla. La combinación AB²C es altamente significativa el cual es la que

realmente mejora el olor; mientras que ABC^2 también es significativa pero un exceso en la harina de arracacha lo perjudica notablemente. No depende de una o dos harinas, sino de la proporción exacta de las tres al mismo tiempo.

Tabla 35

Coefficientes estimados de la mezcla en el olor

Componentes	Coefficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	5,01	1	0,1554	4,52	5,51	3,52
B-Harina de arracacha	1,70	1	0,8398	-0,9600	4,39	50,74
C-Harina de cushuro	-5,81	1	4,16	-19,05	7,43	556,27
AB	4,50	1	1,90	-1,55	10,55	31,28
AC	13,68	1	6,83	-8,07	35,43	248,23
BC	21,93	1	7,41	-1,65	45,51	260,70
A^2BC	-59,60	1	23,87	-135,55	16,36	21,83
AB^2C	-153,50	1	24,63	-231,89	-75,11	17,74
ABC^2	184,80	1	35,28	72,52	297,09	23,01

A partir del análisis de regresión, se generó la ecuación del modelo cuartico especial en términos de componentes reales, la cual describe la relación entre la formulación y la puntuación de la textura.

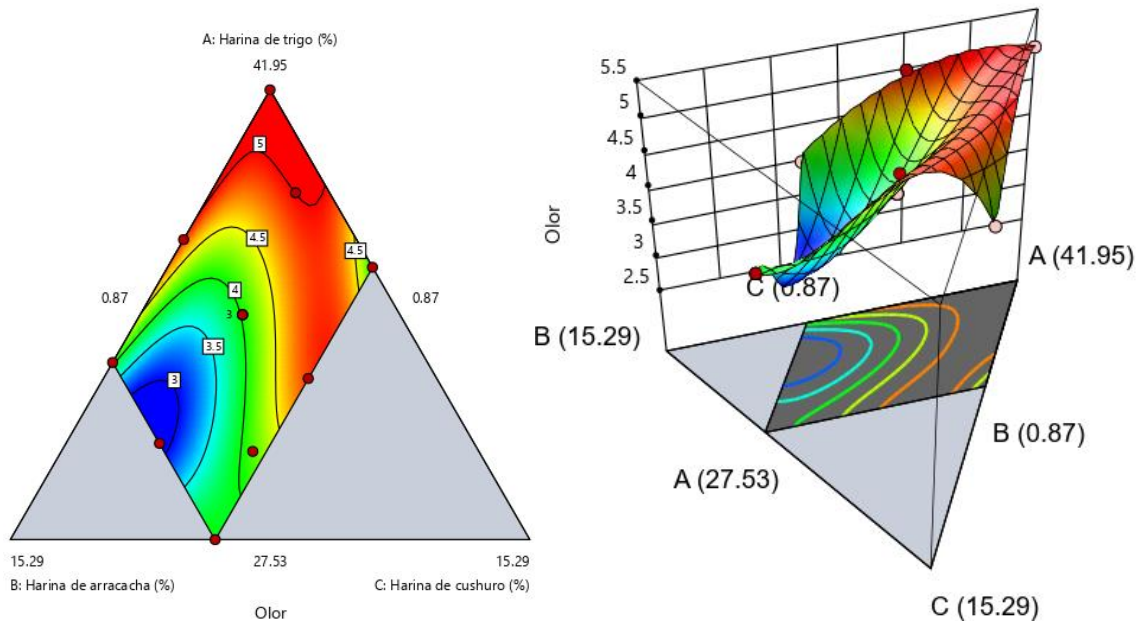
$$\text{Olor} = 5,01(A) + 1,70(B) - 5,81(C) + 4,50(AB) + 13,68(AC) + 21,93(BC) - 59,60(A^2BC) - 153,50(AB^2C) + 184,80(ABC^2)$$

Donde A, B y C representan las proporciones de harina de trigo, harina de arracacha y harina de cushuro, respectivamente.

El análisis de los coeficientes indica que la harina de trigo (A) es el componente con la mayor contribución positiva a la respuesta (coeficiente = 5,01), mientras que la combinación de las tres harinas AB^2C (coeficiente = -153,50) resta mucho valor al olor, indica que una mezcla triple con mucha arracha perjudica el olor; en cambio la combinación ABC^2 (coeficiente = 184,80) es positivo el cual indica que la combinación de las tres harinas con énfasis en el cushuro crea el mejor perfil de olor. Según Aliaga y Sánchez, (2011), la arracacha tiene un aroma suave y agradable que se intensifica con el calor. Su efecto en la mezcla suele ser positivo, aportando notas dulces que complementan a la harina de trigo.

Figura 14

Líneas de contornos para el Olor



La Figura 14, muestra el gráfico de contornos para la respuesta sensorial de olor. La curvatura de las isolíneas de respuesta confirma la validez del modelo cuartico especial, indicando la presencia de efectos de interacción.

El gráfico revela que la región de máxima aceptabilidad del olor (puntuaciones > 5) se encuentra en las formulaciones con la mayor proporción de harina de trigo (A).

La zona de menor aceptabilidad (puntuaciones < 3), esto ocurre cuando aumenta la harina de arracacha al máximo y reduce la harina de trigo.

La zona verde y amarilla está en la parte central del grafico entre las puntuaciones intermedias de (3,5 a 4,5). El color amarillo se extiende hacia la derecha (donde hay más cushuro). Esto confirma lo que vimos en la ecuación: el Cushuro ayuda a mantener un olor aceptable incluso si bajas un poco el trigo, gracias a la interacción sinérgica triple.

El análisis de varianza y las líneas de contorno para el olor demuestran que la aceptabilidad aromática está condicionada por la proporción de cushuro en la mezcla. Mientras que la harina de arracacha refuerza las notas dulces características de la galleta, el cushuro actúa como un factor limitante en concentraciones altas.

4.3.3 Sabor

Para la crucial respuesta sensorial de sabor, el análisis estadístico identificó al modelo lineal y también el modelo cuartico especial este cuenta con un ($p = 0,0002$) sugerido por el programa, porque matemáticamente al añadir los términos complejos

(A^2BC , etc.) el error desaparece casi por completo esto se debe a la combinación de las harinas y cuenta con un R^2 ajustado de 99.86 % cada variación en el sabor se debe exactamente a la combinación de harinas. según Culqui y Guevara (2022), puede limitar la aceptabilidad si no se dosifica correctamente. La respuesta se midió mediante una escala hedónica, buscando el punto de equilibrio entre la nutrición y el gusto del consumidor.

Tabla 36

Variable de respuesta sabor en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Ajuste R^2	Previsto R^2
Lineal	0,0024	0,6802	0,5807
Cuadrático	0,2817	0,7348	0,0262
Cubico especial	0,1875	0,7829	-1,4235
Cubico		1,0000	
Cuartico especial	0,0002	0,9986	-4,6628

A) Análisis de varianza

El Análisis de Varianza para el cuartico especial modelo de la respuesta sabor demostró la alta significancia del modelo ($p = <0,0001$; $F = 968,96$), validando una fuerte relación entre la formulación y la aceptabilidad del sabor.

La mezcla lineal ($p = <0,0001$; $F = 2862,72$), es la fuerza dominante, las harinas por si solas definen la mayor parte de la aceptación del sabor y las interacciones binarias AB, AC, BC todas tienen $p = <0,0001$, destacada la AB (harina de trigo con harina de arracacha) con un $F = 898$, lo que indica que esta combinación específica es un pilar del sabor de las galletas. Lo mismo ocurre con los términos complejos A^2BC , AB^2C , ABC^2 también son significativos. La alta significancia estadística valida que la formulación no es trivial; pequeñas variaciones en el porcentaje de arracacha o cushuro cambian drásticamente la percepción del sabor. El modelo matemático resultante permite predecir con precisión qué combinaciones resultarán "agradables" o "desagradables"

Tabla 37*Análisis de varianza del sabor*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	35,65	8	4,46	968,96	<0.0001
Mezcla lineal	26,33	2	13,17	2862,72	<0.0001
AB	4,13	1	4,13	898,20	<0.0001
AC	0,7438	1	0,7438	161,71	0,0010
BC	1,74	1	1,74	378,82	0,0003
A ² BC	4,45	1	4,45	968,29	<0.0001
AB ² C	0,4678	1	0,4678	101,71	0,0021
ABC ²	0,6289	1	0,6289	136,73	0,0013
Residual	0,0138	3	0,0046		
Falta de ajuste	0,0138	1	0,0138		
Error puro	0,0000	2	0,0000		
Total Corregido	35,67	11			

B) Análisis de los efectos de los componentes

El análisis de los efectos de los componentes reveló los roles distintivos de cada ingrediente. La harina de trigo (A) presentó un efecto positivo y estable (Efecto = +5,99) y su VIF (factor de inflación de la varianza) es bajo 3,52 y su intervalo de confianza es estrecho. Esto indica que la harina de trigo es el componente que aporta la base del sabor aceptable y predecible. La harina de arracacha y la harina de cushuro ambos son negativos esto sugiere que tienden a bajar la calificación del sabor en comparación con el trigo. En cambio, en las combinaciones binarias AB, AC, BC todas son positivas, aunque las harinas (B y C) restan sabor cuando se mezclan con la harina de trigo mejora drásticamente. En los términos complejos la interacción de A²BC es negativo (-323,63) Este valor negativo tan grande indica que si el trigo (A) predomina demasiado en una mezcla donde también hay B y C, el sabor cae bruscamente. Hay un punto de saturación de trigo. Pero en ABC² representa una interacción no lineal de orden superior entre los tres tipos de harinas.

