

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Granulometría, propiedades físicas y funcionales de las harinas de cereales, pseudocereales y legumbres de mayor consumo en la región Apurímac,
2024

Presentado por:

Merceyth Kimberly Huamán Espinoza

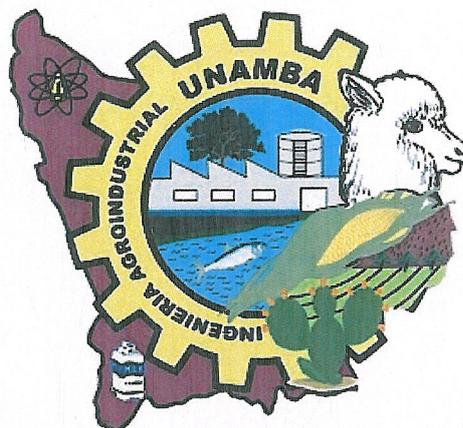
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



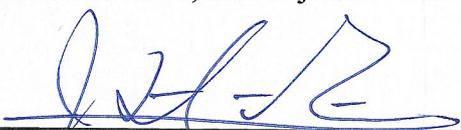
TESIS

Granulometría, propiedades físicas y funcionales de las harinas de cereales, pseudocereales y legumbres de mayor consumo en la región Apurímac, 2024

Presentado por **Merceyth Kimberly Huamán Espinoza**, para optar el título de:
Ingeniero Agroindustrial

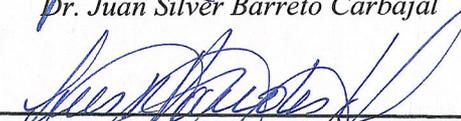
Sustentado y aprobado el 06 de setiembre de 2024, ante el jurado evaluador:

Presidente:



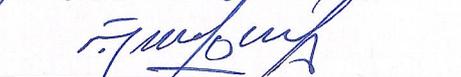
Dr. Juan Silver Barreto Carbajal

Primer Miembro:



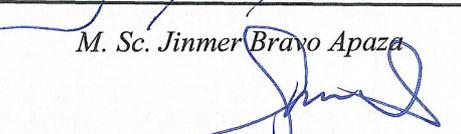
Mg. Luis Ricardo Paredes Quiroz

Segundo Miembro:



M. Sc. Jinmer Bravo Apaza

Asesores:



PhD. Fulgencio Vilcanqui Pérez



Mg. Félix Terán Hilaes

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 155-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **Granulometría, propiedades físicas y funcionales de las harinas de cereales, pseudocereales y legumbres de mayor consumo en la región Apurímac**", presentado por la Bach. Merceyth Kimberly Huamán Espinoza, Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 29 de agosto del 2024


Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 608

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Dios nunca me dejó sola en este camino; a pesar de las muchas caídas y dificultades que enfrenté, aquí estamos, de pie, gracias a su inmenso amor.

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por brindarme una educación de excelencia y un entorno propicio para mi desarrollo académico y personal.

Esta tesis fue ganadora y financiada totalmente, a través del vicerrectorado de investigación de la UNAMBA, mediante el V concurso de investigación científica y tecnológica de proyectos de tesis de pregrado, financiado con fondos de canon, sobre canon y regalías mineras 2023.

A mis asesores, PhD. Fulgencio Vilcanqui Pérez, Mg. Félix Terán Hilares y mis profesores de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Su dedicación, orientación y apoyo académico han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido significativamente a mi desarrollo y éxito, ofreciendo no solo su conocimiento, sino también su compromiso y entusiasmo. Gracias por su guía experta, sus valiosos consejos y por siempre estar dispuestos a ayudarme a alcanzar mis metas.



Dedicatoria

Dedico esta tesis con todo mi corazón a las personas que han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación a lo largo de este viaje:

Quiero agradecer inmensamente a mi madre, Sonia Espinza Chancón, por su amor incondicional, por ser la mujer que siempre luchó por sus hijos y por ser una de esas mujeres que nunca se dejó vencer por las adversidades de la vida. Si hoy estoy alcanzando esta meta, es gracias a ella, porque me enseñó que todo es posible y que siempre debemos seguir adelante. A pesar de las dificultades que se presenten, ella me mostró que la clave está en la fortaleza y la perseverancia. Te amo, mamá.

A mi hermana menor, Aracely Luciana Ubaldo Espinoza, porque ella es uno de los principales motivos por los que quiero crecer tanto como profesional como persona. Desde que nació y llegó a mi vida, supe que sería el ejemplo que ella seguiría, y hoy, con gran orgullo, puedo decir que ella es uno de mis pilares más importantes. Su amor, su energía y su admiración me inspiran a ser mejor cada día. Te quiero mucho, Aracely.

A mis tíos, Ricardo Chate Flores, Dina Espinoza Chacón y Sara Espinoza Chacón, ya que gracias a su apoyo y consejos he podido tomar decisiones fundamentales en mi vida que han sido clave para mi bienestar. Ellos me enseñaron que uno debe buscar su estabilidad y priorizarse ante todo. En especial, me han mostrado la importancia de la independencia, sobre todo como mujer, y de ser siempre responsable de mi propio camino.

A mi pareja, Jhoad Fredy Barazorda Ávalos, por ser quien me acompañó en el avance de mi proyecto y por estar a mi lado en este camino de adultez y responsabilidades. Gracias por brindarme motivación y consuelo ante las diversas circunstancias de la vida, y por ser mi compañero incondicional en cada paso que doy.



Granulometría, propiedades físicas y funcionales de las harinas de cereales, pseudocereales y legumbres de mayor consumo en la región Apurímac, 2024
Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la Agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
CAPÍTULO I	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1 Descripción del problema	6
1.2 Enunciado del problema	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 Justificación de la investigación	8
CAPÍTULO II	10
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	10
2.1 Objetivos de la investigación	10
2.2.1 Objetivo general	10
2.2.2 Objetivos específicos	10
2.2 Hipótesis de la investigación	11
2.2.3 Hipótesis general	11
2.2.4 Hipótesis específicas	11
2.3 Operacionalización de variables	12
CAPÍTULO III	14
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	14
3.1 Antecedentes	14
3.2 Marco teórico	16
3.2.1 Cebada (<i>Hordeum vulgare L.</i>) y harina	16
3.2.2 Maíz (<i>Zea mays</i>) y harina	17
3.2.3 Valor nutricional de la cebada y el maíz	17
3.2.4 Quinoa (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) y harina	18
3.2.5 Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) y harina	19
3.2.6 Valor nutricional de la quinoa y kiwicha	19
3.2.7 Arveja (<i>Pisum sativum L.</i>) y harina	20
3.2.8 Haba (<i>Vicia faba L.</i>) y harina	20
3.2.9 Valor nutricional de la arveja y haba	21



3.2.10 Granulometría	21
3.2.11 Tamizado	22
3.2.12 Sistemas CIE	22
3.2.13 Propiedades funcionales	24
3.3 Marco conceptual	25
CAPÍTULO IV	27
METODOLOGÍA	27
4.1 Tipo y nivel de investigación	27
4.2 Diseño de la investigación	27
4.3 Población y muestra	29
4.3.1 Población	29
4.3.2 Muestra	29
4.4 Procedimiento	30
4.5 Técnica e instrumentos	34
4.5.1 Determinación de las propiedades físicas	34
4.5.2 Análisis de propiedades funcionales	36
4.6 Análisis estadístico	38
4.6.1 Hipótesis estadísticas (nula y alterna)	38
CAPÍTULO V	40
RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
5.1 Análisis de resultados	40
5.2 Contrastación de hipótesis	48
5.2.1 Hipótesis estadísticas	48
5.3 Discusión	55
CAPÍTULO VI	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
6.1 Conclusiones	62
6.2 Recomendaciones	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	71



ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	13
Tabla 2 — Proporciones de los distintos tejidos de los granos de cebada.	16
Tabla 3 — Composición química de la cebada y el maíz (g/100.00 g)	18
Tabla 4 — Composición química de la quinua y amaranto (g/100.00 g)	20
Tabla 5 — Composición química de las haba y arveja (g/100.00 g)	21
Tabla 6 — Esquematación del diseño experimental de la etapa I	28
Tabla 7 — Esquematación del diseño experimental de la etapa II	29
Tabla 8 — Muestra y aplicaciones: molienda y propiedades evaluadas	30
Tabla 9 — Porcentaje relativo del peso retenido de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	40
Tabla 10 — Características físicas (tamaño de partículas) y de rendimiento	43
Tabla 11 — Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino	45
Tabla 12 — Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino	47
Tabla 13 — Análisis de varianza - Diámetro medio de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	49
Tabla 14 — Análisis de varianza - Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino	51
Tabla 15 — Análisis de varianza - Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino	54
Tabla 16 — Análisis de la varianza del diámetro medio de partículas (Dmp)	72
Tabla 17 — Comparación múltiple de medias de Tukey (ALFA=0.05) para el diámetro medio de partículas (Dmp)	72
Tabla 18 — Análisis de la varianza de luminosidad (L*)	73
Tabla 19 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)	73
Tabla 20 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)	74
Tabla 21 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)	75
Tabla 22 — Análisis de la varianza de la coordenada a*	76
Tabla 23 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada a*	76
Tabla 24 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada a*	77
	III



Tabla 25 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey ALFA=0.05 de la coordenada a*	78
Tabla 26 — Análisis de la varianza de la coordenada b*	79
Tabla 27 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada b*	79
Tabla 28 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada b*	80
Tabla 29 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey ALFA=0.05 de la coordenada b*	81
Tabla 30 — Análisis de la varianza del croma (c*)	82
Tabla 31 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)	82
Tabla 32 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)	83
Tabla 33 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)	84
Tabla 34 — Análisis de la varianza del ángulo tono (h°)	85
Tabla 35 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del ángulo tono (h°)	85
Tabla 36 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) del ángulo tono (h°)	86
Tabla 37 — Análisis de la varianza del índice de solubilidad (IS)	87
Tabla 38 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del índice de solubilidad (IS)	87
Tabla 39 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de índice solubilidad (IS)	88
Tabla 40 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) índice solubilidad (IS)	89
Tabla 41 — Análisis de la varianza de capacidad de absorción de agua (CAA)	90
Tabla 42 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de absorción de agua (CAA)	90
Tabla 43 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de absorción de agua (CAA)	91
Tabla 44 — Análisis de la varianza de capacidad de retención de agua (CRA)	92
Tabla 45 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de retención de agua (CRA)	92
Tabla 46 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de retención de agua (CRA)	93
Tabla 47 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) capacidad de retención de agua (CRA)	94
Tabla 48 — Análisis de la varianza de capacidad de hinchamiento (CH)	95

Tabla 49 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de hinchamiento (CH)	95
Tabla 50 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de hinchamiento (CH)	96
Tabla 51 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) capacidad de hinchamiento (CH)	97
Tabla 52 — Análisis de la varianza de capacidad de adsorción de aceite (CAAc)	98
Tabla 53 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de capacidad de adsorción de aceite (CAAc)	99
Tabla 54 — Humedad y ceniza de las harinas de diferentes fuentes de semillas	108
Tabla 55 — Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino espacio CIE lab	109



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 — Espacio de color CIE L*a*b*	23
Figura 2 — Diagrama de flujo para la obtención de harinas crudas y enteras de las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	31
Figura 3 — Diagrama de flujo para la obtención de harinas crudas en entero, grueso y fino de las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	33
Figura 4 — Gráficos de distribución de tamaño de partículas	35
Figura 5 — Distribución de tamaño de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	41
Figura 6 — Diámetro medio de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba	42
Figura 7 — Quinua var. Blanca de Junín	100
Figura 8 — Kiwicha var. Oscar Blanco	100
Figura 9 — Maíz var. INIA 620- Wari	101
Figura 10 — Cebada var. INIA 411 San Cristóbal	101
Figura 11 — Arveja var. INIA-Usui	102
Figura 12 — Haba var. Verde Pacae	102
Figura 13 — Resumen del proceso de tamizado de partículas de harinas de diferentes especies de semillas	103
Figura 14 — Resumen de la determinación de las propiedades físicas (parámetros de color L*, a*, b*, c* y h°) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	104
Figura 15 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua y de retención de agua) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	104
Figura 16 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de adsorción de aceite) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	105
Figura 17 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (índice de solubilidad) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	106
Figura 18 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	107
Figura 19 — Resumen de la determinación de ceniza y humedad de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas	107

INTRODUCCIÓN

Los cereales, pseudocereales y legumbres, son los cultivos más importantes en el Perú, se definen como semillas secas y comestibles. Botánicamente los cereales pertenecen a la familia de las gramíneas, los pseudocereales son dicotiledóneas y las legumbres son monocotiledóneas; estas son consumidas como semillas enteras o partidas en muchas regiones del Perú, debido a su alto valor nutricional. En cuanto a su composición nutricional, los cereales integrales son una buena fuente de fibra, vitaminas y minerales (Vanegas, 2018), los pseudocereales aportan cantidades significativas de vitaminas, minerales, almidón, fibra dietética y proteínas con un equilibrado perfil de aminoácidos, lípidos ricos en ácidos grasos insaturados Huamanchumo, (2020) y las legumbres son una buena fuente de carbohidratos complejos (almidón resistente y otras fibras dietéticas), proteínas, minerales, vitaminas y fitoquímicos (Cheng *et al.*, 2023).

La industria alimentaria procesa una amplia variedad de harinas de diferentes fuentes de semillas adaptadas a las necesidades de sus clientes, dependiendo del uso final de la harina. Se considera como parámetros de calidad de las harinas, la homogeneidad de los gránulos (tamaño de partículas). La harina integral, está compuesto por granos completos que han sido molidos, quebrados, triturados, aplastados, laminados o procesados de cualquier otra manera, tras haber eliminado las partes no comestibles. De esta forma, los componentes anatómicos del grano, como el endospermo, el germen y el salvado, se mantienen en las mismas proporciones que en el grano original (Asociación de cereales y granos, 2019). Sin embargo, los productos de granos refinados son productos que carecen de una o más partes del núcleo integral. En el proceso de refinado clásico del trigo, por ejemplo, el salvado y el germen se separan del endospermo almidonado. El endospermo almidonado luego se reduce aún más hasta convertirse en una fina harina blanca (Joye *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo es Evaluar la influencia de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades físicas y funcionales de las harinas. El cual será de gran importancia para mejorar



la formulación de productos y para promover la innovación en la elaboración de alimentos (embutidos, en la panificación, pastas, mezclas de harinas, etc.). con características específicas que respondan a las tendencias del mercado y a las necesidades dietéticas de los consumidores.



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la influencia de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare* L. var. INIA 411 San Cristóbal), maíz (*Zea mays* var. INIA 620- Wari), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. Blanca de Junín), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Oscar Blanco), arveja (*Pisum sativum* L. var. INIA-Usui) y haba (*Vicia faba* L. var. Verde Pacae), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades físicas y funcionales de las harinas. Se trabajó con las semillas de quinua var. Blanca de Junín, kiwicha var. Oscar Blanco, cebada var. INIA 411 San Cristóbal, maíz var. INIA 620- Wari, arveja var. INIA-Usui y haba var. Verde Pacae. Los granos fueron sometidas a molienda, se realizó la distribución de tamaño de partícula en el tamizador acoplado al agitador eléctrico (WS Tyler) con un conjunto de mallas usando los tamices de 500.00 μm (N° de malla: 35.00), 180.00 μm (N° de malla: 80.00), 150.00 μm (N° de malla: 100.00), 90.00 μm (N° de malla: 170.00), 75.00 μm (N° de malla: 200.00), 63.00 μm (N° de malla: 230.00) y 38.00 μm (N° de malla: 400.00). También fueron separadas en tres categorías entero: <1000.00 μm , grueso: 150.00 μm a 1000.00 μm y fino: <150.00 μm , se realizó estudios de rendimiento, el color instrumental y las propiedades funcionales de las harinas.

Los resultados indican que existen diferencias significativas en el diámetro medio de partículas dependiendo de las especies de semillas; siendo el más grueso la harina de kiwicha con 270.73 μm y el más fino la harina de maíz con 124.91 μm . En cuanto al rendimiento, se observó que la harina de arveja presenta un valor de 97.00% y la harina de maíz (blanco) con 87.07%, observándose diferencias por fuente de semilla. De igual forma, la luminosidad (L^*) de la harina fue influenciado tanto por la categoría y la especie de semilla, siendo la harina fina de maíz con el valor más alto 97.58 y el más oscuro la harina gruesa de arveja 79.10. Se ha identificado que la harina en la categoría “entera” en todos los casos, presentaron valores más altos de la capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua, retención de agua; sin embargo, no se tuvo esta tendencia para las otras propiedades funcionales. La granulometría y el rendimiento de las harinas dependen de la especie de semilla, y los parámetros de color de las harinas son influenciados por las categorías (entero, grueso y fino) al igual que las propiedades de hidratación, lo que sugiere un factor importante a tener en cuenta en el procesamiento de alimentos a partir de las harinas de las semillas en estudio.



Palabras clave: Granulometría, harina, semillas, propiedades funcionales.



ABSTRACT

The objective of this research study was to evaluate the influence of different seed species: barley (*Hordeum vulgare* L. var. INIA 411 San Cristóbal), corn (*Zea mays* var. INIA 620-Wari), quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd var. Blanca de Junín), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Oscar Blanco), pea (*Pisum sativum* L. var. INIA-Usui), and broad bean (*Vicia faba* L. var. Verde Pacae), as well as the different categories of particle size (whole, coarse, and fine) on the physical and functional properties of the flours. The seeds used were quinoa var. Blanca de Junín, kiwicha var. Oscar Blanco, barley var. INIA 411 San Cristóbal, corn var. INIA 620-Wari, pea var. INIA-Usui, and broad bean var. Verde Pacae. The grains were subjected to milling, and particle size distribution was performed using a sieve attached to an electric shaker (WS Tyler) with a set of screens, utilizing sieves of 500.00 μm (Mesh No.: 35.00), 180.00 μm (Mesh No.: 80.00), 150.00 μm (Mesh No.: 100.00), 90.00 μm (Mesh No.: 170.00), 75.00 μm (Mesh No.: 200.00), 63.00 μm (Mesh No.: 230.00), and 38.00 μm (Mesh No.: 400.00). The flours were also separated into three categories: whole (<1000.00 μm), coarse (150.00 μm to 1000.00 μm), and fine (<150.00 μm), and studies were conducted on yield, instrumental color, and functional properties of the flours.

The results indicate significant differences in the mean particle diameter depending on the seed species, with kiwicha flour being the coarsest at 270.73 μm and corn flour being the finest at 124.91 μm . In terms of yield, pea flour showed a value of 97.00%, while corn flour (white) had a value of 87.07%, with differences observed by seed source. Similarly, the luminosity (L^*) of the flour was influenced by both the category and the seed species, with fine corn flour having the highest value of 97.58 and coarse pea flour being the darkest at 79.10. It was identified that flour in the "whole" category consistently showed higher values for swelling capacity, water absorption capacity, and water retention; however, this trend was not observed for the other functional properties. The particle size distribution and yield of the flours depend on the seed species, and the color parameters of the flours are influenced by the categories (whole, coarse, and fine), as well as the hydration properties, suggesting an important factor to consider in food processing from the studied seed flours.

Keywords: Particle size distribution, flour, seeds, and functional properties.



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

De acuerdo con el Atlas Mundial de Obesidad 2023, en los últimos años, el número de personas con sobrepeso y obesidad a nivel mundial ha aumentado, alcanzando los 2.603 millones. A consecuencia de este hecho, se relacionan las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Muchos estudios han demostrado que el consumo de cereales integrales está relacionado con un menor riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles. Sin embargo, varios de sus efectos positivos para la salud parecen desaparecer cuando se refinan los cereales (Valladares y Vio, 2024).

En el año 2020, la producción de legumbres y cereales en Perú alcanzó las 470.80 y 5423.10 toneladas métricas, respectivamente (INEI, 2021). Dentro de la región de Apurímac, los cultivos transitorios presentan una producción significativa: el maíz amiláceo con 637,393.30 toneladas, la quinua con 12,984.39 toneladas, la arveja grano seco con 2,849.45 toneladas, el haba grano seco con 12,074.88 toneladas, y la cebada con 10,792.75 toneladas (MIDAGRI, 2022). Estos productos son derivados tanto al consumo humano (como grano entero, procesado en forma de harinas, o en otras presentaciones) como animal (en alimentos balanceados, entre otros).

Sin embargo, la industria alimentaria en la región de Apurímac, que produce y fracciona harinas son poco diversificada y orientada básicamente al mercado interno (DRAA, 2009). Los productores de alimentos a base de granos (cereales, pseudocereales y legumbres) se enfrentan a un gran reto tecnológico para sacar al mercado productos innovadores sin gluten con características organolépticas aceptables, ya que éste tiene un papel funcional esencial en muchas de las elaboraciones. (Arendt y Col., 2002; Gujral y Col., 2003).

En Apurímac, las instalaciones de procesamiento de harina cuentan con diversos molinos artesanales de baja tecnología, así como cribas de molienda y cribas de tamizado en diferentes tamaños, para cumplir con las especificaciones de sus clientes. No obstante, actualmente no existen estándares de calidad que definan el tamaño de las partículas de las harinas derivadas de distintas fuentes de semillas (cereales, legumbres y pseudocereales). Además, las harinas procesadas no pasan por un control de calidad



exhaustivo. En consecuencia, estas empresas locales enfrentan dificultades para competir eficazmente con empresas que disponen de tecnología avanzada para el control de calidad de harinas. La falta de estandarización en el tamaño de partículas impide el desarrollo de productos con propiedades funcionales y características físicas mejoradas.

La industria alimentaria utiliza diversas fuentes de semillas, como legumbres, cereales y pseudocereales, y sus diferentes categorías de tamaño de partícula, para producir una amplia gama de productos, incluyendo panadería, snacks, pastas, fideos y sopas. Sin embargo, el uso de harinas provenientes de estas fuentes de semillas no está tan documentado ni es tan conocido como el uso de la harina de trigo. En particular, existe una falta de información sobre cómo las harinas derivadas de especies de semillas específicas, como cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), así como en sus diferentes tamaños de partículas (entero, grueso y fino), afectan las propiedades físicas y funcionales de las harinas. Esta falta de información destaca la necesidad de investigar más a fondo estos aspectos para entender mejor el potencial de estas harinas alternativas en la industria alimentaria.

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuáles serán los efectos de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*) y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades físicas y funcionales de las harinas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles serán las propiedades físicas de granulometría (distribución de tamaño y diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620-*



Wari), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*)?