Tabla 38*Coefficientes estimados de la mezcla en el sabor*

Componentes	Coefficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	5,99	1	0,0677	5,78	6,21	3,52
B-Harina de arracacha	-10,44	1	0,3660	-11,60	-9,27	50,74
C-Harina de cushuro	-16,94	1	1,81	-22,71	-11,17	556,27
AB	24,83	1	0,8284	22,19	27,46	31,28
AC	37,87	1	2,98	28,39	47,35	248,23
BC	62,84	1	3,23	52,57	73,12	260,70
A ² BC	-323,63	1	10,40	-356,73	-290,53	21,83
AB ² C	-108,25	1	10,73	-142,41	-74,09	17,74
ABC ²	179,79	1	15,38	130,86	228,73	23,01

El modelo lineal para la respuesta de sabor se define por la ecuación en términos de componentes reales

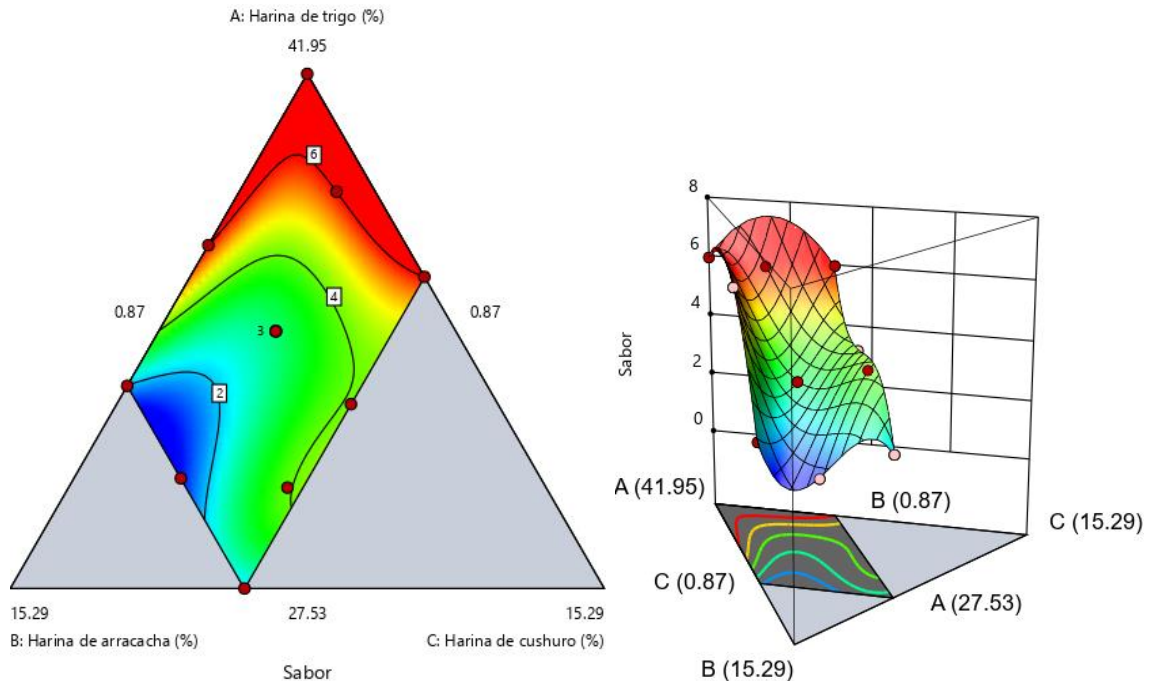
$$\text{Sabor} = 5,99(A) - 10,44(B) - 16,94(C) + 24,83(AB) + 37,87(AC) + 62,84(BC) - 323,63(BC) - 108,25(AB^2C) + 179,79(ABC^2)$$

Donde A, B y C son las proporciones de las harinas de trigo, arracacha y cushuro. La interacción doble más fuerte BC (+62,84) indica que la mezcla de la harina de arracacha y harina de cushuro es muy bien valorada por los jueces. Y la interacción compleja de ABC² es el termino más potente, sugiere que una mezcla balanceada con un ligero énfasis en el cushuro maximiza la aceptabilidad del sabor.

Teóricamente, la harina de arracacha tiene un sabor dulce y suave según Aliaga y Sánchez, (2011). El análisis de los efectos muestra que la arracacha actúa como un optimizador de sabor, mejorando la palatabilidad de la galleta y aportando notas características de los dulces tradicionales andinos. Según Culqui y Guevara (2022), su baja cantidad de grasas y azúcares hace que no contribuya positivamente al sabor por sí solo, actuando como un componente de efecto negativo si supera el umbral de detección del panelista.

Figura 15

Líneas de contornos para el sabor



La Figura 15 presenta las líneas de contornos para la respuesta sensorial de Sabor. Para maximizar la aceptación del sabor la formulación debe inclinarse hacia la zona roja, vértice superior, alta concentración de harina de trigo y concentraciones mínimas de harina de arracacha y harina de cushuro; las puntuaciones de sabor más altas (> 6) se logran aquí. Esto significa que el paladar de los jueces prefiere las mezclas donde el trigo predomina, probablemente porque da una base de sabor más familiar y neutra que permite resaltar a los otros ingredientes sin saturar.

La zona de menor aceptación (color azul) representa los puntajes más bajos de sabor (< 2) esto ocurre cuando la proporción de harina de arracacha (B) aumenta hacia su límite superior (27,53%). Esa zona amarilla está por encima del promedio y representa una aceptación sensorial bastante buena.

El análisis de varianza y las líneas de contorno para el sabor confirman que la aceptación del consumidor es altamente sensible a la proporción de los insumos andinos. El diseño D-Optimal demostró ser una herramienta eficaz para hallar el punto exacto donde la galleta es nutricionalmente superior (alto calcio y hierro) sin sacrificar el sabor, cumpliendo con los objetivos de aceptabilidad establecidos en el marco teórico.

4.3.4 Color

Para la respuesta sensorial de color, el análisis del resumen de ajuste (Tabla 38) identificó al modelo cuadrático como el más adecuado. La selección de este modelo se justifica por el p-valor ($p = 0,0273$) es menor a 0,05, esto indica que pasar del modelo lineal a la cuadrática mejora significativamente el modelo. Adicionalmente, la prueba de Falta de Ajuste resultó ($p = 0,6334$) al ser mayor a 0,05, indica que no hay falta de ajuste, El modelo cuadrático es lo suficientemente complejo para explicar los datos sin dejar información importante fuera.

Tabla 39

Variable de respuesta color en la mezcla

Fuente	Secuencial P – valor	Falta de ajuste P - valor	Ajuste R ²	Previsto R ²
Lineal	0,1394	0,2938	0,2112	-0,3253
Cuadrático	0,0273	0,6334	0,7162	0,4873
Cubico especial	0,5831	0,5602	0,6814	-0,5276
Cubico	0,5602		0,6641	

El modelo cuadrático demostró ser excepcionalmente robusto, con un coeficiente de determinación ajustado (R^2 -aj) de 0,7162 explica el 71,62% de la variabilidad del color lo cual es muy bueno para el diseño de mezclas y un R^2 predicho de 0,4873 positivo y sólido. Esto indica que el color del producto final es predecible y depende de las interacciones binarias entre los componentes de la mezcla.

Según NTC 1241 (2007, como se citó en Meza, 2022), las galletas deben presentar un color uniforme. Teóricamente, el uso de harina de cushuro (cianobacteria con pigmentos como clorofila y ficocianinas) introduce tonalidades oscuras o verdosas que difieren del color dorado estándar de la harina de trigo (reacción de Maillard).

A) Análisis de varianza

El Análisis de Varianza para el modelo cuadrático de la respuesta color confirmó la alta significancia del modelo ($p = 0,0202$, $F = 6,55$). La prueba de Falta de Ajuste no fue significativa ($p = 0,6334$), validando el excelente ajuste del modelo a los datos experimentales.

Tabla 40*Análisis de varianza del color*

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	9,23	5	1,85	6,55	0,0202
Mezcla lineal	3,87	2	1,94	6,87	0,0281
AB	1,95	1	1,95	6,93	0,0389
AC	1,35	1	1,35	4,81	0,0708
BC	0,0788	1	0,0788	0,2797	0,6159
Residual	1,69	6	0,2816		
Falta de ajuste	1,02	4	0,2558	0,7673	0,6334
Error puro	0,6667	2	0,3333		
Total Corregido	10,92	11			

La mezcla lineal $p = 0,0281$ de las proporciones individuales de las harinas tienen un impacto directo y significativo en el color final de la galleta. La interacción de AB $p = 0,0389$ es la interacción estrella. La combinación de harina de trigo (A) y harina de arracacha (B) produce un efecto sinérgico en el color que es estadísticamente significativo. Y las interacciones AC y BC no son significativos ($p > 0,05$) Esto significa que el cushuro (C), aunque aporta color por sí solo, no genera interacciones fuertes con las otras harinas que alteren el tono de forma inesperada.

B) Análisis de los efectos de los componentes

La ecuación del modelo cuadrático para la respuesta de color se estableció a partir de los coeficientes en términos codificados. El análisis de los coeficientes cuantifica las interacciones significativas identificadas en el ANOVA.

La harina de trigo A = 6,24 es el valor más estable e indica que el trigo aporta una base de color clara y predecible.

Se encontró un coeficiente de interacción positivo alto y significativo para la combinación trigo-arracacha (AB = +10,22), lo que indica un efecto sinérgico que mejora la puntuación del color y se intensifica (o mejora su calificación) mucho más de lo que lo harían por separado. Esta es la combinación que define el atractivo visual de tu producto.

La interacción AC y BC no son significativas, como lo confirma su intervalo de confianza que incluye el cero. Estadísticamente, estas interacciones no tienen un efecto

real comprobado en el color. La arracacha aporta una tonalidad amarillenta clara que ayuda a suavizar el impacto del cushuro

Tabla 41

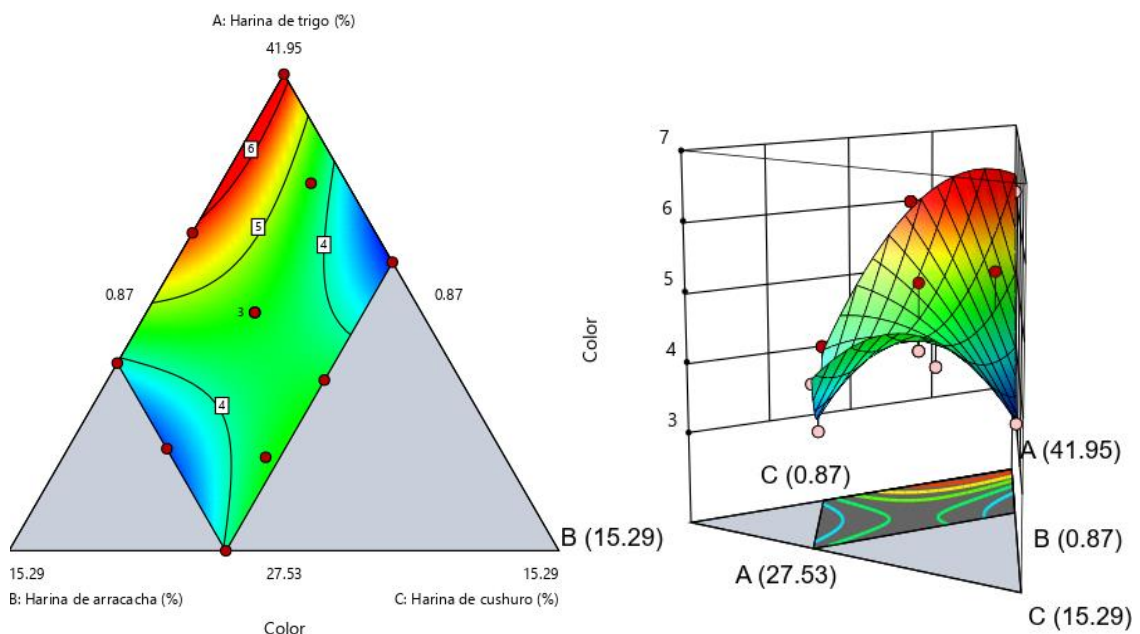
Coefficientes estimados de la mezcla en el color

Componentes	Coefficientes estimados	GL	Error estándar	95% CI baja	95% CI alta	VIF
A-Harina de trigo	6,24	1	0,4808	5,06	7,42	2,89
B-Harina de arracacha	-1,66	1	1,80	-6,06	2,73	19,96
C-Harina de cushuro	9,88	1	5,51	-3,60	23,35	83,78
AB	10,22	1	3,88	0,7217	19,71	11,21
AC	-19,43	1	8,86	-41,10	2,25	35,86
BC	4,92	1	9,29	-17,83	27,66	35,28

Según Aliaga y Sánchez, (2011); la arracacha aporta una tonalidad amarillenta clara que ayuda a suavizar el impacto del cushuro. Teóricamente, la arracacha favorece un color más cálido y atractivo cuando se combina con la harina de trigo. El análisis de los efectos muestra que la clave del color está en la proporción trigo-arracacha, la cual actúa como una base clara que permite "diluir" visualmente la intensidad del cushuro.

Figura 16

Líneas de contornos para el color



La Figura 16 muestra la superficie de respuesta para la puntuación de color. La curvatura de las isolíneas confirma la naturaleza cuadrática del modelo.

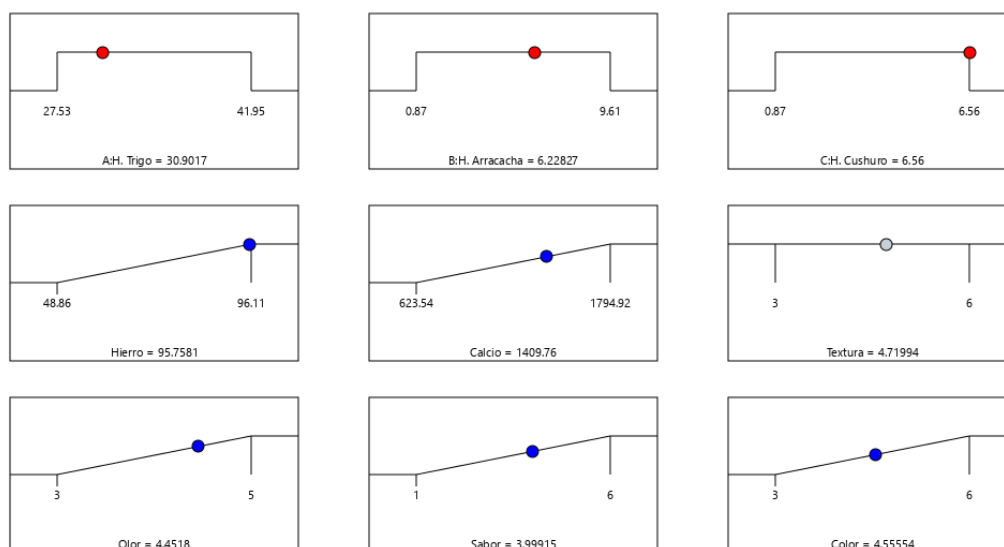
La zona de color rojo se encuentra en el vértice superior donde la harina de trigo está a su máximo nivel (41,95%) donde se muestra las puntuaciones de color más altas (> 6) se logran aquí. Esto sugiere que el color "base" del trigo es el que los jueces consideran más adecuado o atractivo para el producto y la zona inferior azul indica que al aumentar la harina de arracacha (B) al máximo permitido (15,29%) y reducir el trigo, el color cae a sus niveles más bajos (< 3); la interacción de AB era significativo en la tabla anterior tomando en cuenta las líneas de contorno (4 y 5) se curvan hacia el centro esto significa que no necesitas tener 40% de trigo para tener un color aceptable (verde/amarillo); si mezclas bien el trigo con la arracacha en proporciones medias, el color se mantiene estable en una puntuación de 4 a 5.

El análisis de varianza y las líneas de contorno para el color demuestran que el impacto cromático del cushuro es el factor determinante de la apariencia. Aunque nutricionalmente es valioso, visualmente impone una restricción de uso al 3,4% para mantener la galleta en un estándar comercial. La interacción con la harina de arracacha permite equilibrar estas tonalidades, logrando un producto final visualmente atractivo que rompe con la monotonía de las galletas convencionales sin generar rechazo en el consumidor.