- ¿Cuál será el efecto de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre la propiedad física de color de las harinas?
- ¿Cuáles serán los efectos de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS)) de las harinas?

1.3 Justificación de la investigación

Desde la perspectiva **técnico**, la investigación aprovecha el conocimiento y los recursos existentes en La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Los procesos y laboratorios utilizados son de conocimiento para el tesista, y la universidad dispone de equipos adecuados para llevar a cabo los análisis necesarios. El apoyo del asesor como de los docentes han sido fundamental para asegurar que la investigación se realice. La investigación también permite explorar nuevas técnicas y procesos que podrían mejorar la producción y el procesamiento de las diferentes especies de semillas y categorías, contribuyendo a la innovación en el sector.

Desde el aspecto **económico**, la investigación se llevó a cabo con una gestión eficiente de los recursos. La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac proporcionó equipos cruciales para el análisis de resultados, mientras que los gastos restantes fueron



asumidos por el Vicerrectorado de Investigación. Se realizaron requerimientos específicos de materiales y equipos para el laboratorio de Operaciones Unitarias y de Procesamiento de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EAPIA), dado que la universidad no contaba con todos los recursos necesarios. Debido a esta limitación, fue necesario adquirir materiales y equipos adicionales, esenciales para el desarrollo y la precisión de la investigación. Esta adquisición garantizó que todos los procedimientos se realizaran con los estándares requeridos y permitió cumplir los objetivos del proyecto de manera efectiva.

Desde una perspectiva **social**, el estudio de los efectos de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades físicas y funcionales de las harinas, serán de vital importancia ya que promoverá el consumo de este contribuirá a una comprensión más profunda de las características de las harinas, facilitando su aplicación eficiente en la industria alimentaria. Además, la investigación proporciona datos valiosos que benefician a las empresas locales los cuales son pequeños productores de la industria alimentaria al facilitar la adaptación de productos a las preferencias del mercado y optimizar los procesos de producción.

El enfoque **metodológico** del estudio incluye un análisis exhaustivo de la granulometría, propiedades físicas y funcionales de las harinas obtenidas de diferentes semillas. La investigación se llevó a cabo utilizando técnicas estandarizados el cual asegura los datos precisos y representativos. La combinación de molienda y tamizado para obtener harinas con diversos tamaños de partículas permitirá evaluar cómo estas características influyen en la calidad general de las harinas. Esta metodología proporcionará una base sólida para la toma de decisiones en la industria alimentaria, facilitando la aplicación eficiente de los productos en función de sus atributos específicos.

Finalmente, en relación al impacto **ambiental**, el proceso de análisis de las propiedades físicas y funcionales de las harinas no generó sustancias tóxicas ni residuos perjudiciales para el medio ambiente.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades físicas y funcionales de las harinas.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la propiedad física de granulometría (distribución de tamaño y diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*).
- Evaluar el efecto de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre la propiedad física color de las harinas.
- Evaluar los efectos de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y de las diferentes



categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) sobre las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS)).

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

Las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en las propiedades físicas y funcionales de las harinas.

2.2.4 Hipótesis específicas

- Existe diferencia significativa en la propiedad física de granulometría (diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*).
- Las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en la propiedad física de color de las harinas.
- Las diferentes especies de semillas cebada (*Hordeum vulgare L.* var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L.* var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L.* var. *Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero,

grueso y fino) influyen significativamente en las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS)) de las harinas.

2.3 Operacionalización de variables

A continuación, se presenta la Tabla 1, que detalla la operacionalización de variables. Esta tabla se divide en dos etapas y se centra en las propiedades físicas y funcionales de las harinas, provenientes de diferentes especies de semillas y a diferentes tamaños de partículas.

Etapas I:

- Variables fijas

Especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*).

- Variables de respuesta

Granulometría: Distribución de tamaño y diámetro medio de partículas de las harinas.

Etapas II:

- Variables fijas

Especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*).

- Variables de respuesta

Color: L^* , a^* , b^* , c^* y h°

Propiedades funcionales: Capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS).



Tabla 1 — Operacionalización de variables

Etapa I		
Variable	Indicador	Índice
Variables independientes		
Especies de semillas y/o granos, cereales, pseudocereales y legumbres, de mayor consumo en la Región Apurímac	Cebada var. INIA 411 San Cristóbal Maíz var. INIA 620- Wari Quinoa var. Blanca de Junín Kiwicha var. Oscar Blanco Arveja var. INIA-Usui Haba var. Verde Pacae	Adimensional
Variables dependientes		
Propiedades físicas de Granulometría	Distribución de tamaño de partículas. Diámetro medio de partículas	% μm
Etapa II		
Variable	Indicador	Índice
Variables independientes		
Especies de semillas y/o granos, cereales, pseudocereales y legumbres, de mayor consumo en la Región Apurímac	Cebada var. INIA 411 San Cristóbal Maíz var. INIA 620- Wari Quinoa var. Blanca de Junín Kiwicha var. Oscar Blanco Arveja var. INIA-Usui Haba var. Verde Pacae	Adimensional
Categoría de tamaño de partículas	Entero Grueso Fino	<1000 μm >150 μm <150 μm
Variables dependientes		
Propiedades físicas	Color: L*, a*, b*, c* y h°	Adimensional
Propiedades funcionales	Capacidad de absorción de agua Capacidad de retención de agua Capacidad de absorción de aceite Capacidad de hinchamiento índice de solubilidad en agua	g/ g m.s. g/ g m.s. g/ g m.s. g/mL %

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Cheng *et al.* (2023), realizaron una investigación titulada “Molienda y tamizado diferencial para diversificar la funcionalidad de la harina: una comparación entre legumbres y cereales”, determinaron las propiedades fisicoquímicas de las harinas de cereales y legumbres enteras, gruesas y finas. Se analizaron las semillas de arveja, lenteja, cebada y avena las cuales fueron categorizadas (entero, grueso y fino). Se observaron propiedades funcionales comparables para las tres corrientes de harinas, la capacidad de adsorción de aceite (CAAc) de las harinas de cebada y avena exhibió una tendencia consistente de grueso > entero > fino que los diferentes tamaños de partículas. Esta investigación demostró claramente que el tamaño de las partículas, la composición química y la estructura microscópica eran variables importantes que determinaban las propiedades tecno-funcionales específicas de las harinas de legumbres y cereales.
- b) Bala *et al.* (2020), estudiaron las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas de la harina de guisante (*Lathyrus sativus L.*) influenciadas por el tamaño de partículas. La harina de arveja (*Lathyrus sativus L.*) fue fraccionada por tamices de N°60.00, N°72.00, N°85.00, N°100.00, N°150.00 y N°200.00 y en el rango del tamaño de partículas es 249.00 μm - 74.00 μm . La distribución de tamaño de partícula mostró valores medios en el rango de 20.20 μm a 23.70 μm , lo que indica harinas en la categoría fina molida; con una disminución en la formación de espuma, la estabilidad de espuma y la capacidad de absorción de agua (CAA). Sin embargo, en esta categoría fina, se mostró el aumento en la capacidad hinchamiento (CH) y capacidad de absorción de aceite (CAAc). Los parámetros de color de L* el mayor valor fue de 88.85 este se obtuvo en el menor tamaño de partícula 74.00 μm (categoría fina), mientras que para a* disminuyeron hasta 0.93; sin embargo, en el valor de b* no se encontró diferencia significativa.
- c) Du *et al.* (2014), hicieron estudio de las siguientes leguminosas frijol pinto, pallar, frijol rojo, frijol negro, frijol blanco, frijol rojo chico, frijol mungo, garbanzo y lenteja, de los cuales se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y propiedades funcionales. Los resultados obtenidos indicaron que, las harinas de las leguminosas *Phaseolus* mostraron



- una mayor capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, actividad emulsificante y estabilidad de emulsión a comparación a la de las demás harinas de leguminosas presentando así diferencias significativas ($p < 0.05$).
- d) Bolade *et al.* (2009), evaluaron las propiedades fisicoquímicas de la harina de maíz el cual fue fraccionada en cuatro (4) fracciones : $< 75.00 \mu m$, $75.00 - 150.00 \mu m$, $150.00 - 300.00 \mu m$ y harina integral ($< 425.00 \mu m$), tanto la proteína, ceniza, fibra cruda, almidón y las propiedades funcionales de capacidad de absorción de agua (1.90, 2.10 g/g) y capacidad de absorción de aceite (1.70 - 2.10 g/g), el color (L^* , a^* , b^* , c^* y h°) se vieron afectados por el fraccionamiento. Resultando que la harina de maíz de $75.00 - 150.00 \mu m$ puede predisponer al gel alimenticio una mejor maleabilidad manual, siendo este un indicador de calidad importante.
- e) Dussán *et al.* (2019), determinaron las de propiedades de granulometría, funcionales y de color de la harina de quinua Blanca Jericó y de chontaduro variedad Rojo Cauca. En el cual la harina de quinua presenta una granulometría diferente a la granulometría de la harina de chontaduro con diámetros de partícula inferiores, más homogénea y sin formación de grumos. Indicando así que todos los valores de las cuatro propiedades funcionales evaluadas en la harina de chontaduro fueron superiores que en la harina de quinua. Los resultados del contenido de humedad e índice de solubilidad en agua (IS) fueron estadísticamente iguales mientras que los valores del índice de absorción (IAA) y del poder de hinchamiento (PH) fueron estadísticamente superiores en la harina de chontaduro. Todos los valores promedios de los parámetros de color evaluados, con excepción del tono (h°), indican la diferencia de color de las harinas de quinua y chontaduro, el valor de la luminosidad (L^*) en la harina de quinua fue mayor que la luminosidad de la harina de chontaduro con valores de 84.87 y 76.57 respectivamente. Así mismo los valores de las propiedades granulométricas, funcionales y de color son influenciados por el tipo de harina.
- f) Sequeiros (2022), evaluó la composición de nutrientes, bioactividad y propiedades funcionales tecnológicas de maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa W.*) y tarwi (*Lupinus mutabilis S.*), de la región Apurímac. Trabajo con las semillas de quinua, blanca, Roja Pasankalla y Negra Collana; maíz blanco, amarillo y morado; y tarwi, Yunguyo, H6INIA y Allqamari. En los resultados obtenidos de propiedades funcionales el tarwi, siendo este una legumbre resaltó en todas las propiedades tecnofuncionales como capacidad de absorción de agua (3.55, 3.70 y 3.35 g/g), capacidad de retención de agua (3.95, 4.13, 4.05 g/g) capacidad de hinchamiento (2.75, 2.70 y 2.75 ml/g)



solubilidad (86.36, 86.12, 84.97 %) en sus diferentes variedades estudiadas, la quinua tuvo el valor más bajo en Solubilidad, mientras que el maíz presento valores más bajos respecto a las demás muestras estudiadas.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Cebada (*Hordeum vulgare L.*) y harina

La cebada es una semilla que pertenece a la familia de las gramíneas. La cebada debido a sus múltiples usos como alimento humano, animal y sustrato para malteado, es considerado como uno de los cereales más importante a nivel mundial (Kant *et al.*, 2016).

En la composición de la semilla de cebada, la cáscara y el pericarpio constituyen entre el 9.00% y el 14.00% de la materia seca del grano. A esto le siguen la testa, la cutícula nuclear y el pigmento, que en conjunto representan entre el 1.00% y el 3.00%. El embrión representa entre el 2.00% y el 5.00%, la capa de aleurona del 8.00% al 15.00%, y el endospermo harinoso alrededor del 75.00% (Tabla 2). La cáscara de cebada protege al pericarpio, al endospermo y al germen. La cebada se utiliza en la alimentación humana, como materia prima para la alimentación animal, y en la producción de malta para la fabricación de cerveza y whisky (Machado, 2001).

Tabla 2 — Proporciones de los distintos tejidos de los granos de cebada.

Parte del grano (constituyentes principales)	Proporción (% materia seca)
Embrión* (azúcares solubles, 20.00-25.00%; lípidos 14.00-17.00% <proteínas> alrededor de 34.00%)	2.00-5.00
Cascarilla y pericarpio (fibrosa y fundamentalmente inerte)	7.00-15.00
Testa (doble capa cuticularizada con cera)	1.00-3.00
Capa de aleurona* +tejido nuclear (triacilglicérolos, 20.00%; proteínas, 17.00-20.00%)	7.00-12.00
Endospermo amiláceo (almidón 85.00 -89.00%)	Aprox. 75.00%
NOTA En estos tejidos están concentrados los lípidos, minerales y vitaminas.	
FUENTE: Dendy <i>et al.</i> , 2004.	

La cebada limpia se descascarilla utilizando diversos equipos, como discos o piedras abrasivas, o mediante cepillado. Las etapas sucesivas del proceso de descascarillado incluyen la eliminación de la cáscara, el pericarpio, la testa, el embrión, la capa de aleurona y otras partes externas del endospermo. Una vez descascarillada, la cebada se muele, y el producto resultante se utiliza en la fabricación de pan y otros productos (Dendy *et al.*, 2004). La cebada no solo mejora la calidad y la nutrición de los productos de panificación, sino que también ofrece amplias aplicaciones en la industria alimentaria, contribuyendo a una dieta equilibrada y a la innovación en productos alimenticios.

3.2.2 Maíz (*Zea mays*) y harina

Los granos de maíz (cariópsides o cariopses) son frutos independientes insertados en la tusa y compuesta fundamentalmente por cuatro estructuras de las cuales son: endospermo, germen, pericarpio y tapa de la punta, distribuidos en 83.00, 11.00, 5.00 y 1.00% respectivamente de la semilla de maíz. El endospermo está constituido principalmente por almidón que está rodeado por una matriz y cuerpos proteicos. El germen (embrión) de la semilla del maíz contiene un elevado porcentaje de grasa (33.20%) como también contiene enzimas y nutrientes para el crecimiento y desarrollo de futuras plantas de maíz. En cuanto a vitaminas el germen contiene vitamina B y antioxidantes como la vitamina E. El pericarpio es una barrera semipermeable el cual contiene elevado porcentaje de fibra (8.80% crudo) el mismo que rodea el endospermo y el germen cubre todo menos la tapa de punta. La tapa de la punta es la estructura a través por donde pasa toda la humedad y los nutrientes durante el desarrollo y el secado del grano. La capa hiliar en la tapa de la punta actúa como un sello. El término salvado también se usa para referirse a la capa exterior rica en fibra (pericarpio) que contiene vitamina B y minerales (Gwirtz y García, 2014).

La harina de maíz se obtiene mediante la molienda seca de granos de maíz limpios y acondicionados, produciendo los siguientes componentes y subproductos: endospermo, germen y salvado (Dapčević *et al.*, 2018). Este proceso de molienda seca confiere a las masas una capacidad para absorber agua sin añadir firmeza a la mezcla (Matz, 1992).

3.2.3 Valor nutricional de la cebada y el maíz

Los cereales constituyen la principal fuente de energía, carbohidratos y proteínas vegetales en la dieta global (Tabla 3). La cebada contiene un 4.40 g/100.00 g de fibra,



mientras que el maíz posee un 4.70 g/100.00 g de grasa. Además, tanto el maíz como la cebada tienen un alto contenido de carbohidratos debido a su naturaleza como semillas.

Tabla 3 — Composición química de la cebada y el maíz (g/100.00 g)

Semilla	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra	Ceniza	Kcal/100.00 g
Cebada	10.80	1.90	80.70	4.40	2.20	383.00
Maíz	10.20	4.70	81.10	2.30	1.70	408.00

FUENTE: Jancurová *et al.*, 2009.

3.2.4 Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) y harina

La semilla de quinoa tiene forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal y está conformado por tres partes: epispermo, embrión y perisperma. El epispermo tiene una capa externa llamada pericarpio donde se encuentra la saponina (anti nutriente) que provee el sabor amargo. Existen diferencias entre variedades en función al contenido de saponinas, conocidas como “amargas” y “dulces” (Mujica *et al.*, 2006; Rivas, 2013). El embrión, está conformado por dos cotiledones y la radícula y esta constituye el 30.00% del volumen de la semilla, lo que otorga un alto contenido proteico en comparación con los cereales (Valencia, 2003). El perisperma es el principal tejido de almacenamiento, reemplaza al endospermo y está integrado mayormente por granos de almidón de color blanquecino y representa prácticamente el 60.001% de la semilla (Pando y Aguilar, 2016).

Para procesar harina de quinoa, es fundamental que las semillas estén sanas y limpias. Posteriormente, se someten a trituration y molienda para reducir el tamaño de las partículas. Finalmente, se realiza una separación física mediante tamizado. A partir de este producto, se pueden derivar diversas aplicaciones y usos. (NTP 011.451, 2013).

A partir de este producto, se pueden derivar diversas aplicaciones y usos. La harina de quinoa obtenida puede ser utilizada en la elaboración de una variedad de productos alimenticios, como panes, galletas y pasteles, ofreciendo un perfil nutricional enriquecido debido a su alto contenido de proteínas, fibra y micronutrientes.

3.2.5 Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y harina

Las semillas del amaranto son de tamaños pequeñas, apenas más grandes que las semillas de mostaza (0.90 a 1.70 mm de diámetro) con forma lenticular y pesan por semilla entre 0.60 y 1.30 mg (Arendt y Zannini, 2013). El color de las semillas varía de una especie a otra, desde marfil pálido hasta negro. El embrión de la semilla permanece rodeado por la capa nutritiva, en cambio, las células del perispermo de pared delgada contienen gránulos de almidón y los cuerpos proteicos están incrustados en la matriz lipídica (Coimbra y Salema, 1994). Además, las semillas de amaranto tienen un alto valor nutricional ya que poseen un perfil equilibrado de aminoácidos, especialmente lisina y metionina, que suelen ser deficientes en otros cereales (Coelho *et al.*, 2018).

A partir de semillas de amaranto sanas, limpias y bien conservadas, se obtiene harina de amaranto mediante métodos tradicionales de molienda utilizados también para otros cereales. No obstante, para producir un producto con diversas composiciones químicas (proximales) y propiedades físicas distintas, es necesario separar las fracciones durante el proceso de molienda. En este caso, sería beneficioso emplear tecnología de fresado tradicional para lograr los resultados deseados (Arendt y Zannini, 2013).

3.2.6 Valor nutricional de la quinua y kiwicha

Las semillas de quinua y kiwicha tienen un alto valor nutricional que superan a los cereales comunes en cuanto a contenido de lípidos, proteínas, fibra dietética, vitaminas B1, B2, B6, C y E y muchos minerales (calcio, fósforo, hierro y zinc). Además, posee buena composición de aminoácidos esenciales, incluyendo la presencia de la lisina y el triptófano, aminoácidos limitantes en los cereales comunes. Desde el punto de vista de la digestibilidad, la biodisponibilidad, la lisina disponible y la utilización neta, las proteínas de los pseudocereales suelen ser una mejor opción que las proteínas de los cereales (Repo-Carrasco *et al.*, 2003). En la Tabla 4, se muestra la comparación química de la quinua y la kiwicha. La kiwicha contiene mayor contenido de proteínas y fibra dietaria (16.50 y 20.69 g/100.00 g respectivamente) y menor contenido de almidón total (61.29 g/100.00 g) a comparación de la quinua (64.20 g/100.00 g) (Alvarez *et al.*, 2010). El almidón es el componente más abundante en las semillas de quinua, Cañiwa y kiwicha, como en todos los cultivos de cereales. En las plantas, el almidón está presente en forma



granular. Los gránulos de diferentes especies tienen un tamaño y forma característicos (Repo-Carrasco *et al.*, 2003).

Tabla 4 — Composición química de la quinua y amaranto (g/100.00 g)

Semilla	Proteína	Grasa	Almidón Total	Fibra dietaria	Ceniza
Quinua	14.50	5.20	64.20	14.20	2.70
Kiwicha	16.50	5.70	61.40	20.60	2.80

FUENTE: Alvarez *et al.*, 2010.

3.2.7 Arveja (*Pisum sativum L.*) y harina

La arveja es un fruto en legumbres, cuya longitud de la vaina es 8.00 a 1.80 cm, color amarillo, con seis a diez semillas de 5.00 a 8.00 mm de diámetro, esféricas, de color variable. El consumo es en forma de semillas frescas y secas. En algunos países también se conocen como chícharos, arvejas, arvejos o arbeyos (D'Ambrosio *et al.*, 2018).

La harina de arveja (*Pisum sativum L.*) es una fuente de proteína económica y accesible, lo que la convierte en una opción viable para la población con recursos limitados. La harina de arveja es poco común en la producción de productos de consumo masivo. No obstante, las arvejas son legumbres destacadas por su alto valor nutricional. Por esta razón, los productos derivados de las arvejas, como la harina de arveja en sus versiones cruda y tostada, así como los concentrados de proteína, aislados de fibra y almidón de arveja, han surgido como ingredientes funcionales prometedores (Ramírez, 2015).

3.2.8 Haba (*Vicia faba L.*) y harina

El haba es el grano maduro procedente de la especie *Vicia faba L.*, que pertenece a la familia de las legumbres, caracterizada por su bajo contenido de grasa (CODEX STAN 171-1989, 1995) Además, se adapta a condiciones de climas fríos característicos de la sierra peruana (Ferro, 2004).

La harina de haba, obtenida a partir de las semillas secas es un producto que puede sustituir a la harina de trigo, después de un proceso de descascarado mecánico y molido (Rosero, 2013). El descascarado mecánico elimina la cáscara el cual permite la reducción de taninos y polifenoles en un 92.00% y 81.00% respectivamente ya que estos se encuentran en mayor cantidad en la cáscara (Rahate *et al.*, 2021).



3.2.9 Valor nutricional de la arveja y haba

Las legumbres son recursos alimenticios que ofrecen diversos beneficios para la salud. Son fuentes de carbohidratos complejos, proteínas y fibra dietética, así como de cantidades significativas de vitaminas y minerales. El contenido de proteínas de las leguminosas oscila entre 17.00 g/100.00 g y 40.00 g/100.00 g, mucho mayor que el de los cereales (7.00-3.00 g/100.00 g) y aproximadamente igual al contenido de proteínas de la carne (18.00-25.00 g/100.00 g). En los países en desarrollos, las legumbres son la segunda fuente más importante de alimento humano después de los cereales (Du *et al.* 2014).

La arveja contiene proteínas en el rango de 21.20 a 32.90 g/100.00 g y varían en gran medida debido a los factores ambientales y genéticos. La cantidad de carbohidratos en las arvejas enteras oscilan entre el 56.60 y el 74.00 g/100.00 g, y en el grano, entre el 62.80 y el 78.60 g/100.00 g. Las arvejas son una buena fuente de muchos minerales. La mayoría de estos minerales están presentes entre la testa y el grano; este último es más rico en calcio y potasio (Dahl *et al.*, 2012, Savage y Deo, 1989). En la Tabla 5, se muestra que el haba contiene mayor contenido de proteína (27.99 g/100.00 g) que la arveja.