4.3.5 Solución de optimización

Figura 17

Líneas de rampas para la solución de optimización

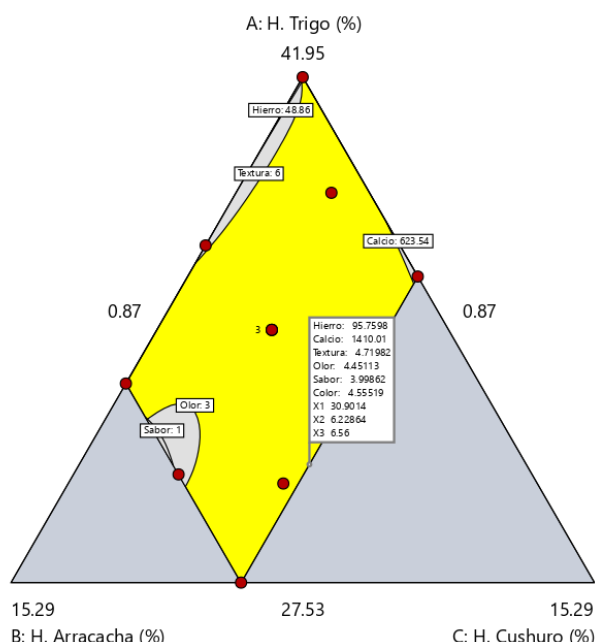


Desirability = 0.685
Solution 1 out of 11

En las líneas de rampas se observa la mejor formulación optima que el programa encuentra. Tiene una Deseabilidad de 0.685 (un 68,5%).

Figura 18

Líneas de contorno para la formulación optima



Esta es una formulación con un excelente equilibrio. Se logró niveles muy altos de enriquecimiento nutricional (hierro y calcio), sin sacrificar demasiado la aceptabilidad sensorial. Mantiene una base muy alta de harina de trigo (30,90%), lo que garantiza un buen sabor y textura. Se utiliza una cantidad moderada de arracacha (6,23%) para no dañar tanto el sabor y la textura, y una cantidad moderada de cushuro (6,56%) para evitar el impacto negativo en el olor, pero aun así obtener beneficios nutricionales.

Tabla 42

La formulación Óptimo

Materia prima	%	Nutricional	mg/100g	sensorial	Punt.
Harina de trigo	30,9017%	Hierro	9,776	Textura	4,71
			mg/100g		
Harina de arracacha	6,22833%	Calcio	141,0	Olor	4,45
			mg/100g		
Harina de cushuro	6,56%			Sabor	3,99
				Color	4,55

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la calidad sensorial, fisicoquímica y nutricional de galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro.

El análisis estadístico mediante un diseño de mezclas confirma de manera contundente la hipótesis general: la sustitución parcial de harina de trigo influyó significativamente en la calidad sensorial y nutricional de las galletas, aunque no demostró un efecto relevante en las propiedades fisicoquímicas evaluadas.

El primer objetivo específico fue evaluar la calidad sensorial de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro, como: color, olor, textura y sabor. La evaluación sensorial fue la parte fundamental de este estudio para determinar la viabilidad y aceptabilidad del producto. Se validó la hipótesis de que la formulación impacta directamente en la percepción del consumidor, encontrándose modelos estadísticos significativos para todas las respuestas sensoriales.

El segundo objetivo específico fue, evaluar la calidad fisicoquímica de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro, como: proteína, pH, fibra y humedad. Se evaluó el efecto de la mezcla en las propiedades fisicoquímicas de las galletas. Contrario a la hipótesis planteada, el análisis estadístico reveló de forma concluyente que la formulación no tuvo un efecto significativo en ninguna de estas variables ($p > 0,05$ para todos los modelos). No se pudo ajustar un modelo matemático válido para proteína, pH, humedad ni fibra, como lo demuestran los R^2 predichos negativos.

Este resultado es crucial, pues indica que estas propiedades están dominadas por los ingredientes de la formulación base (manteca, azúcar, leche) y las condiciones del proceso de horneado, los cuales se mantuvieron constantes. Aunque Chirinos y Vargas (2017) lograron mejorar el perfil proteico de galletas usando leguminosas, en nuestro caso, la sustitución con arracacha y cushuro no fue suficiente para generar un cambio estadísticamente detectable. Del mismo modo, aunque García y Pacheco (2007) sugirieron un "ligero incremento" en la fibra con arracacha, nuestro análisis estadístico más robusto demuestra que dicho efecto no es significativo dentro del espacio experimental estudiado.

El tercer objetivo específico planteado fue evaluar la calidad nutricional de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro, como: calcio y hierro. Se evaluó la calidad nutricional de las galletas a través de su contenido de calcio y hierro. Para ambas respuestas, se encontraron modelos matemáticos altamente significativos ($p < 0,0001$) y con un excelente poder explicativo ($R^2\text{-aj} > 0.9931$), validando plenamente la hipótesis de que la adición de estas harinas enriquece el perfil nutricional.

Para el hierro, el modelo cuadrático demostró una fuerte sinergia en las interacciones trigo-cushuro (AC) y arracacha-cushuro (BC), señalando al cushuro como el principal agente de enriquecimiento para este mineral.

Para el calcio, un modelo cuadrático reveló interacciones significativas entre los componentes AB, indicando un mecanismo de enriquecimiento más complejo, donde la harina de arracacha también juega un papel sinérgico fundamental.

Estos hallazgos son consistentes y expanden los de la literatura. Culqui y Guevara (2022), Meza (2022) y Carlos (2023) ya habían reportado el potencial del cushuro como una excelente fuente de hierro. Nuestro estudio no solo confirma este potencial, sino que, a través del modelado de superficie de respuesta, cuantifica las interacciones y permite la optimización precisa de la formulación para maximizar estos nutrientes.

Finalmente, la optimización numérica multirrespuesta integró todos estos hallazgos. La formulación óptima recomendada (30,9017% trigo, 6,22833% arracacha, 6,56% cushuro) representa un equilibrio estratégico: maximiza el aporte nutricional de las harinas de enriquecimiento a niveles que no comprometen las características sensoriales (textura 4,71; olor 4,55; sabor 3,99 y color 4,55), las cuales dependen de una base alta de harina de trigo. Esta solución permite obtener un producto con alto valor nutricional y, simultáneamente, una alta aceptabilidad sensorial.

CONCLUSIONES

- La sustitución parcial de harina de trigo con harina de Arracacha y Cushuro influyó de manera significativa en la calidad nutricional y sensorial de las galletas. La formulación T1 compuesta por 30,36% de harina de trigo, 7,15% de harina de arracacha y 6,19% de harina de cushuro y el T4 compuesta por 37,15% de harina de trigo, 5,67% de harina de arracacha y 0,87% de harina de cushuro, recibió las mejores puntuaciones en los atributos organolépticos de color (6), olor (5), sabor (6) y textura (6), evidenciando una preferencia sensorial integral por parte de los panelistas. Mientras que la formulación T12 (27,53% HT, 9,61% HA y 6,56% HC) fue la mejor valorada en la calidad nutricional: hierro (9,57%) y calcio (179,49%) resalta por un aporte de nutrientes, lo que indica un perfil más saludable.
- La formulación no tuvo un efecto estadísticamente significativo en las propiedades fisicoquímicas de proteína, pH, humedad y fibra. El análisis de regresión no encontró modelos válidos para ninguna de estas respuestas ($p > 0.05$), demostrando que estas características no dependen de la variación de las harinas en las concentraciones estudiadas. Esto rechaza la hipótesis específica planteada para la calidad fisicoquímica.
- La adición de harina de arracacha y cushuro enriquece significativamente la calidad nutricional de las galletas. Se encontraron modelos predictivos altamente significativos ($p < 0.0001$) y con excelente ajuste ($R^2\text{-aj} > 0.94$) para el contenido de calcio y hierro. Se identificaron interacciones sinérgicas que potencian el aporte de estos minerales, confirmando la hipótesis de que las harinas de enriquecimiento mejoran el valor nutricional del producto.
- La formulación óptima, sugerida por el programa Design expert 13, corresponde a una mezcla de harinas de 30,90% de trigo, 6,23% de arracacha y 6,56% de cushuro, hierro 9,776 mg/100 g, calcio 141,0 mg/100g con una aceptación sensorial en textura 4,71, olor 4,45, sabor 3,99 y color 4,55. Esta formulación,

obtenida mediante optimización numérica con una deseabilidad de 0,685, representa la mejor alternativa para producir una galleta funcional y de alta calidad.

RECOMENDACIONES

- Promover el aprovechamiento de la arracacha y el cushuro como ingredientes funcionales en la industria galletera, incentivando su incorporación en diversas líneas de producción como galletas dulces, saladas o tipo wafer, con la finalidad de incrementar el valor nutricional de estos productos de consumo masivo.
- Evaluar métodos alternativos de deshidratación y molienda que contribuyan a conservar mejor los nutrientes de la arracacha y el cushuro, optimizando la calidad final del producto.
- Continuar con ensayos que permitan ajustar la proporción de arracacha y cushuro en la mezcla, con el fin de mejorar aún más el aporte nutricional sin comprometer la aceptabilidad sensorial de la galleta.
- Aumentar el número de repeticiones y/o ampliar el rango de las proporciones de ingredientes en estudios futuros para mejorar la potencia estadística y detectar posibles efectos pequeños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, R. E. (2019). *Contenido de proteínas, hierro y calcio de Nostoc sphaericum "Cushuro" procedente de la Laguna de Conococha, Catac- Huaraz*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Cesar Vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40357/Alegre_CR_E.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Aguilar, Y. L. (2022). *Optimización del tiempo de horneado y de la formulación utilizando Cushuro (Nostoc sphaericum) y harina de coronta de maíz morado (Zea mays l.) en galletas*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional De Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a38a2cbc-b538-47ad-93c6-78194240192d/content>

Aguirre, L. A., y Echevarría, J. B. (2024). *Formulación y evaluación funcional de galletas a base de avena (Avena sativa) y harina de arracacha (Arracacia xanthorrhiza)*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Del Santa].

<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4844>

Aliaga, M. G., y Sanchez, G. V. (2011). *Influencia de la proporción de harina de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y de harina de trigo (Triticum aestivum) sobre las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de las galletas para consumo humano*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional De Trujillo].

<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b95a2eb5-70d4-4e2b-acfc-dac240715652/content>

Asalde, N. A., y Iparraguirre, M. (2023). *Determinación de las características nutricionales y sensoriales de galletas fortificadas con Cushuro (nostoc sphaericum vauch) y tarwi (luoinus mutabilis sweet)*. [tesis para optar título profesional. Universidad Le cordon Bleu].

https://repositorio.ulcb.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14546/1217/TESIS%20FINAL%20CON%20ACTA_%20CUSHURO%20%28Corregido%20Final%29.pdf?sequence=12&isAllowed

Badui, M. A. (2013). *Química de los alimentos* (5ª ed.). Pearson Educación.

Baldeon, M. T., y De La Cruz, F. S. (2008). *Estudio de factibilidad para industrialización y comercialización de la harina de arracacha*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional Ricardo Palma].

<https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0acba906-034a-4411-a480-779cf186083d/content>.

Benavente, A. M., y Surco, G. M. (2025). Evaluación de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cushuro (*Nostoc sphaericum*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en galletas dulces. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional de Juliaca].

<https://repositorio.unaj.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6624b976-47fd-46e4-9a6a-528467df908c/content>

Carlos, K. A. (2023). *Elaboracion tecnológica de galletas con sustitución parcial de harina de Cushuro (Nostoc sphaericum) y aceite refinado de anchoveta (Engraulis ringens)*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional Del Callao].

<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8340/TESIS%20KARLOS%20ALFREDO%20CARLOS%20PUMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chirinos, W. de J., y Vargas, N. (2017). Analisis proximal de galletas de harina de trigo (triticum vulgare): tapirama (Phaseolus lunatus) de pueblo nuevo de Paraguaná. *Centro Azúcar*. Editorial feijóo, 44(2), 10-17.

<http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n2/caz02217.pdf>

Corpus-Gómez, A., Alcantara-Callata, M., Celis-Teodoro, H., Echevarria-Alarcón, B., Paredes-Julca, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2021). Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231–238. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>

Culqui, Y. E., y Guevara, K. E. (2022). *Formulación de galletas sustituidas parcialmente con harina de algarroba (Prosopis pallida) y enriquecidas con algas de Cushuro (Nostoc sphaericum)*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10543>

- Enríquez, M., & Ruiz, S. (2021). Estado nutricional y rendimiento académico en estudiantes de una universidad pública. *Revista de Investigación Universitaria*. (Sustenta la anemia y el bajo rendimiento en jóvenes).
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(Supl. 2), 61–72. <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>
- Esquivel, M. P. (2023). *Calidad de las galletas formuladas mediante la metodología del diseño de mezclas con sustitución parcial de la harina de trigo (Triticum aestivum) con harina de soya (Glycine max) y harina de tarwi (Lupinus mutabilis)*. [tesis para optar título profesional. Universidad Nacional del Callao]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_92ca1da3748151b4c421f2a7c8bb250f
- Forrellat, M., du Défaix, H. G., Y Fernández, N. (2000). Metabolismo del Hierro. *Rev. Cubana Hematol Inmunol Hemoter*, 16(3), 149–160. <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v16n3/hih01300.pdf>
- García, A. D. y Pacheco, E. (2007). Evaluación de galletas dulces tipo wafer a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* B.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4195-4212. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal.>
- González, R. (2005). Biodisponibilidad del hierro. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 14 (26), 6-12. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292005000100003&lng=en&tlng=es
- Guivar, I. y Menor, M. R. (2021). *Efecto del pH en la obtención de aislado proteico de moringa (Moringa oleífera) y su aplicación en galletas*. [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9089>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos* (2° ed.). México: Mc Graw – Hill

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimementos.pdf

Hernández, E. (2005). *Evaluación sensorial*. UNAD.

https://www.academia.edu/28661843/EVALUACION_SENSORIAL_UNAD

Huamán, L., et al. (2022). Consumo de calcio y su relación con el estado nutricional en jóvenes adultos. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Sustenta la falta de calcio en la dieta joven).

Igual, M., & Martínez-Monzó, J. (2022). Physicochemical properties and structure changes of food products during processing. *Foods*, 11(16), Artículo 2469. doi.org

INACAL. (2016). *Norma Técnica Peruana NTP 206.001: Panadería, pastelería y galletería. Galletas. Requisitos* (2° ed.). Instituto Nacional de Calidad. <https://www.inacal.gob.pe>

Lange, K. W., Lange, K. M., Nakamura, Y., & Kanaya, S. (2022). Nutritional quality of foods and health. *Food Science and Human Wellness*, 11(4), 812–819. doi.org

Meza, S. F. (2022). *Proceso de elaboración de una galleta con harina de pituca (Colocasia esculenta) y Cushuro (Nostoc sphaericum) con alto nutricional*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional del Callao]. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12>

Millán, R. R. (2001). *Obtención de una confitura a base de arracacha (Arracacia xanthorrhiza)*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/cfff80e1>

Ministerio de Salud. (2010). Resolución Ministerial N° 1020-2010-MINSA: Aprueban el documento técnico: “Norma sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería”. El peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244442-1020-2010-minsa>

Ministerio del Ambiente, (2016) Identificación de lagunas alto andinas con características para producción de cushuro. nst. Nac Investig en Glaciares y Ecosistemas Montaña.

<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/08/INAIGEM.pdf>

Montgomery, D. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Limusa, S. A

Muñoz Alejo, K. N. (2021). *Efecto de la temperatura y tiempo en la deshidratación del Cushuro (Nostoc commune) mediante bandejas en las propiedades fisicoquímicas*. [tesis para optar título profesional. Universidad Nacional de Huancavelica].

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9923a8f8-3383-4a94-836a-bc5a8b03f264/content>

Pajuelo, M., et al. (2020). Propiedades nutricionales y funcionales del *Nostoc sphaericum* en la elaboración de alimentos. *Revista de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano*.

Romero, A. C., y Reina, A. M. (2015). *Evaluación del efecto del almidón de arracacha amarilla (Arracacia xanthorrhiza) como estabilizante en helados de crema*. [Tesis para optar título profesional. Universidad De La Salle].

Rodríguez, J., y Valencia, L. (2021). Evaluación fisicoquímica y sensorial de galletas con sustitución de harinas nativas. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*.

Tirado, D. F., Montero, P. M., y Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(2), 3–10.

<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v26n2/art02.pdf>

Vargas, R. (2019). Hábitos alimentarios y prevalencia de anemia en estudiantes de ciencias de la salud. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. (Sustenta la "hambre oculta" en universitarios).