Tabla 5 — Composición química de las haba y arveja (g/100.00 g)

Semilla	Proteína	Grasa	Fibra dietaría total	Fibra dietaría soluble	Fibra dietaría insoluble	Ceniza
Haba	27.99	1.57	13.80	4.74	9.07	3.40
Arveja	22.33	1.40	14.84	5.08	9.77	3.52

FUENTE: Millar *et al.*, 2019.

3.2.10 Granulometría

La granulometría es el análisis del tamaño de las partículas que permite diferenciar las diversas aberturas que pasa por los distintos tamices, es de utilidad para distinguir entre harinas gruesas y finas. Los responsables del tamaño de partícula y granulación de la harina en la molienda son los tamaños de los tamices a usar, la dureza propia del grano entero y el tipo de molino. El tamaño del granulo influye en la absorción de agua y la homogeneidad de esta, lo que incide en el rendimiento de la harina (Dubois y Gaido, 2004).



3.2.11 Tamizado

El tamizado es un procedimiento de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas. Las partículas de menor tamaño o finas, atraviesan los orificios del tamiz; mientras que las de mayor tamaño o colas, no atraviesan. Un tamiz tiene una medida específica el cual divide en dos fracciones la harina dejando en el tamiz la parte de mayor tamaño y dejando pasar a la de menor tamaño. Se les nombra fracciones no clasificadas debido que, aunque se conozca el límite superior o inferior de los tamaños de partícula de cada una de las fracciones, no se conoce el otro límite. A veces el tamizado se realiza en húmedo, aunque la mayoría de las veces se tamiza en seco (McCabe *et al.*, 2017).

3.2.12 Sistemas CIE

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) ha creado los sistemas más relevantes y ampliamente utilizados en la actualidad para la descripción y medición del color. Estos sistemas se fundamentan en la utilización de fuentes de iluminación y observadores estándar (Giese, 1995). Los sistemas desarrollados por la CIE emplean tres coordenadas para situar un color dentro de un espacio de color. Entre estos espacios de color se encuentran CIE XYZ, CIE L*a*b* y CIE L*C*h° (Mathias-rettig y Ah-Hen, 2014).

En 1976 la CIE recomendó el espacio de color CIE Lab, Con la finalidad de obtener un espacio de color más uniforme. Se establece así un espacio utilizando coordenadas rectangulares (L*, a*, b*) y otro basado en coordenadas cilíndricas (L*, h°, c*), lo que da lugar a un sistema tridimensional esférico.

a) CIE Lab

Las coordenadas L*, a* y b* son magnitudes sin dimensiones, y su correspondencia con el sistema CIE XYZ se determina mediante las siguientes fórmulas (1, 2 y 3) (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014):

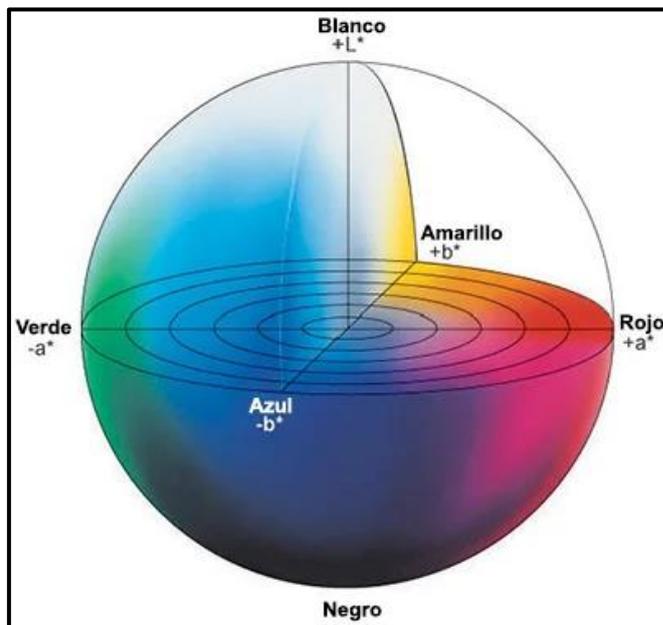
$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2)$$



$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3)$$

Donde X, Y, Z son los valores triestímulo de la muestra y X_0 , Y_0 , Z_0 los del punto acromático correspondiente al iluminante empleado.



FUENTE: Mihaela, 2011

Figura 1 — Espacio de color CIE L*a*b*

La coordenada L^* , denominada luminosidad o claridad, puede variar entre 0 y 100. Por su parte, las coordenadas colorimétricas a^* y b^* se sitúan en un plano que es perpendicular a la coordenada L^* .

La coordenada a^* indica la desviación desde el punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo cuando a^* es positiva, y hacia el verde cuando a^* es negativa. De manera similar, la coordenada b^* refleja la desviación hacia el amarillo si b^* es positiva, y hacia el azul si b^* es negativa (Gilabert, 1992). El par de coordenadas a^* y b^* se denomina cromaticidad y, junto con L^* , define el color del estímulo en coordenadas cartesianas o rectangulares.

b) Cie Lch

La cromaticidad está definida por las coordenadas c^* (croma) y h° (tono), se detalla en las siguientes fórmulas 4 y 5 (Francis y Clydesdale, 1975).

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

$$h^{\circ} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

El croma c^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150.00, aunque puede superar valores de 1000.00 para estímulos monocromáticos. El tono, h° , varía entre 0 y 360° y para los estímulos acromáticos ($a^* = b^* = 0$) es una magnitud indefinida. Ambos términos (c^* , h°) también definen la cromaticidad del color de un estímulo y, junto con la L^* , determinan las coordenadas cilíndricas del espacio CIE Lab (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

En este espacio, el color se describe mediante tres magnitudes numéricas: L^* (luminosidad), c^* (croma) y h^* (tono), en ese orden. La caracterización del color se realiza usando las coordenadas L^* , a^* y b^* (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

3.2.13 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales son las características fisicoquímicas intrínsecas de los alimentos. Los componentes como la fibra, el almidón y las proteínas contribuyen significativamente a la tecno-funcionalidad del producto; como resultado, su presencia en un ingrediente o producto alimenticio (granos con cáscara o sin cáscara) podría alterar la tecno-funcionalidad del alimento. Para aplicaciones alimentarias, las propiedades funcionales fundamentales incluyen solubilidad, retención de agua o hidratación, propiedades espumantes, emulsionantes, espesantes y formadoras de gel. Las propiedades funcionales influyen en el comportamiento del producto durante y después del procesamiento, ya que influyen en la calidad general pues tiene efecto en la percepción sensorial de los alimentos (de panadería, confitería, postres, bebidas, aderezos para ensaladas y productos cárnicos) (Farooq y Boye, 2011).

a) Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de retención de agua (CRA)

Cornejo y Rosell (2015) definen que la capacidad de retención de agua (CRA), sería la cantidad de agua retenida por la muestra sin ser sometida a ningún estrés. La propiedad tecno-funcional de CAA se usa para describir las propiedades de hidratación de las harinas se refieren a la cantidad de agua que se puede ser absorbido por gramo de material de muestra (Farooq



Y Boye, 2011). La CAA es una propiedad tecno-funcional de las proteínas, fundamental para la preparación de alimentos viscosos tales como sopas, salsas, masas y de productos horneados, donde se requiere una buena interacción proteína agua (García *et al.*, 2012).

b) Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

El mecanismo de absorción de grasa (CAAc) involucra el atrapamiento físico del aceite. Por lo tanto, el tamaño de las partículas, la composición de la harina de leguminosas, el contenido de humedad y la microestructura son algunos de los factores que pueden afectar la CAAc. Además, los diferentes perfiles de composición de proteínas y las cantidades de residuos de aminoácidos no polares, así como las diferencias en las características (Farooq y Boye, 2011).

c) Índice de solubilidad (IS)

El índice de solubilidad es una propiedad tecno-funcional la cual es medida de la cantidad de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando el mismo comienza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua (Hoover, 2001)

d) Capacidad de hinchamiento (CH)

El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua de cada almidón El hinchamiento se define como la tasa de volumen ocupada cuando la muestra se sumerge en un exceso de agua en relación al peso real de la muestra; se expresa en unidades de mL/g (Raghavendra *et al.*, 2004).

3.3 Marco conceptual

- a) **Semilla.** La semilla es la unidad de reproducción sexual de las plantas y contiene toda la información genética necesaria para desarrollar una nueva planta. Además, la semilla también se considera un fruto y se utiliza tanto para el consumo animal como humano. (Doria, 2010).
- b) **Fuentes de semillas.** se refieren a los orígenes y tipos de semillas como por ejemplo los cereales pseudocereales, legumbres entre otros. utilizadas en la agricultura, la jardinería y la producción de alimentos. Estas fuentes pueden incluir una variedad de especies



vegetales, cada una con características específicas que afectan su crecimiento, desarrollo y aplicaciones.

- c) **Harina.** Es el producto obtenido de la tritución y molienda de granos secos enteros y/o descascarados procedentes de granos, semillas, tubérculos u otros productos vegetales.
- d) **Harina integral.** Es el producto destinado al consumo humano que se obtiene de la molienda gradual y metódica de granos limpios; de cereales, pseudocereales y legumbres, sin separación de ninguna parte de el con el rendimiento al 100% (NTP 205.058 2015)
- e) **Diámetro medio de partícula.** Es el diámetro de partículas que representa a un conjunto de partículas las cuales se fraccionaron por diversos tamices y mediante una fórmula matemática se obtiene la representación numérica de unidad de μm .
- f) **Luminosidad.** El término luminosidad, "brillantez" o "brillo" se refiere a la cantidad total de energía que emite un color, lo que determina su claridad o oscuridad. Representa el rango entre el nivel más bajo de oscuridad y el máximo grado de luminosidad. (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).
- g) **Tono.** *“Tono, tinte, color, “hue”. Es caracterizado por la longitud de onda de la radiación y hace diferente un color de otro. Representa un espacio en el diagrama de cromaticidad”* (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).
- h) **Croma.** *“Saturación, intensidad, pureza, “chroma”. Define la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos. Es el grado de color (incolores, brillo, palidez)”* (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).
- i) **Propiedades tecno-funcionales.** Las propiedades tecno-funcionales son propiedades físico-químicas que proporcionan información sobre cómo un ingrediente (componente) en particular (proteína, carbohidrato) podría comportarse en una matriz alimentaria. Dichas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales y de las interacciones que se establecen entre ellos (Kinsella *et al.*, 1976).
- j) **Solubilidad.** Capacidad que tiene un cuerpo para disolverse al interactuar con un líquido.
- k) **Absorción.** Es la capacidad de retener sustancias por las moléculas que posee otra bien sea en estado líquido o gaseoso.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación, es de enfoque cuantitativo. La investigación es básica ya que los resultados obtenidos en la investigación son de base para los estudios posteriores con fines aplicativos. El nivel de investigación es explicativo (causa-efecto), puesto que pretende explicar el efecto de las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare* L. var. INIA 411 San Cristóbal), maíz (*Zea mays* var. INIA 620- Wari), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. Blanca de Junín), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Oscar Blanco), arveja (*Pisum sativum* L. var. INIA-Usui) y haba (*Vicia faba* L. var. Verde Pacae), y de las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) de las harinas sobre las variables de respuesta. El diseño de investigación es experimental, porque existe manipulación intensional de investigador en las variables fijas y en forma aleatoria para las variables de respuesta (Hernández *et al.*, 2013).

4.2 Diseño de la investigación

Etapa I, se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con un solo factor de estudio de seis especies de semillas: quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba con tres repeticiones (n=3.00). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y en caso de resultar significativo ($p < 0.05$) se procedió con la comparación múltiple de medias mediante la prueba Tukey. Las pruebas estadísticas fueron realizadas haciendo uso del programa estadístico de Infostat versión 2011.

El modelo estadístico es:

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

Donde Y_{ij} , es el resultado de la granulometría; i : 1, 2, 3, 4, 5, 6 (especies de semillas); j : 1, 2, 3 (Repeticiones); μ : es la media general; τ_i : Diferencia del Promedio y el ε_{ij} : Error, Experimental.



Tabla 6 — Esquematización del diseño experimental de la etapa I

Variable independiente	Variable dependiente	Ensayos
Semillas de diferentes especies	Propiedades físicas de granulometría	
Quinoa	$y_1 r_1$ $y_1 r_2$ $y_1 r_3$	3.00
Kiwicha	$y_2 r_1$ $y_2 r_2$ $y_2 r_3$	3.00
Cebada	$y_3 r_1$ $y_3 r_2$ $y_3 r_3$	3.00
Maíz	$y_4 r_1$ $y_4 r_2$ $y_4 r_3$	3.00
Arveja	$y_5 r_1$ $y_5 r_2$ $y_5 r_3$	3.00
Haba	$y_6 r_1$ $y_6 r_2$ $y_6 r_3$	3.00
Total		18.00
NOTA y_1, y_2, \dots, y_6 variable respuesta expresado en propiedades físicas (diámetro medio). r_1, r_2 y r_3 : número de repeticiones ($n=3$).		

Etapa II, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 6×3 seis especies de semillas: quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba; tres categorías de tamaño de partículas: entero, grueso y fino con tres repeticiones ($n=3.00$). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y en caso de resultar significativo ($p < 0.05$) se procedió con la comparación múltiple de medias mediante la prueba Tukey. Las pruebas estadísticas fueron realizadas haciendo uso del programa estadístico de Infostat versión 2011.

El modelo estadístico es:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde Y_{ijk} es el resultado de las propiedades físicas y funcionales; τ , es el efecto del factor **a** (especies de semillas) β , es el efecto del factor **b** (categoría de tamaño de partículas); $(\tau.\beta)$ es la interacción de los factores y ε_{ijk} es el erro experimental.

Tabla 7 — Esquematización del diseño experimental de la etapa II

Categoría de tamaño de partículas (Factor b)	Semillas de diferentes especies (Factor a)					
	(a1) Quinua	(a2) Kiwicha	(a3) Cebada	(a4) Maíz	(a5) Arveja	(a6) Haba
(b1) Entero	y ₁ r ₁	y ₄ r ₁	y ₇ r ₁	y ₁₀ r ₁	y ₁₃ r ₁	y ₁₆ r ₁
	y ₁ r ₂	y ₄ r ₂	y ₇ r ₂	y ₁₀ r ₂	y ₁₃ r ₂	y ₁₆ r ₂
	y ₁ r ₃	y ₄ r ₃	y ₇ r ₃	y ₁₀ r ₃	y ₁₃ r ₃	y ₁₆ r ₃
(b2) Grueso	y ₂ r ₁	y ₅ r ₁	y ₈ r ₁	y ₁₁ r ₁	y ₁₄ r ₁	y ₁₇ r ₁
	y ₂ r ₂	y ₅ r ₂	y ₈ r ₂	y ₁₁ r ₂	y ₁₄ r ₂	y ₁₇ r ₂
	y ₂ r ₃	y ₅ r ₃	y ₈ r ₃	y ₁₁ r ₃	y ₁₄ r ₃	y ₁₇ r ₃
(b3) Fino	y ₃ r ₁	y ₆ r ₁	y ₉ r ₁	y ₁₂ r ₁	y ₁₅ r ₁	y ₁₈ r ₁
	y ₃ r ₂	y ₆ r ₂	y ₉ r ₂	y ₁₂ r ₂	y ₁₅ r ₂	y ₁₈ r ₂
	y ₃ r ₃	y ₆ r ₃	y ₉ r ₃	y ₁₂ r ₃	y ₁₅ r ₃	y ₁₈ r ₃

NOTA
y₁, y₂,...,y₁₈ es variable respuesta expresado en: propiedades física (color) y funcionales (capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS) r₁, r₂ y r₃ es número de repeticiones.

En la Tabla 7, se detalla el diseño estadístico el diseño completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial 6x3 habiendo en total 18 tratamientos tres repeticiones (n=3.00) y un total de 54 unidades de observaciones.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de estudio fue 6 especies de semillas: quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), cebada (*Hordeum vulgare* L. var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), arveja (*Pisum sativum* L. var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba* L. var. *Verde Pacae*); obtenidos de la región Apurímac provincia Abancay distrito Abancay en el mercado las Américas. El producto estuvo envasado en sacos de 50 kg en forma individual del cual se obtuvo 12 kg de cada una de las semillas.

4.3.2 Muestra

Las muestras se obtuvieron mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, consistiendo en 6.00 kg de cada uno de los componentes

seleccionados: quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), cebada (*Hordeum vulgare* L. var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), arveja (*Pisum sativum* L. var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba* L. var. *Verde Pacae*). Esta metodología se eligió debido a la disponibilidad y accesibilidad de los componentes en el momento del estudio. Los fines para los cuales se usaron las muestras se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8 — Muestra y aplicaciones: molienda y propiedades evaluadas

Muestra	Tamaño de muestra		
	Molienda (kg)	Propiedades físicas(kg)	Propiedades funcionales (g)
Quinua (var. Blanca de Junín)	6.00	1.20	22.50
Kiwicha (var. Oscar Blanco)	6.00	1.20	22.50
Cebada (var. INIA 411 San Cristóbal)	6.00	1.20	22.50
Maíz (var. INIA 620- Wari)	6.00	1.20	22.50
Arveja (var. INIA-Usui)	6.00	1.20	22.50
Haba (var. Verde Pacae)	6.00	1.20	22.50
Total	36.00	7.20	135.00

4.4 Procedimiento

Las muestras obtenidas fueron envasadas en bolsa de polietileno (en forma individual). En seguida las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. *Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. *Oscar Blanco*), cebada (*Hordeum vulgare* L. var. *INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays* var. *INIA 620- Wari*), arveja (*Pisum sativum* L. var. *INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba* L. var. *Verde Pacae*), fueron transportados al laboratorio de Operaciones Unitarias y de Procesamiento de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EAPIA) de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. A continuación. En la etapa I, las muestras fueron molidas en un molino de martillo para la obtención de harinas crudas (entera) como muestra la Figura 2. En la etapa II, las harinas obtenidas fueron fraccionadas mediante un tamiz N°100.00 (150.00 μ m), categorizadas en

entero ($<1000.00 \mu m$), grueso ($150.00 \mu m$ a $1000.00 \mu m$) y fino ($<150.00 \mu m$) posteriormente fueron envasados en recipientes herméticos y conservados a temperatura ambiente hasta realizar los análisis de propiedades físicas y funcionales.

Etapa I

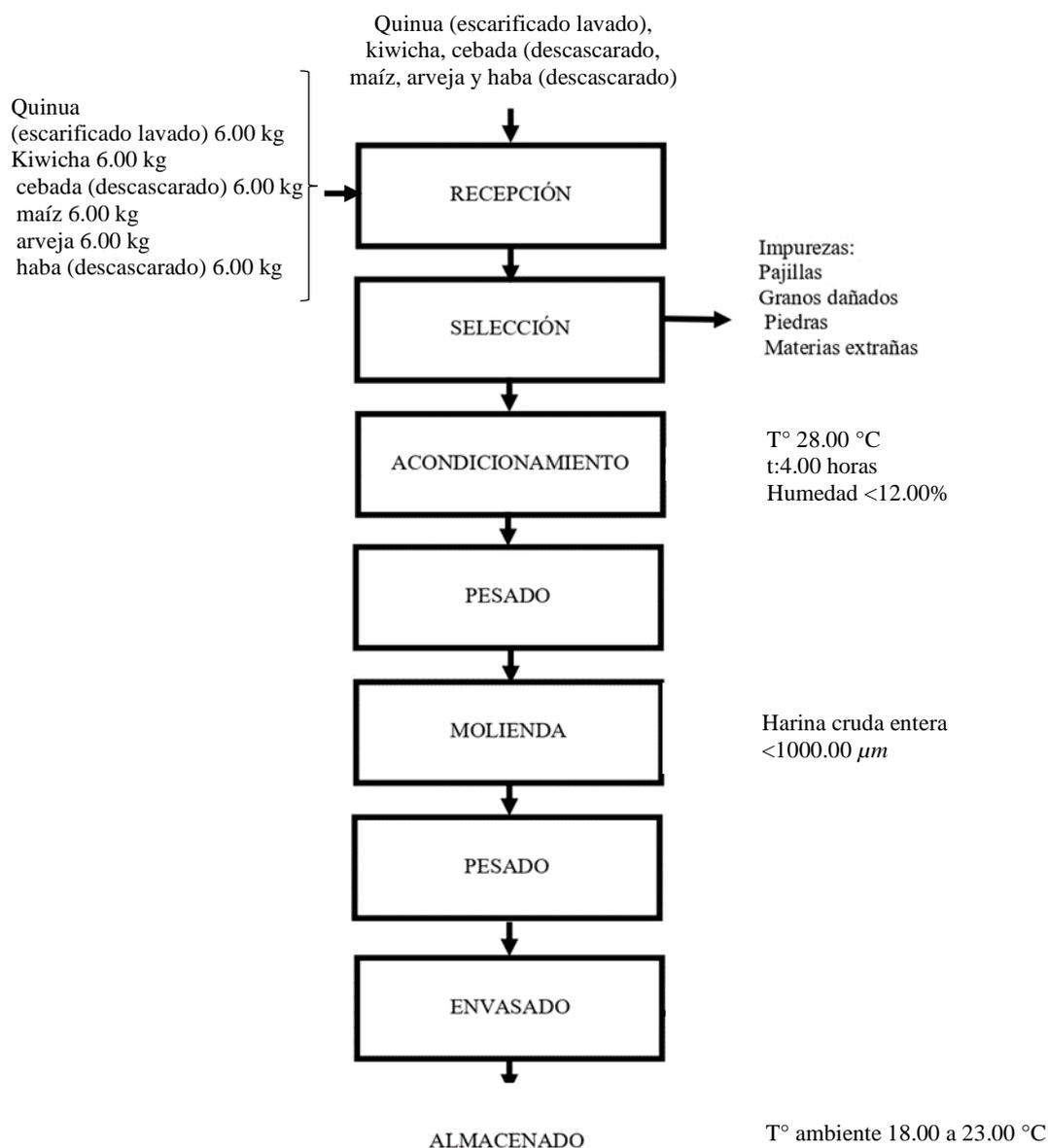


Figura 2 — Diagrama de flujo para la obtención de harinas crudas y enteras de las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

Descripción de las diferentes etapas del diagrama de flujo para la obtención de harinas enteras:



- a) **Recepción.** Las semillas de quinua var. Blanca de Junín (escarificado y lavado), kiwicha var. Oscar Blanco, cebada var. INIA 411 San Cristóbal (descascarado), maíz var. INIA 620- Wari, arveja var. INIA-Usui y haba var. Verde Pacae (descascarado) fueron recibidas en el laboratorio de Operaciones Unitarias y de Procesamiento de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EAPIA) en bolsas de polietileno presentación de 6 kg.
- b) **Selección.** La selección de las semillas de quinua var. Blanca de Junín (escarificado y lavado), kiwicha var. Oscar Blanco, cebada var. INIA 411 San Cristóbal (descascarado), maíz var. INIA 620- Wari, arveja var. INIA-Usui y haba var. Verde Pacae (descascarado), se realizó en forma manual sobre una mesa de acero inoxidable, con la finalidad de obtener semillas homogéneas teniendo en cuenta las siguientes características, de acuerdo a su especie, variedad y libre de materias extrañas ajenas (impurezas: pajillas, granos dañados y piedras) a su naturaleza.
- c) **Acondicionamiento.** Las semillas de quinua var. Blanca de Junín (escarificado y lavado), kiwicha var. Oscar Blanco, cebada var. INIA 411 San Cristóbal (descascarado), maíz var. INIA 620- Wari, arveja var. INIA-Usui y haba var. Verde Pacae (descascarado), fueron llevadas a la estufa a temperatura de 28.00 °C por 4.00 horas para obtener humedad menor a 12.00%.
- d) **Pesado.** Las semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) fueron pesados y fraccionados. Se conservaron en un frasco herméticamente cerrados a temperatura ambiente de 18.00 a 23.00 °C.
- e) **Molienda.** La molienda se realizó en un molino de martillo con una malla de 1.00 mm (1000.00 μm) se realizó la moliendo por triplicado. Se obtuvo harina cruda (integral o entero) con diámetro de partícula menor a 1000.00 μm .
- f) **Pesado.** La harina cruda entera (integral), fue pesada para obtener así su rendimiento total.
- g) **Envasado.** Se envasó en frascos rotulado con tapa rosca material plástico.
- h) **Almacenado.** Se almacenó en un lugar limpio seco y fresco a temperatura ambiente de 18.00 a 23.00 °C para su posterior análisis.