Ventura, J. E. (2007). *Utilización de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) en panificación*. [Tesis para optar título profesional. Universidad Nacional del Centro de Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3197>

ANEXOS

Anexo 1
Datos experimentales

Tabla 43

Variables del procesos y datos experimentales

Tratamientos	Variables del Independiente			Variables dependientes									
	Harina de Trigo	Harina de Arracacha	Harina de Cushuro	Hierro	Calcio	Proteinas	Humedad	pH	Fibra	Textura	Olor	Sabor	Color
	%	%	%	mg	mg	%	%	%	%	Escala	Escala	Escala	Escala
T	43.70	0.00	0.00	0.02	12.73	68.83	0.70	6.50	1.00	6	6	6	7
T1	41.95	0.87	0.87	4.89	62.35	73.50	0.30	6.80	0.01	6	5	6	6
T2	30.36	7.15	6.19	9.44	146.21	77.00	0.66	6.50	0.02	5	4	4	5
T3	34.74	5.24	3.71	8.73	135.21	78.75	1.12	6.60	0.20	4	4	3	4
T4	37.15	5.67	0.87	4.91	138.83	73.50	0.99	6.00	1.33	6	5	6	6
T5	32.70	4.44	6.56	9.56	111.32	68.25	0.73	6.40	0.01	4	5	4	4
T6	30.62	9.61	3.47	8.44	170.49	77.00	1.56	6.50	0.00	3	3	1	3
T7	34.74	5.24	3.71	8.73	135.21	78.75	0.76	6.50	0.01	4	4	3	5
T8	33.21	9.61	0.87	4.92	169.52	91.00	0.60	6.50	0.02	4	4	2	4
T9	36.27	0.87	6.56	9.61	62.92	85.75	0.65	6.80	0.02	5	4	6	3
T10	38.66	1.81	3.23	7.85	78.12	61.25	1.54	6.60	0.01	5	5	6	5
T11	34.74	5.24	3.71	8.73	135.21	71.75	0.89	6.50	0.01	4	4	3	4
T12	27.53	9.61	6.56	9.57	179.49	68.25	0.73	6.50	0.03	4	4	2	4

X1: Harina de trigo (%)
X2: Harina de arracacha (%)
X3: Harina de cushuro (%)

Anexo 2

Figura 19

Ficha de evaluación sensorial

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS 															
Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) y Cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>)															
Evalué cada muestra, marcando con una (X), según la escala que cree conveniente															
Sensoriales	Valor Escala T T ₁ T ₂ T ₃ T ₄ T ₅ T ₆ T ₇ T ₈ T ₉ T ₁₀ T ₁₁ T ₁₂														
Color	1 Me disgusta mucho														
	2 Me disgusta moderadamente														
	3 Me disgusta levemente														
	4 No me disgusta ni me disgusta														
	5 Me gusta levemente														
	6 Me gusta moderadamente														
	7 Me gusta mucho														
Olor	1 Me disgusta mucho														
	2 Me disgusta moderadamente														
	3 Me disgusta levemente														
	4 No me disgusta ni me disgusta														
	5 Me gusta levemente														
	6 Me gusta moderadamente														
	7 Me gusta mucho														
Textura	1 Me disgusta mucho														
	2 Me disgusta moderadamente														
	3 Me disgusta levemente														
	4 No me disgusta ni me disgusta														
	5 Me gusta levemente														
	6 Me gusta moderadamente														
	7 Me gusta mucho														
Sabor	1 Me disgusta mucho														
	2 Me disgusta moderadamente														
	3 Me disgusta levemente														
	4 No me disgusta ni me disgusta														
	5 Me gusta levemente														
	6 Me gusta moderadamente														
	7 Me gusta mucho														
Observaciones:.....															

Anexo 3

Resultados de la evaluación sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

1. Color

Tabla 44

*Evaluación sensorial del color de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Cushuro (*Nostoc sphaericum*)*

Panelistas	T	T1	T2	T3	F4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	6	6	3	4	5	4	3	6	5	3	6	5	5
2	5	7	5	4	6	4	3	4	5	4	5	4	4
3	6	6	4	5	6	4	1	5	3	2	5	5	5
4	6	7	5	5	5	4	1	2	2	2	3	2	1
5	7	7	5	5	5	6	4	5	4	5	6	5	1
6	7	6	6	6	7	6	4	4	5	6	3	4	1
7	6	7	5	5	7	6	6	5	5	6	5	5	5
8	6	4	2	2	5	1	1	2	3	2	4	2	1
9	6	4	6	5	7	4	1	5	1	2	2	5	1
10	6	7	3	4	6	4	4	4	5	6	6	4	4
11	5	6	2	3	7	1	1	3	3	1	3	3	1
12	7	6	5	6	7	6	4	6	6	7	6	6	3
13	7	7	6	6	7	6	5	5	6	5	4	5	5
14	5	4	2	3	5	3	2	5	4	5	4	4	2
15	6	7	6	5	7	5	5	6	6	5	6	5	6
16	7	5	5	5	6	5	4	5	4	5	5	3	5
17	7	6	5	5	6	5	3	4	3	2	4	2	3
18	7	5	1	2	6	1	3	1	3	2	1	4	5
19	7	5	2	2	5	2	2	3	4	2	4	2	5
20	7	5	1	1	7	1	3	1	1	2	5	1	4
21	6	6	4	4	6	4	2	5	4	2	5	3	2
22	7	6	6	4	4	3	4	5	5	3	5	4	5
23	7	6	4	3	6	3	2	5	3	3	5	2	4
24	7	5	5	4	5	5	6	4	4	6	5	4	5
25	7	7	3	3	7	3	2	5	2	2	6	4	4
26	5	6	3	3	5	3	2	3	3	2	3	2	3
27	7	5	2	2	7	2	2	5	4	2	3	3	1
28	5	4	3	3	6	3	3	3	2	2	3	3	3
29	6	6	6	5	7	6	5	6	6	5	6	5	6
30	7	6	6	6	6	6	4	4	5	6	3	4	3

2. Olor

Tabla 45

Evaluación sensorial del olor de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)

Panelistas	T	T1	T2	T3	F4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	5	7	5	6	4	7	6	6	5	7	6	6	4
2	4	4	3	3	4	4	1	3	2	6	5	3	2
3	7	6	5	4	6	4	2	4	4	4	6	4	5
4	6	6	5	4	6	3	1	1	1	6	2	4	1
5	6	7	5	5	5	5	3	3	4	4	5	4	1
6	6	6	5	5	3	5	4	3	5	6	4	5	1
7	4	6	5	4	5	4	4	3	4	5	5	5	5
8	6	4	3	3	3	6	1	4	2	3	4	3	2
9	6	4	2	3	3	5	2	5	2	3	2	2	2
10	4	3	4	3	5	4	1	2	4	4	4	3	3
11	6	7	2	3	5	6	1	2	2	2	4	2	3
12	7	2	6	5	7	5	5	4	6	7	5	6	3
13	6	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	4	5
14	3	2	4	3	5	5	4	5	4	6	6	5	6
15	6	6	6	6	6	6	6	7	6	7	6	5	7
16	7	4	4	4	5	4	3	5	4	4	5	5	5
17	6	5	4	3	4	4	1	4	3	4	2	4	5
18	5	3	3	4	6	5	2	3	4	2	2	2	4
19	6	5	4	5	5	4	4	3	4	4	5	5	3
20	7	4	5	2	4	5	1	3	1	5	2	4	2
21	5	3	5	2	4	6	2	5	4	2	5	3	2
22	6	6	4	4	4	6	4	5	5	4	6	3	3
23	7	5	3	3	4	6	3	5	3	3	5	2	4
24	6	6	5	4	4	6	7	4	5	6	5	2	5
25	7	3	4	3	6	5	3	4	3	3	6	5	3
26	4	6	5	3	5	4	3	4	3	4	3	3	3
27	5	5	5	5	3	5	6	4	6	4	7	5	4
28	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
29	6	6	6	6	5	6	6	6	6	7	6	5	7
30	6	6	5	4	6	5	2	4	3	5	2	3	5

3. Textura

Tabla 46

Evaluación sensorial de la textura de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)

Panelistas	T	T1	T2	T3	F4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	5	7	3	3	7	7	3	4	2	7	7	2	4
2	6	6	5	5	6	4	4	5	4	6	6	4	3
3	6	6	5	5	6	4	2	5	4	5	6	4	5
4	7	6	4	3	6	4	1	1	1	5	2	1	1
5	7	5	4	5	5	6	4	3	4	4	6	5	1
6	5	6	6	5	6	5	4	3	3	4	3	5	1
7	6	6	5	4	7	6	3	3	3	5	6	3	5
8	6	6	2	2	6	3	1	4	3	4	6	5	3
9	6	6	4	1	6	2	1	2	1	5	4	5	1
10	4	3	2	3	4	3	1	3	4	5	7	4	7
11	6	6	2	1	4	1	2	3	1	6	4	3	4
12	7	4	7	6	3	5	4	6	6	7	7	6	5
13	6	5	5	6	6	6	4	4	4	5	4	5	4
14	5	3	4	4	3	5	2	5	3	6	3	4	5
15	5	6	5	6	4	5	5	5	4	6	5	4	5
16	7	5	6	5	6	5	3	3	4	5	5	4	5
17	7	5	6	4	7	5	3	4	4	5	3	5	5
18	7	5	4	2	6	4	1	3	4	6	2	5	5
19	6	5	3	3	4	3	4	2	4	7	4	5	4
20	6	6	4	4	6	1	1	5	1	6	2	6	3
21	6	4	4	4	6	4	2	6	3	4	2	3	2
22	6	6	5	5	5	4	3	5	5	5	6	5	3
23	7	6	5	6	5	5	3	4	4	3	4	2	3
24	5	4	3	2	5	4	2	4	4	5	6	5	2
25	7	5	5	4	4	4	4	4	4	5	6	6	6
26	5	5	4	6	5	3	2	2	2	5	3	3	2
27	6	6	5	5	6	4	2	3	3	7	5	4	4
28	4	4	4	4	4	4	4	4	3	7	4	4	4
29	5	6	5	6	5	6	5	4	4	6	5	4	5
30	7	4	7	6	4	5	4	6	6	7	7	6	5