Etapa II

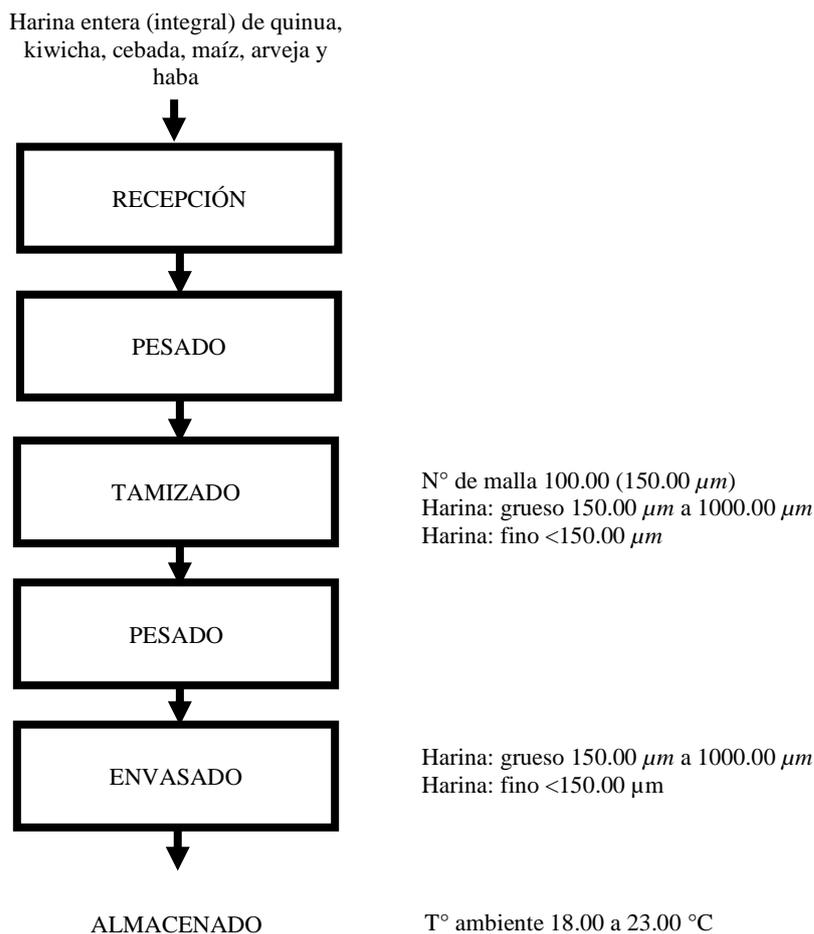


Figura 3 — Diagrama de flujo para la obtención de harinas crudas en entero, grueso y fino de las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

- a) **Recepción.** Las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba fueron trasladadas al laboratorio de química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EAPIA).
- b) **Pesado.** Cada una de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba, fueron pesados en 100 g por triplicado ($n=3.00$).
- c) **Tamizado.** Las muestras de harina entera (integral) de 100.00 g fueron fraccionadas en dos categorías grueso (150.00 μm a 1000.00 μm) y fino (<150.00 μm) mediante un equipo tamizador acoplado al agitador eléctrico (WS Tyler) con una malla N° de malla 100.00 (150.00 μm), la tapa y base. Mediante el tamizado se obtuvo dos categorías de harina: harina gruesa (150.00 μm a 1000.00 μm) y harina fina (<150.00 μm).
- d) **Envasado.** Se envasó en frascos con tapa rosca material plástico y rotulado.

- e) **Almacenado.** Se almacenó en un lugar limpio seco y fresco a temperatura ambiente de 18.00 a 23.00 °C para su posterior análisis.

4.5 Técnica e instrumentos

4.5.1 Determinación de las propiedades físicas

Etapa I

a) Distribución de tamaño y diámetro medio de partículas (DTP) (Dmp)

La **DTP** de cada una de las harinas de cebada, maíz, quinua, kiwicha, arveja y haba fueron obtenidas mediante el uso de un equipo tamizador acoplado a agitador eléctrico (WS Tyler) con un conjunto de mallas usando los tamices de 500.00 μm (N° de malla: 35.00), 180.00 μm (N° de malla: 80.00), 150.00 μm (N° de malla: 100.00), 90.00 μm (N° de malla: 170.00), 75.00 μm (N° de malla: 200.00), 63.00 μm (N° de malla: 230.00) y 38.00 μm (N° de malla: 400.00). El tamizado se realizó tomando 100.00 g de muestra y agitando durante 15.00 min para realizar la separación. Por cada malla se determinó el peso retenido de harina y luego se calculó el porcentaje en relación con el peso total de la muestra (Loayza, 2023).

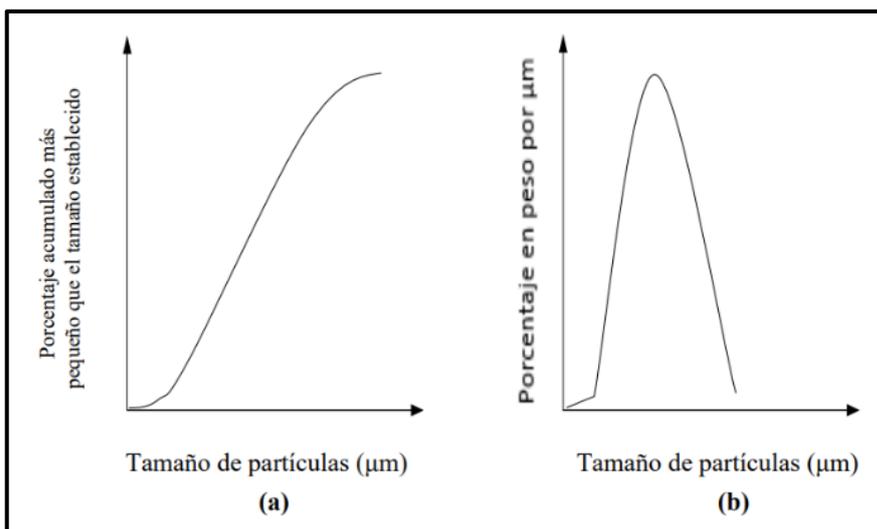
El diámetro medio de la partícula (**Dmp**) de cada harina fue calculado mediante la fórmula (6)

$$Dmp = \sum (Dmi\%R) \quad (6)$$

Donde **Dmi**, es el diámetro de malla **i** (μm); y **%R**, es el porcentaje relativo del peso retenido en la malla **i**.

Al mismo tiempo, la distribución del tamaño de partículas fue representados a través de los siguientes gráficos (Figura 4):





NOTA (a) porcentaje acumulado en función del tamaño de las partículas y
(b) porcentaje en peso en función del tamaño de las partículas.

FUENTE: Geankoplis, 2004

Figura 4 — Gráficos de distribución de tamaño de partículas

Una vez obtenido los datos del peso retenido en cada uno de los tamices, se calculó el porcentaje retenido mediante la fórmula (7)

$$\% \text{ retenido} = \text{Peso retenido} / \Sigma \text{ peso retenido} * 100.00 \quad (7)$$

Después de la obtención del porcentaje retenido, también se calculó el porcentaje acumulado empleando la fórmula (8) (Geankoplis, 2004):

$$\% \text{ Acumulado} = \% \text{ retenido} + \% \text{ acumulado inicial} \quad (8)$$

Etapa II

b) Cálculo del rendimiento

Las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba fueron sometidas a molienda y a partir de ello fueron categorizados en: harina entera (<1000.00 μm) harina gruesa (150.00 μm a 1000.00 μm) y harina fina (<150.00 μm). Para el cálculo del rendimiento, se utilizó un equipo WS Tyler, equipado con un tamiz de 150.00 μm (N° de malla: 100.00) con la finalidad de separar la harina entera (integral) en dos corrientes: la materia que pasó por el tamiz se recolectó y se designó como harina fina (<150.00 μm), mientras que la porción restante en la parte superior del tamiz se recolectó y se designó como harina gruesa (150.00 μm a 1000.00 μm). Por consiguiente, se generó tres categorías de harinas: enteras

(<1000.00 μm), gruesas (150.00 μm a 1000.00 μm) y finas (<150.00 μm); a partir de cada especie de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba). Los rendimientos de harina gruesa y harina fino del tamizado fueron calculados con la fórmula (9) conforme lo describe Cheng *et al.* (2023).

$$\% \text{ Rendimiento de harina gruesa/fina del tamizado} = [(\text{Peso de harina gruesa/fina recolectada del tamizado}) / (\text{Peso inicial de harina entero utilizada para el tamizado})] \times 100.00 \% \quad (9)$$

c) Cuantificación de color instrumental

Las coordenadas colorimétricas (L^* , a^* y b^*) se determinó mediante el uso de un colorímetro portátil CSM7 (PCE instruments, Deutschland GmbH), equipo que fue calibrado en blanco y negro respecto al manual. Se usó las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba, las cuales estuvieron divididas en tres corrientes entero, gruesas y finas respectivamente para medir el color instrumental (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

Las coordenadas colorimétricas donde:

L^* =luminosidad

a^* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Para determinar los valores de croma (c^*) y ángulo de tono (h°) se calcularon a partir de las fórmulas (10) y (11).

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (10)$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (11)$$

4.5.2 Análisis de propiedades funcionales

a) Capacidad de absorción de agua y capacidad de retención de agua (CAA y CRA)

Se pesó 100.00 mg de harina de las diferentes especies de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) y categorizadas (entero, grueso y fino) los cuales fueron adicionadas en tubos cónicos e hidratados con un exceso de agua destilada de 10.00 ml posteriormente pasaron a ser agitadas y homogenizadas



con un agitador vórtex, así para obtener una mezcla homogénea. En seguida las muestras hidratadas se dejaron a temperatura ambiente por una hora y para obtener el CRA se llevó la temperatura de 37.00 °C por 18:00 h y luego eliminados los sobrenadantes. Al finalizar este tiempo las muestras fueron centrifugadas 3000.00 g por 15.00 min y luego eliminadas el sobre nadante.

Los resultados fueron calculados por el uso de la fórmula (12), expresados en g de agua absorbida o retenida por g de materia seca (g /g) (Ma y Mu 2016).

$$CRA Y CAA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (12)$$

Donde m_1 es el peso seco (g) de la muestra y m_2 es el peso (g) de la muestra húmeda.

b) Capacidad de adsorción de aceite (CAAc)

Se pesó 200.00 mg de cada harina de las diferentes especies de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) y categoría (grueso, entero y fino), posterior a ello se añadido en tubos cónicos y mezclados con un exceso de aceite de 10.00 ml, los cuales fueron agitados y homogenizados con un agitador vórtex y almacenados por 18:00 h a temperatura ambiente y centrifugados a 3000.00 rpm por 20.00 min el sobrenadante fue eliminado. Los resultados fueron calculados por la siguiente fórmula (13) y expresados en g de grasa adsorbida por g de materia seca (g/g) (Ma y Mu 2016).

$$CAAc = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (13)$$

Donde m_1 es el peso seco (g) de la muestra y m_2 es el peso (g) de la muestra con aceite.

c) Capacidad de hinchamiento (CH)

Se pesó 2.00 g de cada harina de las diferentes especies de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) y categorías (grueso, entero y fino), los cuales fueron transferidos a probetas con 0.20 ml de graduación, posterior de ello se añadió 10.00 ml de agua destilada, las muestras fueron agitadas y homogenizadas con agitador vórtex, el volumen preliminar fue tomada una vez homogenizada la solución posterior a ello dejar en reposo durante las 18:00 h a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo definido se tomó el volumen final.



El resultado se calculó por la fórmula (14) y expresado en ml de agua por gramo de materia seca (mL/g) (Ma y Mu 2016).

$$CH = \frac{v_2 - v_1}{m} \quad (14)$$

Donde: v_1 es el volumen (mL) de la muestra seca, v_2 el volumen de la muestra hidratada (mL) y m es el peso de la muestra seca (g).

d) Índice de solubilidad

Las soluciones de concentraciones 1.00% (p/v) de cada harina de las diferentes especies de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) y categoría (grueso, entero y fino), en agua destilada fueron agitadas y homogenizadas con un agitador vórtex y llevados a un baño maría con vibración a 90.00 °C por 30:00 min. Transcurrido el periodo las soluciones fueron llevadas a enfriar a temperatura ambiente y centrifugada a 3000.00 rpm por 20:00 min. El sobrenadante fue recuperada y secada en una estufa a 105.00 °C por 4:00 h. Por consiguiente, los resultados se calcularon mediante el uso de la fórmula (15) y expresados en porcentaje (Ma y Mu 2016).

$$SA = m_2/m_1 * 100 \quad (15)$$

Donde m_1 es el peso seco (g) inicial de la muestra y m_2 es el peso seco (g) de la muestra después de la evaporación de agua.

4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Hipótesis estadísticas (nula y alterna)

- **Hipótesis nula:**

Las diferentes especies de semillas (cebada (*Hordeum vulgare L.*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa willd*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*), arveja (*Pisum sativum L.*) y haba (*Vicia faba L.*) y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) no influyen significativamente en las propiedades físicas y funcionales de las harinas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_{18}$$

- **Hipótesis alterna:**

Las diferentes especies de semillas (cebada (*Hordeum vulgare L.*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa willd*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*),



arveja (*Pisum sativum L.*) y haba (*Vicia faba L.*) y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en las propiedades físicas y funcionales de las harinas.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_k$$

- **Estadístico:**

Se utilizó el estadístico Fisher (F) para admitir o rechazar la Hipótesis Nula, asimismo, para la comparación de medias de las diferentes especies de semillas y categoría de tamaño de partículas donde el p-value sea <0.05 se empleó Tukey, se muestra la siguiente fórmula (Fisher (F)).

$$F_o = \frac{CM\ TRAT}{CM\ E}$$

Donde:

CM TRAT: Cuadrados medios del tratamiento

CM E: Cuadrados medios de error

- **Nivel de significancia:**

El nivel de significancia fue de $p=0.05$.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

Etapa I

a) Propiedad física de granulometría

Las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba fueron sometidos a molienda en un molino de martillo para la obtención de harina integral crudas. En la Tabla 9 y Figura 5, se presentan la distribución del tamaño de partículas y el porcentaje relativo del peso retenido de las harinas de las semillas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba, distribuidos en un juego de tamices en el rango de N°35.00 (500.00 μm) hasta N°400.00 (38.00 μm), conforme a metodología descrito por Loayza (2023).

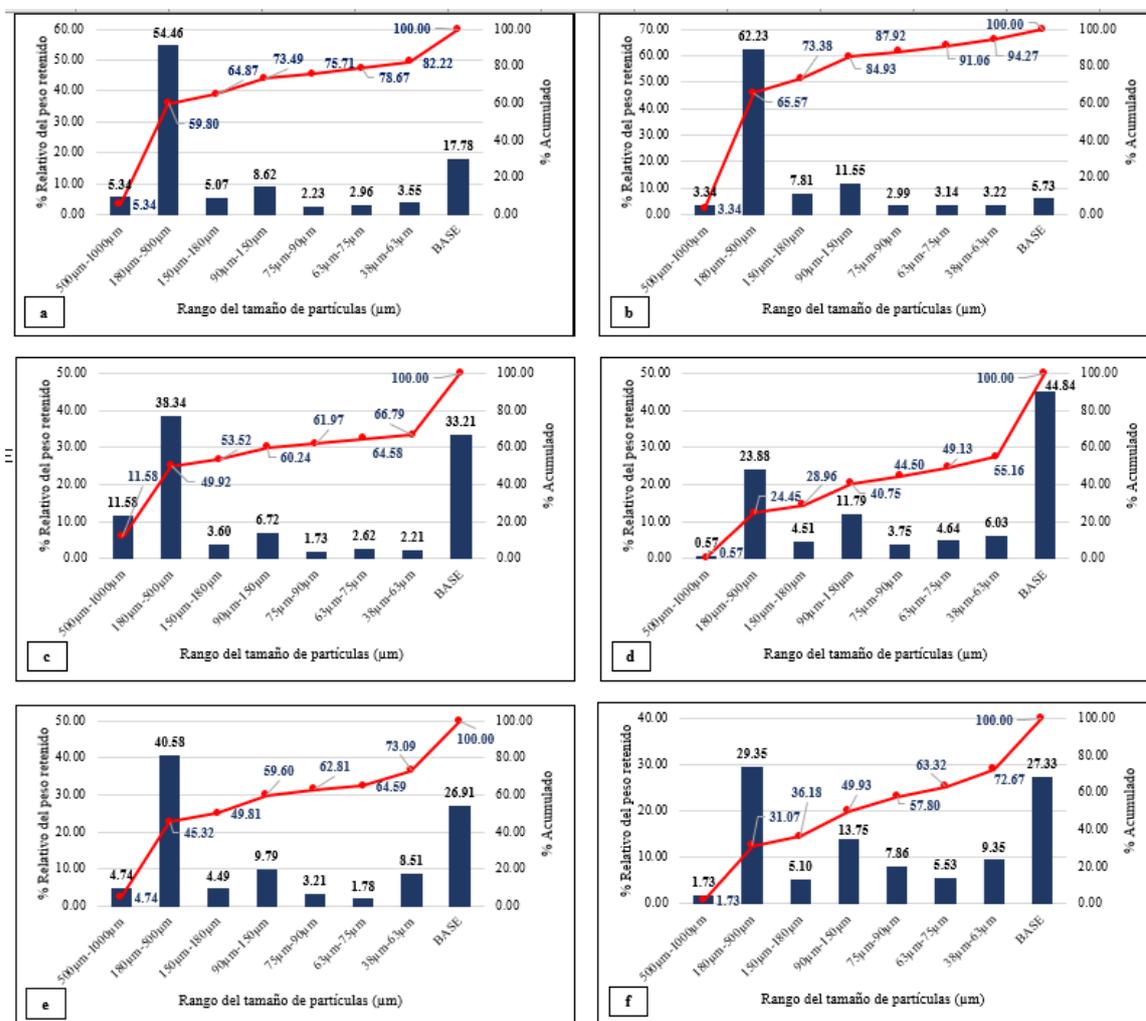
Tabla 9 — Porcentaje relativo del peso retenido de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

Abertura del tamiz N° de malla	Harina de diferentes especies de semillas					
	Quinua	Kiwicha	Cebada	Maíz	Arveja	Haba
35.00 (500.00 μm)	5.34	3.34	11.58	0.57	4.74	1.73
80.00 (180.00 μm)	54.46	62.23	38.34	23.88	40.58	29.35
100.00 (150.00 μm)	5.07	7.81	3.60	4.51	4.49	5.10
170.00 (90.00 μm)	8.62	11.55	6.72	11.79	9.79	13.75
200.00 (75.00 μm)	2.23	2.99	1.73	3.75	3.21	7.86
230.00 (63.00 μm)	2.96	3.14	2.62	4.64	1.78	5.53
400.00 (38.00 μm)	3.55	3.22	2.21	6.03	8.51	9.35
Base (<38.00 μm)	17.78	5.73	33.21	44.84	26.91	27.33
Total (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

NOTA
El % relativo del peso retenido por tamiz = [peso retenido (g) de la malla i / Σ peso retenidos (g)]* 100.00%.

En las Figuras 5a y 5b, se puede observar que las harinas de quinua y kiwicha muestran los mayores porcentajes de peso retenido en la malla N°80.00, alcanzando valores de 54.46 y 62.23% respectivamente, lo que indica un diámetro promedio de partículas entre 180.00-500.00 μm . Por otro lado, las harinas de arveja (Figura e) y cebada (Figura c) exhiben porcentajes de peso retenido cercanos en la malla N°80.00 (40.58% y 38.34%, respectivamente), así como en la base del juego de tamices, donde las partículas tienen diámetros menores a 38.00 μm . Por su parte, la harina de haba (Figura f) presenta un

29.35% de peso retenido en la malla N°80.00, seguido de un 27.33% en la base del juego de tamices. En contraste, la harina de maíz (Figura d) muestra un mayor peso de retención en la base de los tamices (44.84%), seguido de la malla N°80.00 con un valor de 23.88%. Es importante destacar que el maíz es la única semilla que presento una mayor retención en la base de los tamices.



Nota

a) Harina de quinua, b) Harina de kiwicha, c) Harina de cebada, d) Harina de maíz, e) Harina de arveja y f) Harina de haba

Figura 5 — Distribución de tamaño de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

El análisis de varianza aplicado a los datos de diámetro medio de partículas (Dmp) se observa en la Tabla 13, donde se muestra que existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las 6 especies de semillas en estudio. Por lo tanto, se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey del Dmp el mismo que detallo luego en la Figura 6.



El diámetro medio de partículas (Dmp) se muestra en la Figura 6, donde se destaca que la harina de kiwicha registró el mayor valor con $270.73 \mu\text{m}$, mientras que la harina de maíz presentó el menor valor con $124.91 \mu\text{m}$. En términos generales, se observa que los pseudocereales (quinua y kiwicha) exhibieron un Dmp mayor en comparación con los cereales (cebada y maíz) y las legumbres (arveja y haba).

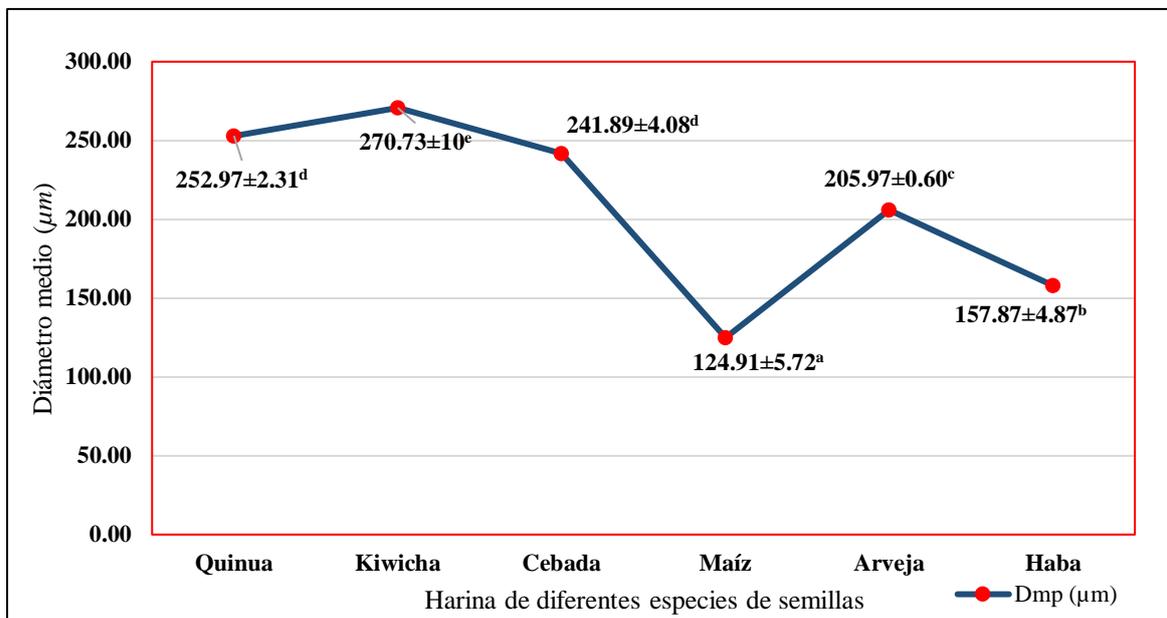


Figura 6 — Diámetro medio de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

Etapa II

b) Características físicas de rendimiento de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

En la Tabla 10, se detalla el rendimiento de la harina total y los resultados del tamizado diferencial, que divide la harina en gruesa (150.00 a $1000.00 \mu\text{m}$) y fina ($<150.00 \mu\text{m}$) tras el proceso de molienda con el molino de martillo. Respecto al rendimiento de la harina total (harina entera $<1000.00 \mu\text{m}$) se observa que hay diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las medias. En la Tabla 11, se muestra que la arveja alcanzó el valor más alto (97.00 ± 0.78), la cebada (94.34%), kiwicha (92.70%) y quinua (92.37%); mientras que las harinas de maíz y haba obtuvieron rendimientos significativamente menores (87.07% y 85.87% , respectivamente).

La clasificación de los gránulos gruesos y finos se realizó utilizando la malla N°100.00 ($150.00 \mu\text{m}$), donde la cantidad retenida corresponde a los gránulos gruesos (150.00 a

1000.00 μm) y la fracción tamizada a los gránulos finos (<150.00 μm). En cuanto al rendimiento de las harinas gruesas de las distintas semillas, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$). La harina de kiwicha registró el mayor rendimiento de gránulos gruesos (71.53 ± 1.01), seguida en orden descendente por las harinas de quinua, cebada, arveja, haba y maíz. Por otro lado, las harinas de gránulos finos también mostraron rendimientos significativamente diferentes ($P < 0.05$), siendo la harina de maíz (73.09 ± 2.80) la que presentó el mayor contenido de gránulos finos, seguida en orden descendente por las harinas de haba, arveja, cebada, quinua y kiwicha. En resumen, los pseudocereales exhibieron un mayor porcentaje de gránulos gruesos y un menor porcentaje de harina fina en comparación con los cereales.

Tabla 10 — Características físicas (tamaño de partículas) y de rendimiento

Harina	Harina entera rendimiento (%)	Tamizado diferencial	
		Harina Gruesa (%)	Harina Fina (%)
Quinua	92.37 ± 1.88^b	63.62 ± 0.67^e	35.46 ± 0.74^b
Kiwicha	92.70 ± 2.23^b	71.53 ± 1.01^f	26.75 ± 0.66^a
Cebada	94.34 ± 1.26^{bc}	53.21 ± 1.36^d	46.07 ± 1.05^c
Maíz	87.07 ± 0.88^a	22.92 ± 0.43^a	73.09 ± 2.80^f
Arveja	97.00 ± 0.78^c	48.91 ± 0.73^c	50.70 ± 0.39^d
Haba	85.87 ± 0.60^a	33.12 ± 0.97^b	66.04 ± 1.35^c

NOTA
 Promedio \pm desviación estándar (n=3). Superíndice con diferentes letras dentro de una columna indica diferencias significativas ($P < 0.05$).
 % Rendimiento de harina entera de molienda = [(peso de harina entera recolectada de molienda) / (peso inicial de las semillas utilizadas para la molienda)] * 100%
 % Rendimiento de harina grueso/fino del tamizador = [(peso de harina grueso/fino recolectado harina de tamizador) / (peso inicial de harina entera utilizada para tamizar)] * 100%

c) Color instrumental de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

En la Tabla 11, se destacan diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , c^* y h°) de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino. El parámetro de luminosidad (L^*) muestra un aumento correlacionado con la reducción del tamaño de partículas, donde las harinas finas exhiben valores superiores a las enteras y gruesas. Por ejemplo, la harina fina de maíz registra un valor de 97.58, mientras que la harina fina de kiwicha presentó el menor valor alcanzando a obtener 89.33.

En cuanto al parámetro a^* (variación de color de -verde a +rojo), se observa que generalmente es mayor en la categoría gruesa, seguida por la entera y la fina, con la excepción de la harina de maíz, donde se invierte el orden debido a las características naturales del color de las semillas. Similarmente, el parámetro b^* sigue la misma tendencia, con mayor valor en la categoría gruesa, salvo para la harina de arveja.

El croma (c^*) difiere significativamente ($p < 0.05$) entre las categorías, siendo mayor en las harinas clasificadas como gruesas debido a una mayor saturación de color. Por otro lado, los valores de tono (h°) difiere significativamente ($p < 0.05$) entre las categorías y las diferentes especies de semillas ya que presenta variación de los resultados, las harinas de quinua, haba y arveja muestran tonos más elevados, mientras que las harinas de cebada, kiwicha y maíz presentan tonos más bajos.



Tabla 11 — Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

Harinas	L*	a*	b*	c*	h°
Quinua					
Entero	90.69±0.15 ^h	2.93±0.15 ^{cd}	10.12±0.25 ^f	10.53±0.28 ^e	73.84±0.53 ^{fg}
Grueso	87.54±0.20 ^d	4.26±0.27 ^e	13.35±0.46 ^{hi}	14.02±0.51 ^{hi}	72.29±0.68 ^{efg}
Fino	92.51±0.36 ^{ij}	2.29±0.11 ^{ab}	7.48±0.16 ^d	7.83±0.12 ^d	72.95±1.12 ^{fg}
kiwicha					
Entero	88.24±0.14 ^{de}	5.23±0.17 ^f	12.60±0.07 ^{gh}	13.65±0.12 ^{gh}	67.45±0.58 ^c
Grueso	86.59±0.14 ^c	5.57±0.08 ⁱ	13.82±0.09 ⁱ	14.90±0.12 ⁱ	68.04±0.17 ^{cd}
Fino	89.33±0.45 ^{fg}	4.46±0.31 ^e	11.68±0.24 ^g	12.51±0.29 ^f	69.10±1.25 ^{cd}
Cebada					
Entero	93.29±0.18 ^l	2.48±0.24 ^{abc}	6.34±0.11 ^{bc}	6.81±0.19 ^{bc}	68.61±1.60 ^{cd}
Grueso	89.13±0.40 ^{efg}	4.41±0.31 ^e	8.60±0.44 ^e	9.67±0.48 ^e	62.86±1.42 ^b
Fino	93.49±0.45 ^{kl}	2.38±0.15 ^{abc}	5.87±0.09 ^b	6.34±0.14 ^b	67.90±0.93 ^{cd}
Maíz					
Entero	94.29±0.30 ^l	2.13±0.11 ^a	7.27±0.45 ^c	7.58±0.45 ^{cd}	73.64±0.46 ^{fg}
Grueso	88.64±0.15 ^{ef}	4.27±0.07 ^e	11.97±0.66 ^g	12.71±0.64 ^{fg}	70.34±0.79 ^{de}
Fino	97.58±0.15 ^{m*}	2.76±0.10 ^{bcd}	3.93±0.06 ^a	4.80±0.11 ^a	54.86±0.54 ^a
Arveja					
Entero	89.61±0.26 ^g	6.16±0.29 ^g	18.56±0.35 ^{gh}	19.56±0.41 ^j	71.63±0.60 ^{ef}
Grueso	79.10±0.56 ^a	11.66±0.22 ^j	27.03±0.56 ^l	29.44±0.42 ^l	66.65±0.83 ^c
Fino	92.34±0.11 ⁱ	5.72±0.07 ^{fg}	18.61±0.72 ^j	19.47±0.04 ^j	72.90±0.27 ^{fg}
Haba					
Entero	91.85±0.01 ⁱ	3.34±0.01 ^d	13.97±0.01 ⁱ	14.37±0.01 ^{hi}	76.53±0.04 ^{hi}
Grueso	84.30±0.18 ^b	6.13±0.28 ^g	22.19±0.40 ^k	23.02±0.45 ^k	74.55±0.48 ^{gh}
Fino	92.54±0.40 ^{ij}	2.58±0.01 ^{abc}	12.66±0.03 ^{gh}	12.92±0.03 ^{fg}	78.47±0.05 ⁱ
NOTA					
Parámetros colorimétricos: L*= luminosidad, a*= variación de color de - verde a + rojo, b* = variación de color de - azul a + amarillo c*= croma y h°=tono.					
Promedio±desviación estándar (n=3). Superíndice con diferentes letras dentro de una columna indica diferencias significativas (p < 0,05).					

d) Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

En la Tabla 12, se detallan los resultados del índice de solubilidad (IS) de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino. Se observan diferencias altamente significativas (p<0.05) entre estas, destacando los valores más altos de IS en las harinas finas, enteras y gruesas de haba, con porcentajes

de 39.22%, 37.91% y 36.47%, respectivamente, superando significativamente a las demás harinas seguidas por la harina de arveja.

En cuanto a la capacidad de absorción de agua (CAA) se evidencian diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre las medias. Se observa que las harinas de categoría gruesa presentan mayor CAA seguida de las harinas entera y fina, lo que indica una influencia significativa ($p < 0.05$) de las categorías de tamaño de partícula (entero, grueso y fino).

La capacidad de retención de agua (CRA), presenta diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre las medias como se puede observar en la Tabla 12. Las harinas de legumbres (haba y arveja) muestran una mayor CRA y también se puede observar que entre las categorías resalta el grueso ya que presenta mayor valor seguida la categoría entera y fina en las harinas de quinua, cebada, maíz, arveja y haba a excepción de la harina de kiwicha el cual muestra una mayor CRA en la categoría fina. En la Tabla 15, se puede observar la influencia significativa ($p < 0.05$) de las categorías y las diferentes especies de semillas.

En relación con la capacidad de hinchamiento (CH) mostrada en la Tabla 12, se observa que existen diferencias altamente significativas entre las medias ($p < 0.05$). La Tabla 15 revela que tanto el factor especies de semillas como la categoría de tamaño de partículas influyen significativamente ($p < 0.05$) en los tratamientos. Además, se puede notar que las harinas de categoría gruesa presentan una mayor CH en general, especialmente en las harinas de kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba. Sin embargo, la quinua destaca por tener la mayor CH en la categoría entero, seguida de las categorías grueso y fino.

Los valores de la capacidad de adsorción de aceite (CAAc) no muestran un patrón claro en relación con las diferentes especies de semillas y la categoría tamaño de partículas (entero grueso y fino) de las harinas. En los resultados estadísticos la comparación entre las medias de los tratamientos (Tabla 13) muestra, que si existe diferencia significativa ($p < 0.05$). Sin embargo, el factor diferentes especies de semillas no es significativo ni las categorías de tamaño de partícula resultando así el p-valor mayor a 0.05 (Tabla 16). No obstante, se destaca que las harinas de kiwicha y cebada son las que presentan los valores más altos de CAAc, con 4.56 y 4.14 g/ g M.S., respectivamente.



Tabla 12 — Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

Harinas	Propiedades funcionales				
	IS (%)	CAA (g H ₂ O/g)	CRA (g H ₂ O/g)	CH (ml/g)	CAAc (g/g)
Quinua					
Entero	8.92±2.20 ^{ab}	2.83±0.13 ^{abc}	2.88±0.26 ^{abc}	1.33±0.05 ^{fg}	3.70±0.32 ^{ab}
Grueso	12.93±2.91 ^{bc}	3.43±0.29 ^{abcde}	3.70±0.45 ^{cde}	1.02±0.02 ^{cdef}	3.94±0.38 ^{ab}
Fino	7.55±1.79 ^a	2.72±0.37 ^{abc}	2.40±0.31 ^a	0.42±0.05 ^a	3.66±0.33 ^{ab}
Kiwicha					
Entero	20.19±1.07 ^{de}	2.98±0.13 ^{abcd}	3.19±0.47 ^{abcde}	0.92±0.05 ^{cd}	3.31±0.27 ^{ab}
Grueso	16.99±2.06 ^{cd}	3.15±0.17 ^{abcde}	3.21±0.17 ^{abcd}	1.05±0.10 ^{cdef}	2.83±0.25 ^a
Fino	24.40±0.43 ^{ef}	2.85±0.01 ^{abcd}	3.64±0.19 ^{bcde}	0.92±0.05 ^{cd}	4.56±0.91 ^b
Cebada					
Entero	8.15±0.60 ^a	3.29±0.28 ^{abcde}	2.94±0.42 ^{abc}	0.99±0.09 ^{cde}	3.11±0.26 ^a
Grueso	7.86±0.43 ^a	4.07±0.28 ^{de}	3.28±0.30 ^{abcd}	1.42±0.25 ^g	4.14±0.50 ^{ab}
Fino	8.75±0.55 ^{ab}	2.71±1.05 ^{abc}	2.37±0.17 ^a	0.85±0.06 ^{cd}	3.23±0.32 ^{ab}
Maíz					
Entero	8.42±1.29 ^{ab}	3.27±0.59 ^{abcde}	2.55±0.14 ^{ab}	0.37±0.24 ^a	3.37±0.44 ^{ab}
Grueso	13.66±3.46 ^c	3.73±0.09 ^{bcde}	3.24±0.25 ^{abcd}	1.17±0.10 ^{defg}	3.74±0.50 ^{ab}
Fino	6.68±0.21 ^a	2.94±0.20 ^{abcd}	2.34±0.34 ^a	0.14±0.08 ^a	3.33±0.04 ^{ab}
Arveja					
Entero	24.50±0.80 ^{ef}	2.66±0.12 ^{abc}	3.86±0.28 ^{cde}	1.42±0.05 ^g	2.86±0.32 ^a
Grueso	20.63±0.32 ^{de}	3.77±0.34 ^{cde}	4.59±0.34 ^e	1.99±0.00 ^h	3.74±0.37 ^{ab}
Fino	28.67±1.06 ^f	2.49±0.16 ^{ab}	3.61±0.43 ^{bcde}	0.73±0.02 ^{bc}	3.54±0.80 ^{ab}
Haba					
Entero	37.91±1.76 ^g	3.02±0.32 ^{abcd}	4.13±0.28 ^{de}	1.29±0.13 ^{efg}	3.46±0.73 ^{ab}
Grueso	36.47±0.08 ^g	4.34±0.82 ^e	5.70±0.70 ^f	2.35±0.14 ⁱ	3.21±0.13 ^{ab}
Fino	39.22±0.60 ^g	2.43±0.18 ^a	3.83±0.43 ^{cde}	0.31±0.05 ^a	3.44±0.40 ^{ab}
<p>NOTA</p> <p>Promedio±desviación estándar (n=3). Superíndice con diferentes letras dentro de una columna indica diferencias significativas (P <0,05).</p> <p>(*): índice de solubilidad (IS); capacidad de absorción de agua (CAA); capacidad de retención de agua CRA; es la capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de absorción de aceite (CAAc).</p>					

5.2 Contrastación de hipótesis

5.2.1 Hipótesis estadísticas

Hipótesis general

Las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en las propiedades físicas y funcionales de las harinas.

Etapa I

a) Propiedades físicas de granulometría

Existe diferencia significativa en la propiedad física de granulometría (diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*).

Contrastación de hipótesis uno

Hipótesis nula (H_0)

H_0 : La propiedad física de granulometría (diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), son similares.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_6$$

Hipótesis alterna (H_a)

H_a : La propiedad física de granulometría (diámetro medio de partículas) de las harinas de cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum*



L. var. INIA-Usui) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), al menos uno es diferente.

$$\mu_1 \neq \mu_k$$

En la Tabla 13, que presenta el análisis de varianza para el diámetro medio de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba, se obtuvo el valor $F=332.04$ y el p -valor <0.05 , demostrándose que existen diferencias altamente significativo y por ende se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a).

Por lo tanto, la propiedad física de granulometría (diámetro medio de partículas) no resultan ser similares para las seis (6) diferentes especies de semillas.

Tabla 13 — Análisis de varianza - Diámetro medio de partículas de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

Granulometría	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significancia
Dmp	Semilla	49559.67	5.00	9911.93	332.04	<0.0001
	Error	358.22	12.00	29.85		
	Total	49917.89	17.00			
NOTA Dmp= Diámetro medio de partículas						

Etapa II

a) Propiedad física de color

Las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en la propiedad física de color de las harinas.

Contrastación de hipótesis dos

Hipótesis nula (H_0)

- **Efecto de la especie de semilla:**

H_{0a} : La especie de semilla no tiene un efecto significativo sobre la propiedad física del color de las harinas.



- **Efecto del tamaño de partícula:**
H_{0b}: La categoría de tamaño de partículas no tiene un efecto significativo sobre la propiedad física del color de las harinas
- **Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula:**
H_{0ab}: No hay interacción significativa entre la especie de semilla y el tamaño de partícula en cuanto a la propiedad física del color.
Hipótesis alterna (H₁)
- **Efecto de la especie de semilla:**
H_{1a}: La especie de semilla tiene un efecto significativo sobre la propiedad física del color de las harinas
- **Efecto del tamaño de partícula:**
H_{1b}: La categoría de tamaño de partículas tiene un efecto significativo sobre la propiedad física del color de las harinas.
- **Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula:**
H_{1ab}: Hay una interacción significativa entre la especie de semilla y el tamaño de partícula en cuanto a la propiedad física del color de las harinas.

La Tabla 14, refleja el análisis de varianza para la propiedad física de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino, obteniéndose el valor F y el p-valor <0.05, demostrándose que, existen diferencias altamente significativas en las propiedades físicas de color de las harinas. Se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.

- **Luminosidad (L*):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.
- **Coordena (a*):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.
- **Coordena (b*):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.
- **Croma (c*):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.
- **Ángulo tono (h°):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a}, H_{0b} y H_{0ab}, y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a}, H_{1b} y H_{1ab}.



Tabla 14 — Análisis de varianza - Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

Propiedad	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significancia
L*	Modelo	888.79	17.00	52.28	593.70	<0.0001
	semilla	261.97	5.00	52.39	594.97	<0.0001
	categoría	494.73	2.00	247.36	2808.99	<0.0001
	semilla *categoría	132.10	10.00	13.21	150.01	<0.0001
	Error	3.17	36.00	0.09		
	Total	891.96	53.00			
a*	Modelo	267.72	17.00	15.75	413.31	<0.0001
	semilla	157.97	5.00	31.59	829.16	<0.0001
	categoría	76.72	2.00	38.36	1006.68	<0.0001
	semilla *categoría	33.04	10.00	3.30	86.70	<0.0001
	Error	1.37	36.00	0.04		
	Total	269.10	53.00			
b*	Modelo	1840.29	17.00	108.25	1041.52	<0.0001
	semilla	1368.09	5.00	273.62	2632.54	<0.0001
	categoría	368.98	2.00	184.49	1775.01	<0.0001
	semilla *categoría	103.22	10.00	10.32	99.31	<0.0001
	Error	3.74	36.00	0.10		
	Total	1844.03	53.00			
c*	Modelo	2052.48	17.00	120.73	1101.29	<0.0001
	semilla	1493.89	5.00	298.78	2725.35	<0.0001
	categoría	440.63	2.00	220.32	2009.65	<0.0001
	semilla *categoría	117.95	10.00	11.80	107.59	<0.0001
	Error	3.95	36.00	0.11		
	Total	2056.43	53.00			
h°	Modelo	1489.84	17.00	87.64	132.03	<0.0001
	semilla	731.46	5.00	146.29	220.40	<0.0001
	categoría	88.54	2.00	44.27	66.70	<0.0001
	semilla *categoría	669.84	10.00	66.98	100.92	<0.0001
	Error	23.90	36.00	0.66		
	Total	1513.73	53.00			

NOTA

Parámetros colorimétricos: L*= luminosidad, a*= variación de color de - verde a + rojo, b* = variación de color de - azul a + amarillo c*= croma y h°=tono.

a: especie de semilla (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba)/b: categoría de tamaño de partícula (entero, grueso y fino)

b) Propiedades funcionales

Las diferentes especies de semillas: cebada (*Hordeum vulgare* L. var. INIA 411 San Cristóbal), maíz (*Zea mays* var. INIA 620- Wari), quinua (*Chenopodium quinoa willd* var. Blanca de Junín), kiwicha (*Amaranthus caudatus* var. Oscar Blanco), arveja (*Pisum sativum* L. var. INIA-USUI) y haba (*Vicia faba* L. var. Verde Pacae), y las diferentes categorías de tamaño de partículas (entero, grueso y fino) influyen significativamente en las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de adsorción de aceite (CAAc), capacidad de hinchamiento (CH) y el índice de solubilidad en agua (IS)) de las harinas.