4. Sabor

Tabla 47

Evaluación sensorial del sabor de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)

Panelistas	T	T1	T2	T3	F4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	6	7	5	3	7	7	3	3	2	7	6	3	1
2	6	7	4	2	6	2	1	3	1	7	7	2	1
3	7	6	5	2	6	2	1	2	1	5	6	3	4
4	6	6	5	2	6	2	1	2	1	6	2	3	1
5	7	7	4	5	4	6	2	2	3	6	6	3	1
6	7	7	5	5	7	5	4	4	5	5	4	2	1
7	6	6	5	4	6	5	3	5	2	5	6	3	1
8	5	6	6	2	6	1	1	3	2	4	6	3	2
9	6	5	6	2	6	1	1	2	1	6	4	5	1
10	6	6	7	3	6	5	1	2	1	6	7	7	2
11	5	3	5	1	3	1	1	3	1	5	6	4	1
12	7	5	7	5	5	6	1	5	7	7	7	5	3
13	7	6	4	4	5	4	2	2	2	4	6	4	4
14	5	6	6	1	4	3	1	4	1	6	5	3	1
15	5	7	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	7
16	7	5	6	3	6	5	2	6	3	5	6	5	6
17	5	6	7	3	4	4	3	3	4	6	4	4	3
18	7	6	5	3	6	3	1	2	3	5	1	5	2
19	7	4	7	4	5	1	1	2	1	5	7	3	1
20	7	4	6	1	6	1	1	4	1	6	5	3	5
21	7	4	6	4	3	5	1	7	1	7	1	3	1
22	6	5	7	4	6	3	3	3	5	5	5	1	4
23	7	5	5	5	6	5	2	5	4	5	5	2	3
24	6	6	6	2	6	2	1	3	3	6	6	4	1
25	7	3	5	2	4	3	1	5	1	5	5	5	4
26	5	6	5	4	3	2	3	2	2	5	2	2	2
27	5	5	5	3	5	2	1	3	1	5	5	4	1
28	6	5	4	4	5	4	3	4	4	6	3	3	3
29	5	5	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	7
30	6	6	7	3	6	5	6	3	4	5	7	7	2

Anexo 4

Resultados de laboratorio nutricional certificaciones nacionales de alimentos Tratamiento testigo.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000210 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahuí Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 140.37 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento T Harina trigo: 100% Harina arracacha: 0.0% Harina cushuro: 0.0% OT2025132-13	1. Calcio (*)	mg/kg	127.25
	1. Hierro (*)	mg/kg	0.23

MÉTODOS:

1. AACC Method 40–70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 1.

INFORME DE ENSAYO N° 0000198 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 139.47 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 1 Harina trigo: 98% Harina arracacha: 2% Harina cushuro: 2% OT2025132-1	1. Calcio (*)	mg/kg	623.54
	1. Hierro (*)	mg/kg	48.86

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16

**** FIN DEL DOCUMENTO ****



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 2.

INFORME DE ENSAYO N° 0000199 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galleta enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 156.46 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 2 Harina trigo: 69.469% Harina arracacha: 16.355% Harina cushuro: 14.176% OT2025132-2	1. Calcio (*)	mg/kg	1462.14
	1. Hierro (*)	mg/kg	94.41

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16

** FIN DEL DOCUMENTO **



Tratamiento 3.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000200 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestra de 153.22 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 3 Harina trigo: 70.5% Harina arracacha: 12% Harina cushuro: 8.5% OT2025132-3	1. Calcio (*)	mg/kg	1352.11
	1. Hierro (*)	mg/kg	87.33

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:29
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 4.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000201 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 160.44 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 4 Harina trigo: 85.015% Harina arracacha: 12.985% Harina cushuro: 2% OT2025132-4	1. Calcio (*)	mg/kg	1388.26
	1. Hierro (*)	mg/kg	49.12

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 5.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000202 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestra de 152.11 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 5 Harina trigo: 74.831% Harina arracacha: 10.169% Harina cushuro: 15% OT2025132-5	1. Calcio (*)	mg/kg	1113.21
	1. Hierro (*)	mg/kg	95.62

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:29
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 6.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000211 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 152.98 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 6 Harina trigo: 70.081% Harina arracacha: 22% Harina cushuro: 7.938% OT2025132-6	1. Calcio (*)	mg/kg	1704.85
	1. Hierro (*)	mg/kg	84.36

MÉTODOS:

1. AACC Method 40–70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

**** FIN DEL DOCUMENTO ****



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 7.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000212 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 148.69 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 7 Harina trigo: 79.5% Harina arracacha: 12% Harina cushuro: 8.5% OT2025132-7	1. Calcio (*)	mg/kg	1352.13
	1. Hierro (*)	mg/kg	87.30

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

**** FIN DEL DOCUMENTO ****



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 8.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000205 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestra de 170.23 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 8 Harina trigo: 76% Harina arracacha: 22% Harina cushuro: 2% OT2025132-8	1. Calcio (*)	mg/kg	1895.17
	1. Hierro (*)	mg/kg	49.24

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:29
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 9.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000215 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 165.20 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 9 Harina trigo: 83% Harina arracacha: 2% Harina cushuro: 15% OT2025132-9	1. Calcio (*)	mg/kg	629.18
	1. Hierro (*)	mg/kg	96.11

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 10.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000218 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 169.10 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 10 Harina trigo: 88.467% Harina arracacha: 4.145% Harina cushuro: 7.388% OT2025132-10	1. Calcio (*)	mg/kg	781.22
	1. Hierro (*)	mg/kg	78.53

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 11.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000208 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 145.66 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 11 Harina trigo: 79.5% Harina arracacha: 12% Harina cushuro: 8.5% OT2025132-11	1. Calcio (*)	mg/kg	1352.09
	1. Hierro (*)	mg/kg	87.31

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.focapu.pe

** FIN DEL DOCUMENTO **



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Tratamiento 12.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS - LAA

INFORME DE ENSAYO N° 0000209 - 2025

Cliente : Luis Alberto Llallahui Villar
Domicilio legal : Jr. La Merced 114 – Ayacucho
Producto declarado : Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Cantidad recibida : Una (1) muestras entre 157.54 g
Presentación : En bolsa ziploc cerrada y rotulada
Orden de trabajo : OT2025132
Fecha de recepción : 2025-10-09
Fecha de análisis : Del 2025-10-10 al 2025-10-16

RESULTADOS:

Laboratorio de Fisicoquímica

Identificación	Ensayo	Unidad	Resultado
Tratamiento 12 Harina trigo: 83% Harina arracacha: 22% Harina cushuro: 15% OT2025132-12	1. Calcio (*)	mg/kg	1794.92
	1. Hierro (*)	mg/kg	95.66

MÉTODOS:

1. AACC Method 40-70.1, Online 11th Ed. Elements by Atomic Absorption Spectrophotometry.

OBSERVACIONES:

- 1.- (*) Estos ensayos fueron subcontratados.

ADVERTENCIA:

- 1.- Está prohibida la reproducción del presente informe sin la autorización del IIN.
- 2.- Los resultados son válidos sólo para la muestra y cantidad recibida en el Laboratorio de Análisis de Alimentos.
- 3.- El laboratorio no se responsabiliza cuando la información es proporcionada por el cliente y pueda afectar la validez de los resultados.
- 4.- El presente informe No es un documento de Conformidad.