Contrastación de hipótesis tres

Hipótesis nula (H_0):

- **Efecto de la especie de semilla:**

H_{0a} : La especie de semilla no tiene un efecto significativo sobre ninguna de las propiedades funcionales de las harinas.

- **Efecto del tamaño de partícula:**

H_{0b} : La categoría de tamaño de partículas no tiene un efecto significativo sobre ninguna de las propiedades funcionales de las harinas

- **Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula:**

H_{0ab} : No hay interacción significativa entre la especie de semilla y el tamaño de partícula en cuanto a las propiedades funcionales de las harinas.

Hipótesis alterna (H_1):

- **Efecto de la especie de semilla:**

H_{1a} : La especie de semilla tiene un efecto significativo sobre al menos una de las propiedades funcionales de las harinas.

- **Efecto del tamaño de partícula:**

H_{1b} : La categoría de tamaño de partículas tiene un efecto significativo sobre al menos una de las propiedades funcionales de las harinas.

- **Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula:**

H_{1ab} : Hay una interacción significativa entre la especie de semilla y el tamaño de partícula en cuanto a al menos una de las propiedades funcionales de las harinas.

La Tabla 15, muestra el análisis de varianza para las propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba, categorizadas en tamaños



de partícula entero, grueso y fino. Se analizó los valores obtenidos F significativos y el p-valor <0.05 , lo que indica diferencias estadísticamente significativas para el rechazo de la hipótesis nula.

- **Índice de solubilidad (IS):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a} , H_{0b} y H_{0ab} , y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a} , H_{1b} y H_{1ab} .
- **Capacidad de absorción de agua (CAA):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0b} , H_{0ab} e hipótesis alterna H_{1a} , y se aceptan la hipótesis nula H_{0a} e hipótesis alternas H_{1b} y H_{1ab} .
- **Capacidad de retención de agua (CRA):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a} , H_{0b} y H_{0ab} , y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a} , H_{1b} y H_{1ab} .
- **Capacidad de hinchamiento (CH):** se rechazan las hipótesis nulas H_{0a} , H_{0b} , H_{0ab} , y se aceptan las hipótesis alternas H_{1a} , H_{1b} y H_{1ab} .
- **Capacidad de adsorción de aceite (CAAc):** se rechazan la hipótesis nula H_{0ab} e hipótesis alternas H_{1a} , H_{1b} , y se aceptan las hipótesis nulas H_{0a} , H_{0b} e hipótesis alterna H_{1ab} .



Tabla 15 — Análisis de varianza - Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

Propiedad	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significancia
IS	Modelo	6407.77	17.00	376.93	161.63	<0.0001
	semilla	6089.30	5.00	1217.86	522.22	<0.0001
	categoría	16.17	2.00	8.08	3.47	0.0420
	semilla *categoría	302.31	10.00	30.23	12.96	<0.0001
	Error	83.96	36.00	2.33		
	Total	6491.73	53.00			
CAA	Modelo	14.86	17.00	0.87	5.34	<0.0001
	semilla	1.46	5.00	0.29	1.78	0.1417
	categoría	10.11	2.00	5.05	30.85	<0.0001
	semilla *categoría	3.30	10.00	0.33	2.01	0.0612
	Error	5.90	36.00	0.16		
	Total	20.76	53.00			
CRA	Modelo	36.96	17.00	2.17	16.88	<0.0001
	semilla	23.80	5.00	4.76	36.96	<0.0001
	categoría	8.32	2.00	4.16	32.30	<0.0001
	semilla *categoría	4.84	10.00	0.48	3.76	0.0016
	Error	4.64	36.00	0.13		
	Total	41.60	53.00			
CH	Modelo	16.25	17.00	0.96	77.70	<0.0001
	semilla	4.00	5.00	0.80	65.10	<0.0001
	categoría	7.90	2.00	3.95	320.94	<0.0001
	semilla *categoría	4.35	10.00	0.44	35.36	<0.0001
	Error	0.44	36.00	0.01		
	Total	16.70	53.00			
CAAc	Modelo	9.56	17.00	0.56	2.63	0.0072
	semilla	0.97	5.00	0.19	0.91	0.4882
	categoría	1.17	2.00	0.59	2.77	0.0775
	semilla *categoría	7.42	10.00	0.74	3.48	0.0028
	Error	7.68	36.00	0.21		
	Total	17.24	53.00			

NOTA
Índice de solubilidad (IS); capacidad de absorción de agua (CAA); capacidad de retención de agua CRA; es la capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de absorción de aceite (CAAc).
a: especie de semilla (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) /b: categoría de tamaño de partícula (entero, grueso y fino)

5.3 Discusión

a) Granulometría (distribución de tamaño y diámetro medio de partículas) de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba

Los resultados revelaron que la harina de quinua y la kiwicha, presentaron 54.46% y 62.23% retenido en el tamiz N°80.00 (180.00 μm), además el diámetro medio partículas (Dmp) de cada harina fueron de 252.97 μm y 270.73 μm , respectivamente. De la misma forma, las harinas de cebada y maíz presentaron un mayor porcentaje retenido en las mallas N°80.00 y base (<38.00 μm), con valores de 23.88% y 44.84%; 38.34% y 33.21%, respectivamente; siendo los Dmp de 241.89 μm para la harina de cebada y 124.91 μm para la harina de maíz. Conforme a la clasificación de las harinas por categorías, según Kim *et al.* (2019), considera partículas gruesas: >150.00 μm , partículas finas: de 63.00 a 150.00 μm y partículas superfinas: < 63.00 μm ; por consiguiente, las harinas provenientes de quinua, kiwicha y cebada se encuentra en la categoría de “gruesa” y la harina de maíz en la categoría de “fina”. Respecto a la harina de quinua, Dussan *et al.* (2019) reportaron 53.00% de peso retenido en la malla N° 80.00 para la harina de quinua y con diámetros de partícula entre 180.00 y 500.00 μm , cuyos resultados son cercanos al presente trabajo de investigación. Por otro lado, Belorio *et al.* (2019) reportaron 61.60 μm de Dmp para la harina de maíz blanco. Las diferencias entre los resultados del presente trabajo de investigación y los reportados por otros autores podrían ser atribuidos a factores como el tipo de molienda y la fracturabilidad de las semillas y en la estructura de las paredes celulares tal como señala Boukid *et al.* (2019). Indira y Bhattacharya, (2006), señalan que la distribución y el tamaño de partículas de muestras molidas dependen en gran medida de sus propiedades inherentes del grano. En ese sentido, al efectuar revisión sobre composición proximal de legumbres y cereales, se puede afirmar que existe una diferencia marcada en el contenido de proteínas y carbohidratos.

Por otro lado, las harinas de haba y arveja fueron retenidos en su mayor porcentaje en la malla N°80.00 (180.00 μm) (29.35% y 40.58%) y seguido en la base (27.33% y 26.91%, respectivamente). Respecto al diámetro medio de partículas, la harina de haba tiene un valor de 157.87 μm y la harina de arveja de 205.97 μm , valores que pertenecen a la categoría de “gruesa”. En otros estudios Boukid *et al.* (2019), respecto a la distribución de tamaño de partículas en leguminosas, observaron que las harinas de arveja amarilla (45.00 %) y verde (35.00%) tenían un mayor porcentaje en peso de partículas gruesas (>200.00 μm) que las demás legumbres en estudio. Desde el punto de



vista del origen de las semillas, Bourré *et al.* (2019) reportaron diferentes Dmp para harinas de guisante amarillo, fríjol blanco, lenteja roja y trigo; al respecto, señalan que las harinas de las leguminosas tienden a tener un mayor Dmp que los cereales.

Finalmente, de acuerdo a la categoría de la harina, las especies de semillas de quinua, kiwicha, cebada, arveja y haba se puede recomendar para el procesamiento de panes y galletas integrales.

b) Características físicas (tamaño de partículas) y rendimiento de la harina

En este estudio, se observó rendimientos notablemente altos en las harinas de quinua, kiwicha y cebada para la categoría grueso de 63.62%, 71.53% y 53.21% respectivamente, mientras que la harina de maíz y haba exhibieron un rendimiento más bajo de 22.9% y 33.12%. En un estudio previo realizado por Cheng *et al.* (2023), se encontró que la harina de cebada tenía un rendimiento superior en cuanto a partículas gruesas, alcanzando el 63.10% y arveja con 39.30%, se muestra que los resultados se asemejan a este estudio en cuanto al porcentaje de rendimiento de las harinas de categoría grueso. Esto sugiere que los rendimientos de las fracciones gruesas y finas de la harina pueden depender de la estructura del grano entero, así como del tipo de molino utilizado en el proceso de molienda.

Es importante destacar que el aumento en el tamaño de las partículas está directamente relacionado con el incremento en el tamaño de los agregados, lo que implica una mayor presencia de células intactas en la harina resultante. Este fenómeno puede tener implicaciones significativas en las propiedades funcionales y nutricionales de las harinas, y subraya la importancia de comprender cómo diversos factores pueden influir en el rendimiento y la calidad de las harinas obtenidas a partir de diferentes especies de semillas.

c) Colorimetría de harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

En la Tabla 11, se muestra los resultados de luminosidad L^* , a^* , b^* , c^* y h° de las harinas de diferentes especies de semillas (quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba) categorizadas en entero, grueso y fino. Los resultados revelaron una tendencia consistente en los parámetros de color L^* fino>entero>grueso así en todos los resultados. La harina de cebada de categoría fina ($L^* = 93.49$) muestra un valor superior al de la harina entera ($L^* = 93.29$) y a la harina gruesa ($L^* = 89.13$). De manera similar, la harina de arveja fina ($L^* = 92.34$) presenta un valor mayor en comparación con la



harina entera ($L^* = 89.61$) y la harina gruesa ($L^* = 79.10$). Observamos que, a medida que se reducía el tamaño de las partículas, el valor de L^* aumentaba, lo cual concuerda con los hallazgos de Cheng *et al.* (2023) y Bala *et al.* (2020). Cheng *et al.* (2023) según estos autores, la cebada de categoría fina ($L^* = 87.9$) tiene un valor mayor que la harina entera ($L^* = 84.9$) y la harina gruesa ($L^* = 79.10$). Del mismo modo, para el guisante (arveja), los valores de L^* siguen el mismo patrón: fino ($L^* = 88.5$), entero ($L^* = 86.4$) y grueso ($L^* = 79.5$). Es relevante destacar que los valores de L^* para la harina de cebada en nuestro estudio son superiores a los reportados por Cheng *et al.* (2023), lo cual podría estar relacionado con diferencias en la variedad de las semillas. En cuanto a los valores de la harina de arveja, estos son similares a los reportados por Cheng *et al.* (2023). Bolade *et al.* (2009), reporta que el maíz blanco presentó un valor L^* de 90.90 para partículas finas (75.00 a 150.00 μm), mientras que para partículas gruesas (<425.00 μm) se observó un valor L^* de 90.00. La tendencia lineal de estos resultados concuerda con los hallazgos del presente estudio. Sin embargo, se observa un valor L^* significativamente mayor de 97.58 para partículas menores de 150.00 μm , lo que puede atribuirse a la diferencia en la variedad de las semillas. Este aumento en L^* se atribuye al hecho de que las partículas más pequeñas (fino) tienen una mayor superficie total, lo que permite una mayor reflexión de la luz (Ahmed *et al.*, 2016).

En cuanto a los parámetros a^* y b^* , que indican el cambio de color hacia tonos rojos y amarillos, respectivamente, observamos que las harinas de legumbres (arveja y haba) y pseudocereales (quinua y kiwicha) presentaron valores más altos que los cereales (cebada y maíz), esta diferencia se relaciona con la naturaleza de las semillas. El tamaño de partícula tuvo influencia destacando la categoría gruesa con mayor valor de a^* y b^* , los resultados encontrados están en línea con los resultados esperados según Cheng *et al.* (2023). Sin embargo, respecto al efecto del tamaño de partícula, nuestros resultados discrepan de los informados por Bala *et al.* (2020), quienes encontraron una relación inversa entre el tamaño de partícula y los valores de a^* y b^* en la harina de maíz blanco. Por otro lado, Bolade *et al.* (2009) informaron resultados similares a los nuestros, destacando que el tamaño de partícula influye en estos parámetros debido a la operación de molienda. Esto contrasta con lo informado por Bourré *et al.* (2019), quienes encontraron que las harinas de leguminosas (guisante amarillo, frijol blanco entero y lenteja) con partículas finas (>131.00 μm) tenían valores de b^* más altos (34.20, 18.70 y 30.50) que la harina regular (<248.00 μm) (33.70, 15.50 y 30.02), atribuyéndolo a un molido más fino y uniforme. Además, se observa para la coordenada a^* variación en los



resultados, harina fina ($>131.00 \mu m$) (3.11, 2.31 y 16.43) y harina regular ($<248.00 \mu m$) (3.45, 2.47 y 16.31) indicando que también influye la naturaleza de las semillas.

En este estudio, el parámetro croma (c^*) mostró un aumento en la categoría grueso del tamaño de partícula en las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba. Además, es importante señalar que el parámetro croma (c^*) es la medida de la pureza del color y esto depende de las coordenadas a^* y b^* por lo cual tiene que ver mucho las especies de semillas y variedades. Mientras que el ángulo tono (h°) presenta variación en los resultados obteniendo el mayor valor del h° la harina de haba categoría fino $h^\circ=78.55$ y el menor el maíz (blanco) categoría fino $h^\circ=54.86$ (Tabla 11). En los resultados obtenidos muestran que el ángulo tono h° se encuentra dentro del primer cuadrante (0° a 90°) lo cual connota un cambio de color de rojo a amarillo. BOURRÉ *et al.* (2019), quienes informan que la harina de maíz blanco de menor tamaño de partícula $<75.00 \mu m$ presento valores superiores de croma (c^*) ($c^*=15.60$) mientras que la harina de mayor tamaño de partículas 300.00 a $425.00 \mu m$ presento menor ($c^*=14.60$), los resultados son contrario al presente estudio. Sin embargo, los resultados fueron similares en cuanto a la harina de maíz (blanco) estudiado en el presente trabajo de investigación para el ángulo tono (h°) ya que presento la misma relación, a menor tamaño de partículas menor ángulo tono ($h^\circ =89.90$ ($<75.00 \mu m$) y $h^\circ =90.20$ (300.00 a $425.00 \mu m$)).

El color de la harina puede estar influenciado por diversos factores, como la especie o variedad de la semilla, la presencia de contaminación fúngica, las condiciones de molienda y tamizado, entre otros (Dendy *et al.*, 2004). Estos hallazgos destacan la complejidad de los determinantes del color de la harina y la importancia de tener en cuenta múltiples factores en su análisis y producción.

d) Propiedades funcionales de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino

Los hallazgos revelan patrones consistentes con investigaciones previas.

En los resultados obtenidos, la harina de quinua (entero) mostró un índice de solubilidad (IS) del 8.92%. Dussán *et al.* (2019) reporta que el valor de (IS) es de 11,18% en harina de quinua integral este valor es distinto a lo reportado, con quien si coincidimos los resultados es con Espinosa *et al.* (2020), según estos autores las harinas de quinua y kiwicha (entero) presentaron un IS mayor (7.01% y 8.34%, respectivamente) en comparación con los cereales, pero menor que las harinas de legumbres. Este hallazgo



destaca que los pseudocereales tienden a tener un alto IS debido a su contenido de fibra soluble. Además, en el presente estudio, las harinas de legumbres (arveja y haba) exhibieron un IS aún mayor que las demás harinas, lo cual se atribuye a su contenido de azúcares solubles, según lo explica Ai, Yongfeng, *et al.* (2016), Dussan *et al.* (2019), indican que un mayor IS en las harinas indica una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua. Di Cairano *et al.* (2020) reportaron que los resultados del IS fueron poco variables; sin embargo, destacaron una tendencia en la que las harinas de leguminosas y pseudocereales mostraron un IS más alto que las harinas de cereales, lo cual concuerda con los resultados del presente estudio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que las harinas de quinua kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba presentan mayor capacidad de absorción de agua (CAA) en la categoría gruesa seguida del entero y fino, los resultados se asemejan a los de Bala *et al.* (2020), quienes encontraron que la CAA del guisante varió con el tamaño de partícula, siendo más alta en partículas gruesa (2.12 g/g 211.00 μm) y menor en partículas finas (1.75 g/g 74.00 μm). El estudio realizado por Wang *et al.* (2002), estudiaron el efecto de las fibras (inulina, algarrobo y guisante) en la masa de trigo, de los cuales observaron que la CAA aumentaba a medida que la fibra contenía mayor contenido de fibra insoluble como el caso de la fibra de guisante, caso contrario a la inulina el cual era rica en fibra soluble por efecto presentó baja CAA. Joshi *et al.* (2015), reportó que la CAA de la harina (integral) soya fue 2.97 g H₂O/g siendo este más alto que las demás harinas (garbanzo, maní, mijo, sésamo y trigo), el trigo obtuvo menor CAA 1.85 g H₂O/g relacionando la diferencias entre legumbre y cereales. Además, KAUR *et al.* (2015), indican que la CAA esta principalmente relacionadas con la fuente de origen como también dependerá de acuerdo la estructura de las proteínas y de la presencia de carbohidratos hidrofílicos. Inyang y Nwadinmpa (1992), señalan que el aumento de la CAA está relacionado con la presencia de carbohidratos en la harina.

Bourré *et al.* (2019), reportaron en las harinas de leguminosas: arveja amarilla, frijol blanco y lenteja rojas las cuales fueron categorizadas por fina (<131.00 μm) presentaron baja CAA (0.85, 1.49 y 1.15 g H₂O/g) y la categoría regular (>248 μm) presento resultados ligeramente altos (1.08, 1.42 y 1.09 g H₂O/g). Además, la CAA de la harina de arveja amarilla tamaño de partículas 500.00 μm fue de 1.02 g H₂O/g y para 1270 μm fue de 1.72 g H₂O/g lo cual indican que, una molienda más fina estaría relacionado a producir mayor daño al almidón, por efecto produce una menor CAA.



Respecto a la capacidad de retención de agua (CRA), Los resultados obtenidos de las harinas de quinua y kiwicha categoría entero fueron de 2.88 y 3.19 g H₂O/g respectivamente, los cuales concuerdan con lo informado por Espinosa *et al.* (2020), donde (quinua y kiwicha integral fueron de 2.28 y 3.00 g H₂O/g) encontramos valores similares. Rao *et al.* (2016), informan que de la harina de sorgo presento aumento en la CRA debido a la disminución del tamaño de partículas. Asemejándose solo a los resultados de la harina de kiwicha ya que presento lo siguiente fino > grueso > entero. Se puede suponer que el tamaño de partícula como también la estructura de las semillas influyen en los resultados. No solo las fibras solubles e insolubles afectan las propiedades de hidratación del agua de las harinas. Sino también, el contenido de proteína juega un papel impórtate en las propiedades de hidratación de una materia prima (Cheng *et al.*, 2023).

En este estudio, la capacidad de hinchamiento de las harinas (CH) oscila 0.14 a 2.35 ml/g. La CH es mayor para las harinas de categoría gruesa, ya que presenta mayor valor a comparación de las harinas finas y enteras. Al respecto, Bala *et al.* (2020) informa lo contrario en su estudio se reporta que el CH aumenta a medida que se reduce el tamaño de las partículas obteniéndose para el tamaño de partículas 249.00 μ m lo siguiente 0.23 ml/g y 74.00 μ m el valor de 0.44 ml/g, explicando que el aumento de la CH podría atribuirse a la mejora en el área de superficie por unidad de volumen, con la reducción de tamaño de partículas. Chandra *et al.* (2015), informa que la CH de las harinas se ve influenciado por el tamaño de las partículas, los tipos de variedad y los diferentes métodos de procesamiento u operaciones unitarias. Por otro lado, la propiedad funcional de CH se caracteriza por tener mayor capacidad de aumentar su volumen en un exceso de agua, por lo que podría provocar mayor saciedad y un aumento del bolo fecal (Valencia y Román, 2006).

Es este estudio la capacidad de adsorción de aceite (CAAc) no presentó diferencias significativas, debido a que no influencio las diferentes fuentes de semillas ni las categorías (entero, grueso y fino) de las harinas, los resultados oscilaron de 2.83g/g harina de kiwicha grueso a 4.56 g/g harina de cebada grueso. La CAAc es la capacidad de un producto para unirse a un aceite. Di Cairano *et al.* (2020), señala que no hubo diferencias significativas entre CAAc de distintas harinas (integral) de cereales, pseudocereales y legumbres. Sin embargo, la harina de quinua y guisante integral tuvo como resultado la CAAc 1.75 y 1.70 g/g respectivamente el cual se diferencia de este presente estudio ya que la harina de quinua y arveja entera presenta valores altos de 3.70



y 2.86 g/g respectivamente. Cheng *et al.* (2023), menciona que las tres corrientes (entero, grueso y fino) de harina del mismo cultivo de leguminosas no tuvieron diferencias significativas lo cual indica que la CAAC no se vieron afectados por el tamaño de partículas. Sin embargo, las harinas de cereales de categoría fino las cuales resultaron tener menor CAAC lo cual podría relacionarse parcialmente a su menor contenido de proteínas a comparación con las demás categorías de harina (grueso y entero). El estudio realizado por Bala *et al.* (2020), informa que las harinas de guisante (*lathyrus sativus L.*) de partículas finas se relaciona con el bajo contenido de proteína, por lo tanto, concluye que las proteínas en la harina fina presentan más grupos hidrófobos expuestos a la interacción con la grasa. Bolade *et al.* (2009), menciona que el aceite puede quedar atrapado en las cadenas laterales no polares de la proteína. En el presente estudio los resultados de la CAAC de la harina de maíz (blanco) no difieren significativamente entre categorías (Tabla 12). Sin embargo, se muestra que la categoría fina presenta menor valor de CAAC (3.33 g/g). Bolade *et al.* (2009), en su estudio la harina de maíz blanco fue fraccionado en diferentes tamaños de partículas ($>425.00 \mu m$, $300.00-425.00 \mu m$, $150.00-300.00 \mu m$, $75.00-150.00 \mu m$ y $<75.00 \mu m$, los resultados fueron los siguientes 2.00, 1.70, 1.90, 2.10 y 1.90 g/g respectivamente), reportaron que la CAAC de la harina de maíz blanco aumenta a medida que se reduce el tamaño de partículas. Además, los factores que se relacionan a la baja CAAC son el bajo contenido de proteína, el alto contenido de almidón en gránulos y bajo contenido de fibra. Las propiedades funcionales pueden tener un efecto directo sobre las características del producto final ya que la CAAC afectan en la masa significativamente en la humedad, la textura y la apariencia del producto (color, brillo, forma y otros) (Joshi *et al.*, 2015).

Los hallazgos confirman la influencia significativa de factores como el tamaño de las partículas en las propiedades funcionales de las harinas derivadas de diversas semillas. Estos resultados destacan la necesidad de tener en cuenta la variabilidad inherente a cada tipo de harina al diseñar productos alimenticios que requieran características específicas en términos de hidratación, absorción, y retención de líquidos y grasas. Békés *et al.* (2017), Indican que las propiedades funcionales de los pseudocereales y legumbres se limitan al no contener gluten y por lo tanto, no poseen propiedades para formar masa ni para hornear. Para la producción de pan y productos de panadería no se pueden utilizar sin añadir otros ingredientes o sin adaptar las condiciones de procesamiento por lo cual sugiere que se pueden añadir hasta una determinada cantidad a los productos a base de trigo, mejorando así las propiedades nutricionales del producto resultante.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- a) La granulometría, de las harinas proveniente de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*), maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*), arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*), presentan el diámetro medio de partículas de 252.97, 270.73, 241.89, 205.97 y 157.87 μm , respectivamente; por consiguiente, pertenece a la categoría “gruesa”; en cambio la harina de maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*) con 124.91 μm , pertenece a la categoría “fina”. Los rendimientos a la molienda, la harina de arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) tuvo el valor más alto 97.08% y la harina de maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*) con el más bajo 87.07 %.
- b) La propiedad física del color, en todos los casos el parámetro de luminosidad (L^*) es influenciado por la categoría de la harina, siendo la "fina" la que presenta los valores más altos. En la categoría "gruesa", las harinas procedentes de kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*), haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*) y arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) son las que presentan una baja luminosidad y valores altos de croma (c^*). La harina de maíz (*Zea mays var. INIA 620-Wari*), en la categoría "fina", es la que presentó el mayor valor de luminosidad (L^*) 97.58.
- c) Las diferentes especies de semillas y categoría de tamaño de partícula sobre las propiedades funcionales de las harinas resaltando que, en todas las harinas en estudio, la categoría de tamaño de partícula “gruesa” es la que presentó mayor capacidad de absorción de agua (CAA), retención del agua (CRA) y de hinchamiento (CH), este último a excepción de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), por consiguiente, la categoría de tamaño de partícula (entero, grueso y fino) de la harina tiene efectos sobre estas propiedades; por el contrario, las especies de semillas y las categorías no tiene efectos sobre las propiedades de capacidad de adsorción de aceite (CAAc). En el caso del índice de solubilidad influyo las diferentes especies de semillas ya que las legumbres: arveja (*Pisum sativum L. var. INIA-Usui*) y haba (*Vicia faba L. var. Verde Pacae*) y pseudocereales: quinua (*Chenopodium quinoa willd var. Blanca de Junín*), kiwicha (*Amaranthus caudatus var. Oscar Blanco*) presentaron mayor



(IS) que los cereales: cebada (*Hordeum vulgare L. var. INIA 411 San Cristóbal*) y maíz (*Zea mays var. INIA 620- Wari*).

6.2 Recomendaciones

- a) Los hallazgos de este estudio sugieren la necesidad de una selección y ajuste preciso del tamaño de partícula en función de la aplicación final de la harina.
- b) Realizar la molienda en diferentes tipos de molinos y comparar la granulometría.
- c) Se recomienda a los productores que utilicen métodos de análisis granulométrico avanzados, como la difracción láser, para obtener una visión detallada de la distribución de tamaño de partículas y optimizar así las propiedades funcionales de las harinas.
- d) La estandarización de los procedimientos de molienda y el control de calidad deben ser priorizados para garantizar la consistencia en la calidad del producto.
- e) Formular productos a partir de las harinas de diferentes fuentes de semillas tomando en cuenta los resultados obtenidos en la presente investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, Jasim; AL-ATTAR, Hasan; ARFAT, Yasir Ali. Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 52, p. 888-895. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.028>.

AI, Yongfeng, *et al.* Effects of extrusion cooking on the chemical composition and functional properties of dry common bean powders. *Food Chemistry*, 2016, vol. 211, p. 538-545. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.095>

ALVAREZ-JUBETE, Laura; ARENDT, Elke K.; GALLAGHER, Eimear. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 2010, vol. 21, no 2, p. 106-113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>

ARENDT, Elke K.; ZANNINI, Emanuele. *Cereal grains for the food and beverage industries*. Elsevier, 2013.

BALA, Manju, *et al.* Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no 11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05471>.

BÉKÉS, Ferenc; SCHOENLECHNER, Regine; TÖMÖSKÖZI, Sándor. Ancient wheats and pseudocereals for possible use in cereal-grain dietary intolerances. En *Cereal grains*. Woodhead Publishing, 2017. p. 353-389. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00014-0>

BELORIO, Mayara; SAHAGÚN, Marta; GÓMEZ, Manuel. Influence of flour particle size distribution on the quality of maize gluten-free cookies. *Foods*, 2019, vol. 8, no 2, p. 83. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods8020083>

BOLADE, Mathew K.; ADEYEMI, Isaac A.; OGUNSUA, Augustine O. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based nonfermented food gel. *International journal of food science & technology*, 2009, vol. 44, no 3, p. 646-655. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01903>.

BOUKID, Fatma, *et al.* Does cell wall integrity in legumes flours modulate physicochemical quality and in vitro starch hydrolysis of gluten-free bread. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 59, p. 110-118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.034>.



BOURRÉ, Lindsay, et al. Influence of particle size on flour and baking properties of yellow pea, navy bean, and red lentil flours. *Cereal Chemistry*, 2019, vol. 96, no 4, p. 655-667. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cche.10161>.

CERVILLA, Natalia Soledad, et al. Composición química de harinas de quinoa de origen argentino. Pérdidas minerales durante el lavado. 2012.

CHENG, Fan, et al. Milling and differential sieving to diversify flour functionality: A comparison between pulses and cereals. *Food Research International*, 2023, vol. 163, p. 112223. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112223>

CODEX-STAN, 171-1989 NORMA DEL CODEX PARA DETERMINADAS LEGUMBRES Haba, Garbanzos, Frijoles, Etc, Revisada 1995

COELHO, LAYLLA MARQUES, et al. Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. *Food & Function*, 2018, vol. 9, no 11, p. 5499-5512. DOI:10.1039/C8FO01422A

DAHL, Wendy J.; FOSTER, Lauren M.; TYLER, Robert T. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum L.*). *British Journal of Nutrition*, 2012, vol. 108, no S1, p. S3-S10. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>

D'AMBROSIO, Ugo, et al. *Pisum sativum L.* 2018.

DAPČEVIĆ-HADNAĐEV, Tamara; HADNAĐEV, Miroslav; POJIĆ, Milica. The healthy components of cereal by-products and their functional properties. En *Sustainable recovery and reutilization of cereal processing by-products*. Woodhead Publishing, 2018. p. 27-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00002-2>

DENDY, David AV, et al. *Cereales y productos derivados: química y tecnología*. 2004.

DI CAIRANO, Maria, et al. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *Lwt*, 2020, vol. 133, p. 109860. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109860>

DRAA. (2009). PLAN ESTRATEGICO REGIONAL DEL SECTOR AGRARIO DE APURIMAC 2009-2015. ABANCA Y.

DORIA, Jessica. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 2010, vol. 31, no 1, p. 00-00. ISSN 0258-5936.



DU, Shuang-kui, et al. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT- Food Science and Technology*, 2014, vol. 55, no 1, p. 308-313. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>

DUSSÁN-SARRIA, Saúl; HURTADO-HURTADO, Deisy L. & CAMACHO-TAMAYO, Jesús H. Granulometría, propiedades funcionales y propiedades de color de las harinas de quinua y chontaduro. *Información tecnológica*, 2019, vol. 30, no 5, p. 3-10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>

ESPINOSA-RAMÍREZ, Johanan, et al. Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. *Food Hydrocolloids*, 2020, vol. 111, p. 106400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>

FAROOQ, Z.; BOYE, J. I. Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*, 2011, p. 283-323.

FERRO, Roberto Horque; ANDENES-CUSCO, E. E. A. *Cultivo del Haba*. 2004.

FRANCIS, Frederick John; CLYDESDALE, Fergus M. *Food colorimetry: theory and applications*. 1975.

GARCÍA, Oscar, et al. Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 2012, vol. 12, no 4, p. 919-928.

GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. D.F- México. Tercera Edición, 2004.

GIESE, James. Measuring physical properties of foods. *Food technology (Chicago)*, 1995, vol. 49, no 2, p. 53-63. Inist-CNRS, PASCAL Identificador INIST 3446533.

GILABERT, E. *Medida del color*. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Edición, 1992.

GWIRTZ, Jeffrey A. y GARCIA-CASAL, Maria Nieves. Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2014, vol. 1312, no 1, p. 66-75. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>

HERNANDEZ SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, M. del P. Metodología de la Investigación Hernandez Sampieri 6a Edición. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2013, vol. 53, no 9.



HOOVER, Ratnajothi. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate polymers*, 2001, vol. 45, no 3, p. 253-267. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)

HUAMANCHUMO, William. Pseudocereales andinos: valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten. 2020.

<https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

INEI. (2021). Perú Compendio Estadístico. LIMA.

INYANG, U. E.; NWADIMKPA, C. U. Functional properties of dehulled sesame (*Sesamum indicum* L.) seed flour. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1992, vol. 69, no 8, p. 819-822. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02635923>

JANCUROVÁ, Michala; MINAROVICOVÁ, Lucia; DANDAR, Alexander. Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 2009, vol. 27, no 2, p. 71-79.

JOYE, Iris J., et al. Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no 10, p. 3045.

KANT, Lakshmi; AMRAPALI, Shephalika; BABU, Banisetti Kalyana. Barley. En *Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement*. Academic Press, 2016. p. 125-157. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802000-5.00003-4>

KIM, Yesi. Tailoring physical and sensory properties of tofu by the addition of jetmilled, superfine, defatted soybean flour. *Foods*, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods8120617>

LOAYZA TAPIA, Yurica. Características físicas de tamaño de partículas y consistencia de la mezcla de siete harinas (ulpada). 2023.

MA, Meng-mei; MU, Tai-hua. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food chemistry*, 2016, vol. 194, p. 237-246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.095>

MACHADO, Julio Ernesto Ospina. Características físico-mecánicas y análisis de calidad de granos. Univ. Nacional de Colombia, 2001.

MATHIAS-RETTIG, K.; AH-HEN, Kb. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 2014, vol. 42, no 2, p. 57-66. Disponible en: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>



MATZ, Samuel A. Bakery technology and engineering. 3rd ed. Online. 1992. pp. 853. [Accessed 24 March 2023]. DOI 10.3/JQUERY-UI.JS. 1972.

MCCABE, Warren L., SMITH, Julian C. y HARRIOTT, Peter, 2017. Operaciones unitarias en ingeniería química. Online. Mexico. ISBN 9789701061749.

MIDAGRI, Ministerio de Desarrollo Agrario y riego. Perú 2022 (<https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea>)

MIHAELA, Matei Petruta, 2011. Coordenadas CIE L^*a^*b representadas en un sistema tridimensional. . . 2011

MILLAR, Kim A., et al. Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, vol. 82, p. 103233. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>

MUJICA, Angel O., et al. Informe Final. Proyecto Quinua: Cultivo multipropósito para los países andinos. 2006. pp. 237.

NTP 011.451 Revisado, 2013 Disponible en: https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/AGROINDUSTRIA_001-2014/files/assets/basic.html/page103.html.

NTP 205.058, 2015 TRIGO. Harina integral de trigo. Requisitos. 1ª Edición.

PANDO, L.; AGUILAR, E. Guía de cultivo de la quinua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016, vol. 2, p. 17-18.

RAGHAVENDRA, S. N., et al. Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. European Food Research and Technology, 2004, vol. 218, p. 563-567. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-004-0889-2>

RAHATE, Kuldeep A.; MADHUMITA, Mitali; PRABHAKAR, Pramod K. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review. Lwt, 2021, vol. 138, p. 110796. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>

RAMÍREZ MIRANDA, Evelyn Jacqueline. Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd) y arveja (*Pisum sativum*). 2015.



REPO-CARRASCO, Ritva; ESPINOZA, Clara; JACOBSEN, S.-E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international*, 2003, vol. 19, no 1-2, p. 179-189. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>

RIVAS, Julio C. Avances en el Cultivo de Quínoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) en el Sur de Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina), 2013.

ROSERO HERNÁNDEZ, Luis Fernando. Evaluación de 3 tipos de extensores cárnicos (harina de arveja, fécula de maíz y harina de haba) para la elaboración de salchicha tipo Vienesita a partir de un caldo concentrado de subproductos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). 2013. Tesis de Licenciatura.

SATHE, S. K. Dry bean protein functionality. *Critical reviews in biotechnology*, 2002, vol. 22, no 2, p. 175-223. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07388550290789487>

SAVAGE, GP, y; DEO, S. The nutritional value of peas (*Pisum sativum*). A literature review. *En Nutrition Abstracts and Reviews (Series A)*. 1989. p. 66-88.

SEQUEIROS HUACHACA, Fairuz Elena. Potencial de nutrientes, bioactividad y funcionalidad de Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), Maíz (*Zea mays*) y Tarwi (*Lupinus mutabilis* S.) de la región Apurímac. 2022.

SILVIA COIMBRA y ROBERTO SALEMA, *Amaranthus hypochondriacus*: estructura de semillas y localización de reservas de semillas *Annals of Botany* Vol. 74, no 4, 1994, p. 373-379.

VALENCIA, Francia E.; ROMÁN, María O. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Vitae*, 2006, vol. 13, no 2, p. 54-60. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042006000200007&script=sci_arttext

VALENCIA-CHAMORRO, S. A. Quinoa In: Caballero B. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*, vol. 8. 2003.

VALLADARES, Luis; VIO, Fernando. Evidencias del efecto del grano integral en las enfermedades crónicas no transmisibles. *Revista chilena de nutrición*, 2024, vol. 51, no 1, p. 86-93. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182024000100086>

VANEGAS, Walter Lenín Espinoza. Los cereales como fuente de alimentación primaria para la humanidad. *Revista Multi-Ensayos*, 2018, vol. 4, no 7, p. 47-54. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/multiensayos.v4i7.9493>



WANG, Jinshui; ROSELL, Cristina M.; DE BARBER, Carmen Benedito. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food chemistry*, 2002, vol. 79, no 2, p. 221-226. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)



ANEXOS



ANEXO 1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO ETAPA I

Tabla 16 — Análisis de la varianza del diámetro medio de partículas (Dmp)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	49559.67	5.00	9911.93	332.04	<0.0001
semillas	49559.67	5.00	9911.93	332.04	<0.0001
Error	358.22	12.00	29.85		
Total	49917.89	17.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad (Gl) = Grados de libertad, (SC) = Suma de cuadrados, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 17 — Comparación múltiple de medias de Tukey (ALFA=0.05) para el diámetro medio de partículas (Dmp)

Semillas	Medias	n	EE	
Maiz	124.91	9.00	3.15	a
Haba	157.87	9.00	3.15	b
Arveja	205.97	9.00	3.15	c
Cebada	241.89	9.00	3.15	d
Quinoa	252.97	9.00	3.15	d
Kiwicha	270.73	9.00	3.15	e

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO ETAPA II

Tabla 18 — Análisis de la varianza de luminosidad (L*)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	888.79	17.00	52.28	593.70	<0.0001
semilla	261.97	5.00	52.39	594.97	<0.0001
categoría	494.73	2.00	247.36	2808.99	<0.0001
semilla *categoría	132.10	10.00	13.21	150.01	<0.0001
Error	3.17	36.00	0.09		
Total	891.96	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 19 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)

Semilla	Medias	n	EE	
a5	87.02	9.00	0.10	a
a2	88.05	9.00	0.10	b
a6	89.57	9.00	0.10	c
a1	90.25	9.00	0.10	d
a3	91.97	9.00	0.10	e
a4	93.51	9.00	0.10	f

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0.05).

Tabla 20 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)

Categoría	Medias	n	EE	
b2	85.89	18.00	0.07	a
b1	91.33	18.00	0.07	b
b3	92.97	18.00	0.07	c
<p>NOTA b1= entero, b2= grueso y b3= fino. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).</p>				

Tabla 21 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de luminosidad (L*)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a5	b2	79.10	3.00	0.17	a
a6	b2	84.31	3.00	0.17	b
a2	b2	86.59	3.00	0.17	c
a1	b2	87.55	3.00	0.17	d
a2	b1	88.24	3.00	0.17	d e
a4	b2	88.65	3.00	0.17	e f
a3	b2	89.13	3.00	0.17	e f g
a2	b3	89.33	3.00	0.17	f g
a5	b1	89.61	3.00	0.17	g
a1	b1	90.69	3.00	0.17	h
a6	b1	91.85	3.00	0.17	i
a5	b3	92.34	3.00	0.17	i
a1	b3	92.51	3.00	0.17	i j
a6	b3	92.55	3.00	0.17	i j
a3	b1	93.29	3.00	0.17	j k
a3	b3	93.50	3.00	0.17	k l
a4	b1	94.29	3.00	0.17	l
a4	b3	97.58	3.00	0.17	m

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 22 — Análisis de la varianza de la coordenada a*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	267.72	17.00	15.75	413.31	<0.0001
semilla	157.97	5.00	31.59	829.16	<0.0001
categoría	76.72	2.00	38.36	1006.68	<0.0001
semilla *categoría	33.04	10.00	3.30	86.70	<0.0001
Error	1.37	36.00	0.04		
Total	269.10	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 23 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada a*

Semillas	Medias	n	EE	
a4	3.06	9.00	0.07	a
a3	3.09	9.00	0.07	a
a1	3.16	9.00	0.07	a
a6	4.02	9.00	0.07	b
a2	5.09	9.00	0.07	c
a5	7.85	9.00	0.07	d

NOLA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 24 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada a*

Categoría	Medias	n	EE	
b3	3.37	18.00	0.05	a
b1	3.72	18.00	0.05	b
b2	6.05	18.00	0.05	c
NOTA b1= entero, b2= grueso y b3= fino. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).				

Tabla 25 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey ALFA=0.05 de la coordenada a*

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b1	2.13	3.00	0.11	a
a1	b3	2.29	3.00	0.11	a b
a3	b3	2.39	3.00	0.11	a b c
a3	b1	2.49	3.00	0.11	a b c
a6	b3	2.58	3.00	0.11	a b c
a4	b3	2.77	3.00	0.11	b c d
a1	b1	2.93	3.00	0.11	c d
a6	b1	3.35	3.00	0.11	d
a1	b2	4.27	3.00	0.11	e
a4	b2	4.27	3.00	0.11	e
a3	b2	4.41	3.00	0.11	e
a2	b3	4.46	3.00	0.11	e
a2	b1	5.23	3.00	0.11	f
a2	b2	5.57	3.00	0.11	f g
a5	b3	5.72	3.00	0.11	f g
a6	b2	6.13	3.00	0.11	g
a5	b1	6.16	3.00	0.11	g
a5	b2	11.66	3.00	0.11	h

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 26 — Análisis de la varianza de la coordenada b*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	1840.29	17.00	108.25	1041.52	<0.0001
semilla	1368.09	5.00	273.62	2632.54	<0.0001
categoría	368.98	2.00	184.49	1775.01	<0.0001
semilla *categoría	103.22	10.00	10.32	99.31	<0.0001
Error	3.74	36.00	0.10		
Total	1844.03	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 27 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada b*

Semillas	Medias	n	EE	
a3	6.94	9.00	0.11	a
a4	7.73	9.00	0.11	b
a1	10.32	9.00	0.11	c
a2	12.71	9.00	0.11	d
a6	16.28	9.00	0.11	e
a5	21.40	9.00	0.11	f

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 28 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de la coordenada b*

Categoría	Medias	n	EE	
b3	10.04	18.00	0.08	a
b1	11.48	18.00	0.08	b
b2	16.16	18.00	0.08	c

NOTA
b1= entero, b2= grueso y b3= fino.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)



Tabla 29 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey ALFA=0.05 de la coordenada b*

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	3.93	3.00	0.19	a
a3	b3	5.87	3.00	0.19	b
a3	b1	6.34	3.00	0.19	b c
a4	b1	7.27	3.00	0.19	c d
a1	b3	7.49	3.00	0.19	d
a3	b2	8.60	3.00	0.19	e
a1	b1	10.12	3.00	0.19	f
a2	b3	11.68	3.00	0.19	g
a4	b2	11.98	3.00	0.19	g
a2	b1	12.61	3.00	0.19	g h
a6	b3	12.67	3.00	0.19	g h
a1	b2	13.36	3.00	0.19	h i
a2	b2	13.83	3.00	0.19	i
a6	b1	13.97	3.00	0.19	i
a5	b1	18.56	3.00	0.19	j
a5	b3	18.61	3.00	0.19	j
a6	b2	22.19	3.00	0.19	k
a5	b2	27.03	3.00	0.19	l

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 30 — Análisis de la varianza del croma (c*)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	2052.48	17.00	120.73	1101.29	<0.0001
semilla	1493.89	5.00	298.78	2725.35	<0.0001
categoría	440.63	2.00	220.32	2009.65	<0.0001
semilla *categoría	117.95	10.00	11.80	107.59	<0.0001
Error	3.95	36.00	0.11		
Total	2056.43	53.00			

Nota
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 31 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)

Semillas	Medias	n	EE	
a3	7.61	9.00	0.11	a
a4	8.37	9.00	0.11	b
a1	10.80	9.00	0.11	c
a2	13.69	9.00	0.11	d
a6	16.77	9.00	0.11	e
a5	22.83	9.00	0.11	f

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 32 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)

Categoría	Medias	n	EE	
b3	10.61	18.00	0.08	a
b1	12.09	18.00	0.08	b
b2	17.30	18.00	0.08	c

NOTA
 b1= entero, b2= grueso y b3= fino.
 Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 33 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) del croma (c*)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	4.80	3.00	0.19	a
a3	b3	6.34	3.00	0.19	b
a3	b1	6.81	3.00	0.19	b c
a4	b1	7.58	3.00	0.19	c d
a1	b3	7.83	3.00	0.19	d
a3	b2	9.67	3.00	0.19	e
a1	b1	10.54	3.00	0.19	e f
a2	b3	12.51	3.00	0.19	f g
a4	b2	12.72	3.00	0.19	f g
a6	b3	12.93	3.00	0.19	g h
a2	b1	13.65	3.00	0.19	h
a1	b2	14.02	3.00	0.19	h i
a6	b1	14.37	3.00	0.19	i
a2	b2	14.91	3.00	0.19	i
a5	b3	19.48	3.00	0.19	j
a5	b1	19.56	3.00	0.19	j
a6	b2	23.02	3.00	0.19	k
a5	b2	29.45	3.00	0.19	l

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 34 — Análisis de la varianza del ángulo tono (h°)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	1489.84	17.00	87.64	132.03	<0.0001
semilla	731.46	5.00	146.29	220.40	<0.0001
categoría	88.54	2.00	44.27	66.70	<0.0001
semilla *categoría	669.84	10.00	66.98	100.92	<0.0001
Error	23.90	36.00	0.66		
Total	1513.73	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 35 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del ángulo tono (h°)

Semillas	Medias	n	EE	
a4	66.28	9.00	0.27	a
a3	66.46	9.00	0.27	a
a2	68.20	9.00	0.27	b
a5	70.40	9.00	0.27	c
a1	73.03	9.00	0.27	d
a6	76.52	9.00	0.27	e

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p<0.05$).