La Molina, 2025-10-16



Instituto de
Investigación
Nutricional

NORABUENA SEGOVIA ANGEL ALEX
INSTITUTO DE INVESTIGACION
NUTRICIONAL
JEFE DE LAA
jefelaboratorio@iin.sld.pe
Fecha: 16/10/2025 11:30
Firmado con www.tocapu.pe

**** FIN DEL DOCUMENTO ****



www.iin.sld.pe



51 1 3496023



Av. La Molina 1885 - La Molina

Síguenos:



ATC-F12, Versión 05, Fecha: 14-05-2025

Página 1 de 1

Anexo 5

Panel fotográfico de la deshidratación de la raíz de arracacha variedad amarilla

Figura 20

Lavado y cortado de la raíz de arracacha variedad amarilla



Figura 21

Deshidratación de la raíz de arracacha variedad amarilla



Anexo 6

Panel fotográfico de la deshidratación del cushuro

Figura 22

Recepción del cushuro



Figura 23

Lavado y desinfectado del cushuro



Figura 24

Proceso de deshidratado del cushuro



Figura 25

Deshidratado del cushuro



Figura 26

Molienda del cushuro



Figura 27

Obtención de la harina de arracacha



Anexo 7

Panel fotográfico de la elaboración de galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro

Figura 28

Pesado de los insumos



Figura 29

Distribución de los insumos para cada tratamiento



Figura 30

Distribución de los insumos para cada tratamiento



Figura 31

Amasado de los insumos



Figura 32

Moldeado de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro



Figura 33

Galletas moldeadas y separadas en bandejas por cada tratamiento



Figura 34

Enfriado de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cusuro



Figura 35

Galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro separadas por cada tratamiento



Anexo 8

Panel fotográfico de las pruebas fisicoquímicas y evaluación sensorial de galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro

Figura 36

Peso de la muestra para analizar



Figura 37

Determinación del pH



Figura 38

Determinación de la humedad



Figura 39

Determinación de la proteína



Figura 40

Determinación de la fibra



Anexo 13

Análisis sensorial por los panelistas

Figura 41

Evaluación organoléptica de las galletas enriquecidas con harina de arracacha y cushuro



Anexo 14

Determinación de proteínas, pH, fibra y humedad

Proteína: Se determinó mediante el método Kjeldahl- Método AOAC.

El contenido en proteína se puede calcular seguidamente, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno para el alimento específico que está siendo analizado, está dividido en 3 etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración.

Etapas de digestión:

- se pesa 1- 5 g de muestra el cual se lleva a un tubo mineralizado y se pone 3 g de catalizador.
- se utiliza como catalizador una mezcla de K₂SO₄: CuSO₄: Se (10:1:0,1 en peso)
- Después se adicionan 10 mL de H₂SO₄ concentrado y 5 mL de H₂O₂.
- Posteriormente se digiere a 420 °C durante un tiempo que depende de la cantidad y tipo de muestra.

Etapas de destilación:

- Después de enfriar se adicionan al tubo de digestión 50 mL de agua destilada.
- se pone en el soporte del destilador y se adiciona una cantidad suficiente de hidróxido sódico 10 N.
- El amoníaco liberado es arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, y se recoge sobre una disolución de ácido bórico (al 4 % p/v)

Etapas de valoración:

La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ión borato formato, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno

$$\%N = \frac{(V \times N \times 14.007 \times 100)}{m}$$

- V = volumen del ácido consumido en la titulación (mL)
- N = normalidad del ácido
- m = masa de la muestra (mg)
- 14.007 = masa atómica del nitrógeno

- **pH:** Se realizó en base a la (NTP 207.018:2011, 2016) haciendo uso de un pH metro previamente graduada.

Procedimiento:

- Se tomo una muestra de 2 g previamente triturado.
- Se llevo a un vaso precipitado el cual se le adiciona 10 mL de agua destilada.
- Se filtra todo el contenido en un matraz de erlenmeyer.
- Con el filtro obtenido se lleva a un vaso precipitado y se mide el pH.

Fibra: Método directo – AOAC (2005), 962.09.

La determinación de fibra cruda es un método gravimétrico que mide residuo orgánico tras digestiones sucesivas con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, se calcinó el residuo y comparó el peso final del calcinado con el peso inicial de la muestra

- La muestra debe estar molida.
- Se hierven 1- 2 g de muestra con 200 ml de H₂SO₄ 1.25 % durante 30 min para hidrolizar almidones y azúcares.
- Se filtra y se lava con agua destilada hasta neutralizar el pH.
- El residuo se hierve nuevamente con 200 ml de NaOH 1.25 % durante 30 min para solubilizar las proteínas y hemicelulosa.
- Se filtra, enjuaga, seca en estufa y se pesa. Luego se calcina en mufla a 600 °C por 2 horas.
- La fibra cruda es la diferencia entre el peso del residuo seco y el peso de las cenizas.

Humedad: NTP 206.011 Método de la Estufa.

La determinación de humedad se basa en determinar el contenido de humedad de una muestra (galleta) a partir de la pérdida de masa que ocurre tras ser sometida a un proceso de secado en estufa a 110 °C.

Procedimiento:

- Se pesó la placa de Petri empleando una balanza analítica.
- Se colocó 5 g de la muestra molida y homogenizada.
- Se colocó a una estufa de 5 a 8 horas a 110°C luego del tiempo transcurrido se dejó enfriar en un desecador, se tomó el peso de las muestras hasta conseguir un peso constante, y finalmente se determinó el peso seco.
- La determinación de la humedad se realizó por triplicado.

Cálculos:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{eso de la muestra}} \times 100$$

Peso inicial: peso de placa de petri + muestra

Peso final: peso de la placa de petri + peso seco

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**Expositora: Gabriela Hurtado Flores**
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2659952

Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 19-05-2026

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día jueves veintiuno de mayo del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Gabriela Hurtado Flores**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY, Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS (Miembros) y Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**, presentado por la Bachiller **Gabriela Hurtado Flores**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Gabriela Hurtado Flores**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS y Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**Expositora: Gabriela Hurtado Flores**
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2659952

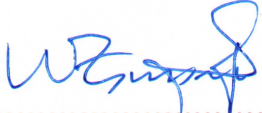
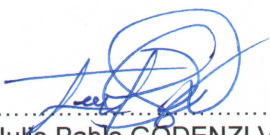
Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 19-05-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Gabriela Hurtado Flores**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cincuenta minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente
.....
Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY
Miembro
.....
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS
Miembro
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro-Asesor
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario DocenteFACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**Expositor: Luis Alberto Llallahui Villar**
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2659952

Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 19-05-2026

En la Sala de Conferencias “Pedro VILLENA HIDALGO” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día jueves veintiuno de mayo del año dos mil veintiséis, se reunieron el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Luis Alberto Llallahui Villar**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY, Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS (Miembros) y Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**, presentado por el Bachiller **Luis Alberto Llallahui Villar**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Luis Alberto Llallahui Villar**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS y Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y cushuro (*Nostoc sphaericum*)**Expositor: Luis Alberto Llallahui Villar**
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2659952

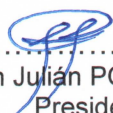
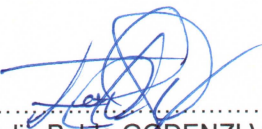
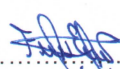
Resolución Decanal N° 065-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 19-05-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó al Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que el Bachiller **Luis Alberto Llallahui Villar**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cincuenta minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente
.....
Dr. Wilfredo TRASMONTA PINDAY
Miembro
.....
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS
Miembro
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro-Asesor
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario DocenteFACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



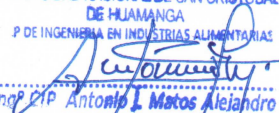
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, el Sr. Luis Alberto LLALLAHUI VILLAR y la Srta. Gabriela HURTADO FLORES egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias han remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Wiler Hugo De La Cruz Quispe y de su coasesor Wilber Vilcapoma Quispe, la Tesis: Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Cushuro (*Nostoc sphaericum*) y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 23% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha julio 20 de 2026 e Identificador de la Entrega N° 3000797938.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 22 de julio del 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Ing. PIP Antonio L. Matos Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 092

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

por Gabriela Hurtado Flores y Luis Alberto Llallahui Villar

Fecha de entrega: 20-jul-2026 09:01a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3000797938

Nombre del archivo: 6_tesis_RECORTADA_Llallahui-Hurtado.pdf (1.76M)

Total de palabras: 19179

Total de caracteres: 98131

Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de galletas enriquecidas con harina de Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) y Cushuro (Nostoc sphaericum)

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unac.edu.pe	5%
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	2%
	Trabajo del estudiante	
3	repositorio.uns.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unaj.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
8	alicia.concytec.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	worldwidescience.org	1%
	Fuente de Internet	
10	www.researchgate.net	1%
	Fuente de Internet	
11	repositorio.unfv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
12	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)	1%
	Trabajo del estudiante	
13	biblat.unam.mx	1%
	Fuente de Internet	
14	1library.co	1%
	Fuente de Internet	

[Submitted to uncedu](#)

15	Trabajo del estudiante	1 %
16	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
19	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
20	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional de Barranca Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.ulcb.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad del Valle Trabajo del estudiante	<1 %
25	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
26	bvs.sld.cu Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words