Tabla 36 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) del ángulo tono (h°)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	54.86	3.00	0.47	a
a3	b2	62.86	3.00	0.47	b
a5	b2	66.66	3.00	0.47	c
a2	b1	67.46	3.00	0.47	c
a3	b3	67.90	3.00	0.47	c d
a2	b2	68.05	3.00	0.47	c d
a3	b1	68.62	3.00	0.47	c d
a2	b3	69.10	3.00	0.47	c d
a4	b2	70.34	3.00	0.47	d e
a5	b1	71.64	3.00	0.47	e f
a1	b2	72.29	3.00	0.47	e f g
a5	b3	72.91	3.00	0.47	f g
a1	b3	72.96	3.00	0.47	f g
a4	b1	73.64	3.00	0.47	f g
a1	b1	73.84	3.00	0.47	f g
a6	b2	74.55	3.00	0.47	g h
a6	b1	76.53	3.00	0.47	h i
a6	b3	78.47	3.00	0.47	i

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

PROPIEDADES FUNCIONALES

Tabla 37 — Análisis de la varianza del índice de solubilidad (IS)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	6407.77	17.00	376.93	161.63	<0.0001
semilla	6089.30	5.00	1217.86	522.22	<0.0001
categoría	16.17	2.00	8.08	3.47	0.0420
semilla *categoría	302.31	10.00	30.23	12.96	<0.0001
Error	83.96	36.00	2.33		
Total	6491.73	53.00			

NOTA
 (F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
 El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 38 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) del índice de solubilidad (IS)

Semillas	Medias	n	EE	
a3	8.26	9.00	0.51	a
a4	9.59	9.00	0.51	a
a1	9.80	9.00	0.51	a
a2	20.52	9.00	0.51	b
a5	24.60	9.00	0.51	c
a6	37.87	9.00	0.51	d

NOTA
 a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
 Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 39 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de índice solubilidad (IS)

Categoría	Medias	n	EE	
b1	18.02	18.00	0.36	a
b2	18.09	18.00	0.36	a
b3	19.21	18.00	0.36	a

NOTA
b1= entero, b2= grueso y b3= fino.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



Tabla 40 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) índice solubilidad (IS)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	6.68	3.00	0.88	a
a1	b3	7.55	3.00	0.88	a
a3	b2	7.86	3.00	0.88	a
a3	b1	8.15	3.00	0.88	a
a4	b1	8.42	3.00	0.88	a b
a3	b3	8.75	3.00	0.88	a b
a1	b1	8.93	3.00	0.88	a b
a1	b2	12.9	3.00	0.88	b c
a4	b2	13.7	3.00	0.88	c
a2	b2	17.0	3.00	0.88	c d
a2	b1	20.2	3.00	0.88	d e
a5	b2	20.6	3.00	0.88	d e
a2	b3	24.4	3.00	0.88	e f
a5	b1	24.5	3.00	0.88	e f
a5	b3	28.7	3.00	0.88	f
a6	b2	36.5	3.00	0.88	g
a6	b1	37.9	3.00	0.88	g
a6	b3	39.2	3.00	0.88	g

NOTA

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 41 — Análisis de la varianza de capacidad de absorción de agua (CAA)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	14.86	17.00	0.87	5.34	<0.0001
semilla	1.46	5.00	0.29	1.78	0.1417
categoría	10.11	2.00	5.05	30.85	<0.0001
semilla *categoría	3.30	10.00	0.33	2.01	0.0612
Error	5.90	36.00	0.16		
Total	20.76	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 42 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de absorción de agua (CAA)

Categoría	Medias	n	EE	
b3	2.75	18.00	0.10	a
b1	2.96	18.00	0.10	a
b2	3.75	18.00	0.10	b

NOTA
b1= entero, b2= grueso y b3= fino.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 43 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de absorción de agua (CAA)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a6	b3	2.43	3.00	0.23	a
a5	b3	2.50	3.00	0.23	a b
a5	b1	2.67	3.00	0.23	a b c
a3	b3	2.71	3.00	0.23	a b c
a1	b3	2.73	3.00	0.23	a b c
a1	b1	2.83	3.00	0.23	a b c
a2	b3	2.85	3.00	0.23	a b c d
a4	b3	2.95	3.00	0.23	a b c d
a2	b1	2.99	3.00	0.23	a b c d
a6	b1	3.02	3.00	0.23	a b c d
a2	b2	3.16	3.00	0.23	a b c d e
a4	b3	3.27	3.00	0.23	a b c d e
a3	b1	3.30	3.00	0.23	a b c d e
a1	b2	3.43	3.00	0.23	a b c d e
a4	b2	3.73	3.00	0.23	b c d e
a5	b2	3.77	3.00	0.23	c d e
a3	b2	4.08	3.00	0.23	d e
a6	b2	4.34	3.00	0.23	e

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 44 — Análisis de la varianza de capacidad de retención de agua (CRA)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	36.96	17.00	2.17	16.88	<0.0001
semilla	23.80	5.00	4.76	36.96	<0.0001
categoría	8.32	2.00	4.16	32.30	<0.0001
semilla *categoría	4.84	10.00	0.48	3.76	0.0016
Error	4.64	36.00	0.13		
Total	41.60	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 45 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de retención de agua (CRA)

Semillas	Medias	n	EE	
a4	2.72	9.00	0.12	a
a3	2.87	9.00	0.12	a b
a1	3.00	9.00	0.12	a b
a2	3.35	9.00	0.12	b
a5	4.02	9.00	0.12	c
a6	4.56	9.00	0.12	d

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 46 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de retención de agua (CRA)

Categoría	Medias	n	EE	
b3	3.04	18.00	0.08	a
b1	3.26	18.00	0.08	a
b2	3.96	18.00	0.08	b
NOTA b1= entero, b2= grueso y b3= fino. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).				



Tabla 47 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) capacidad de retención de agua (CRA)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	2.34	3.00	0.21	a
a3	b3	2.37	3.00	0.21	a
a1	b3	2.40	3.00	0.21	a
a4	b1	2.56	3.00	0.21	a b
a1	b1	2.88	3.00	0.21	a b c
a3	b1	2.94	3.00	0.21	a b c
a2	b1	3.20	3.00	0.21	a b c d
a2	b2	3.22	3.00	0.21	a b c d
a4	b2	3.25	3.00	0.21	a b c d
a3	b2	3.29	3.00	0.21	a b c d
a5	b3	3.61	3.00	0.21	b c d e
a2	b3	3.65	3.00	0.21	b c d e
a1	b2	3.70	3.00	0.21	c d e
a6	b3	3.84	3.00	0.21	c d e
a5	b1	3.86	3.00	0.21	c d e
a6	b1	4.14	3.00	0.21	d e
a5	b2	4.59	3.00	0.21	e
a6	b2	5.70	3.00	0.21	f

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 48 — Análisis de la varianza de capacidad de hinchamiento (CH)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	16.25	17.00	0.96	77.70	<0.0001
semilla	4.00	5.00	0.80	65.10	<0.0001
categoría	7.90	2.00	3.95	320.94	<0.0001
semilla *categoría	4.35	10.00	0.44	35.36	<0.0001
Error	0.44	36.00	0.01		
Total	16.70	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 49 — Comparación múltiple de medias (especies de semillas) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de hinchamiento (CH)

Semillas	Medias	n	EE	
a4	0.56	9.00	0.04	a
a1	0.93	9.00	0.04	b
a2	0.97	9.00	0.04	b c
a3	1.09	9.00	0.04	c
a6	1.32	9.00	0.04	d
a5	1.38	9.00	0.04	d

NOTA
a1= quinua, a2= kiwicha, a3= cebada, a4 maíz. a5= arveja y a6= haba.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 50 — Comparación múltiple de medias (categoría de tamaño de partícula) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de hinchamiento (CH)

Categoría	Medias	n	EE	
b3	0.57	18.00	0.03	a
b1	1.06	18.00	0.03	b
b2	1.50	18.00	0.03	c

NOTA
b1= entero, b2= grueso y b3= fino.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p<0.05$).



Tabla 51 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) capacidad de hinchamiento (CH)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a4	b3	0.15	3.00	0.06	a
a6	b3	0.32	3.00	0.06	a
a4	b1	0.37	3.00	0.06	a
a1	b3	0.43	3.00	0.06	a b
a5	b3	0.73	3.00	0.06	b c
a3	b3	0.86	3.00	0.06	c d
a2	b3	0.93	3.00	0.06	c d
a2	b1	0.93	3.00	0.06	c d
a3	b1	0.99	3.00	0.06	c d e
a1	b2	1.02	3.00	0.06	c d e f
a2	b2	1.05	3.00	0.06	c d e f
a4	b2	1.17	3.00	0.06	d e f g
a6	b1	1.30	3.00	0.06	e f g
a1	b1	1.34	3.00	0.06	f g
a3	b2	1.42	3.00	0.06	g
a5	b1	1.43	3.00	0.06	g
a5	b2	1.99	3.00	0.06	h
a6	b2	2.36	3.00	0.06	i

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 52 — Análisis de la varianza de capacidad de adsorción de aceite (CAAc)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-VALOR
Modelo	9.56	17.00	0.56	2.63	0.0072
semilla	0.97	5.00	0.19	0.91	0.4882
categoría	1.17	2.00	0.59	2.77	0.0775
semilla *categoría	7.42	10.00	0.74	3.48	0.0028
Error	7.68	36.00	0.21		
Total	17.24	53.00			

NOTA
(F.V.) =Fuente de variabilidad, (SC) = Suma de cuadrados, (Gl) = Grados de libertad, (CM) = Cuadrados medios.
El p-Valor es menor a 0.05 por consiguiente se realiza la prueba Tukey.

Tabla 53 — Comparación múltiple de medias (Interacción entre especie de semilla y tamaño de partícula / tratamientos ab) de Tukey (ALFA=0.05) de capacidad de capacidad de adsorción de aceite (CAAc)

Semilla	Categoría	Medias	n	EE	
a2	b2	2.84	3.00	0.27	a
a5	b1	2.86	3.00	0.27	a
a3	b1	3.12	3.00	0.27	a
a6	b2	3.21	3.00	0.27	a b
a3	b3	3.23	3.00	0.27	a b
a2	b1	3.32	3.00	0.27	a b
a4	b3	3.34	3.00	0.27	a b
a4	b1	3.37	3.00	0.27	a b
a6	b3	3.45	3.00	0.27	a b
a6	b1	3.47	3.00	0.27	a b
a5	b3	3.54	3.00	0.27	a b
a1	b3	3.66	3.00	0.27	a b
a1	b1	3.71	3.00	0.27	a b
a5	b2	3.75	3.00	0.27	a b
a4	b2	3.75	3.00	0.27	a b
a1	b2	3.94	3.00	0.27	a b
a3	b2	4.14	3.00	0.27	a b
a2	b3	4.58	3.00	0.27	b

NOTA
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

ANEXO 2
FOTOGRAFIAS



Figura 7 — Quinoa var. Blanca de Junín



Figura 8 — Kiwicha var. Oscar Blanco



Figura 9 — Maíz var. INIA 620- Wari



Figura 10 — Cebada var. INIA 411 San Cristóbal



Figura 11 — Arveja var. INIA-Usui



Figura 12 — Haba var. Verde Pacae

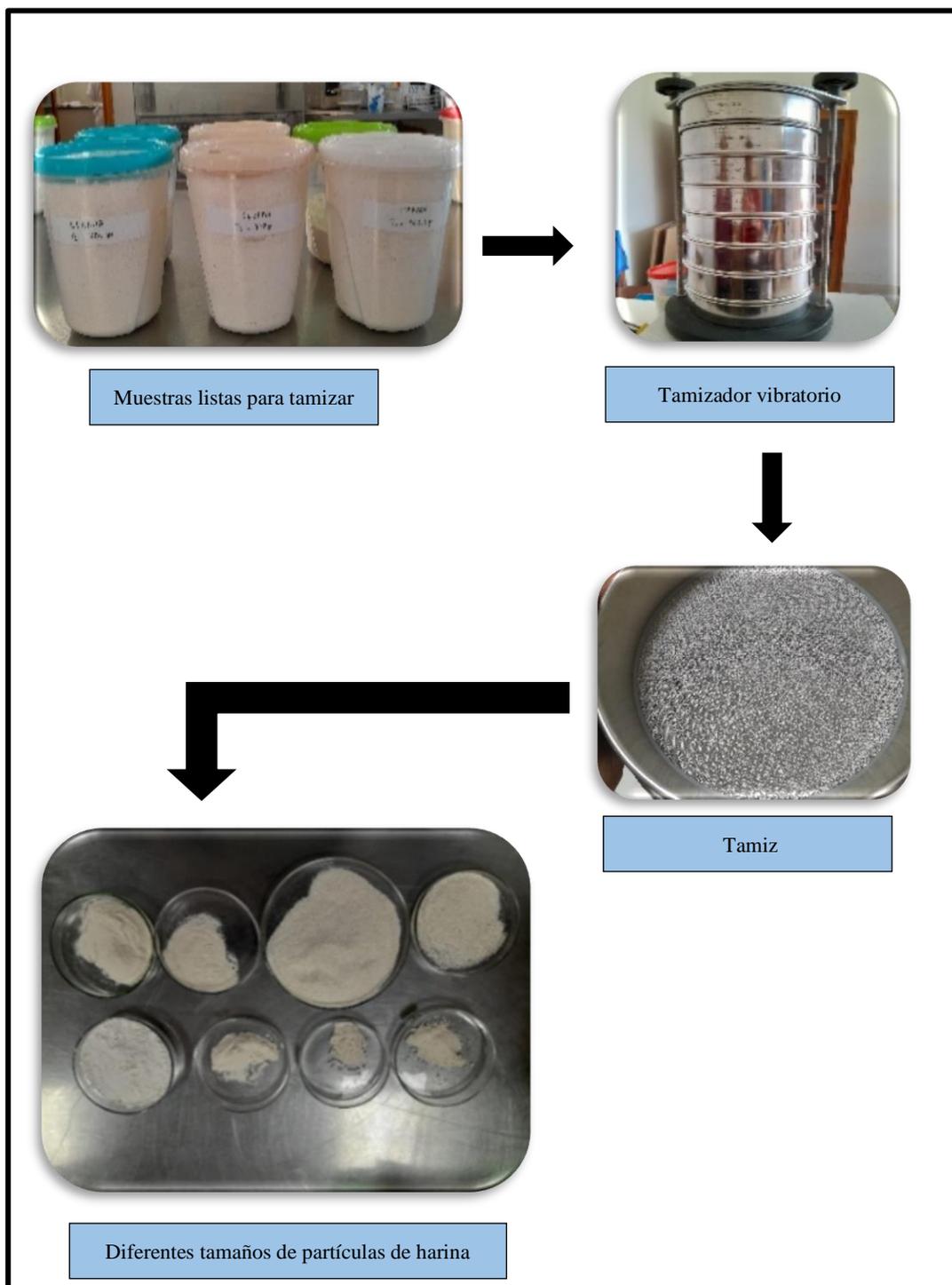


Figura 13 — Resumen del proceso de tamizado de partículas de harinas de diferentes especies de semillas

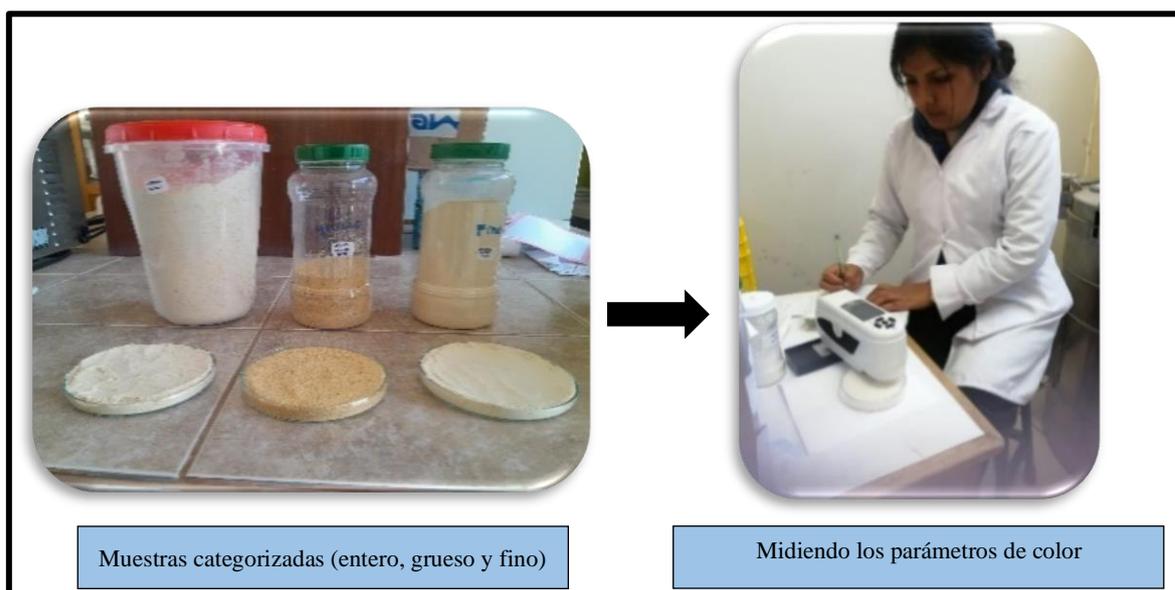


Figura 14 — Resumen de la determinación de las propiedades físicas (parámetros de color L^* , a^* , b^* , c^* y h°) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

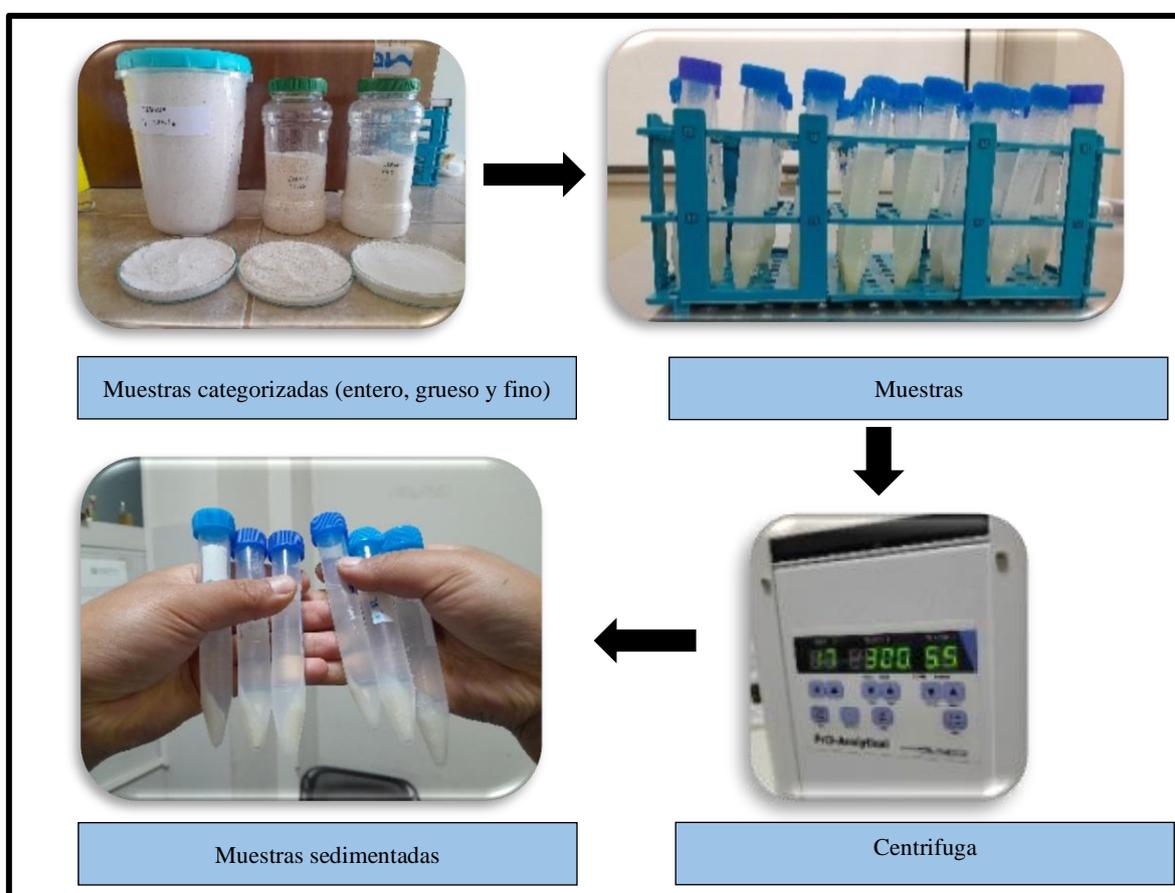


Figura 15 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua y de retención de agua) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

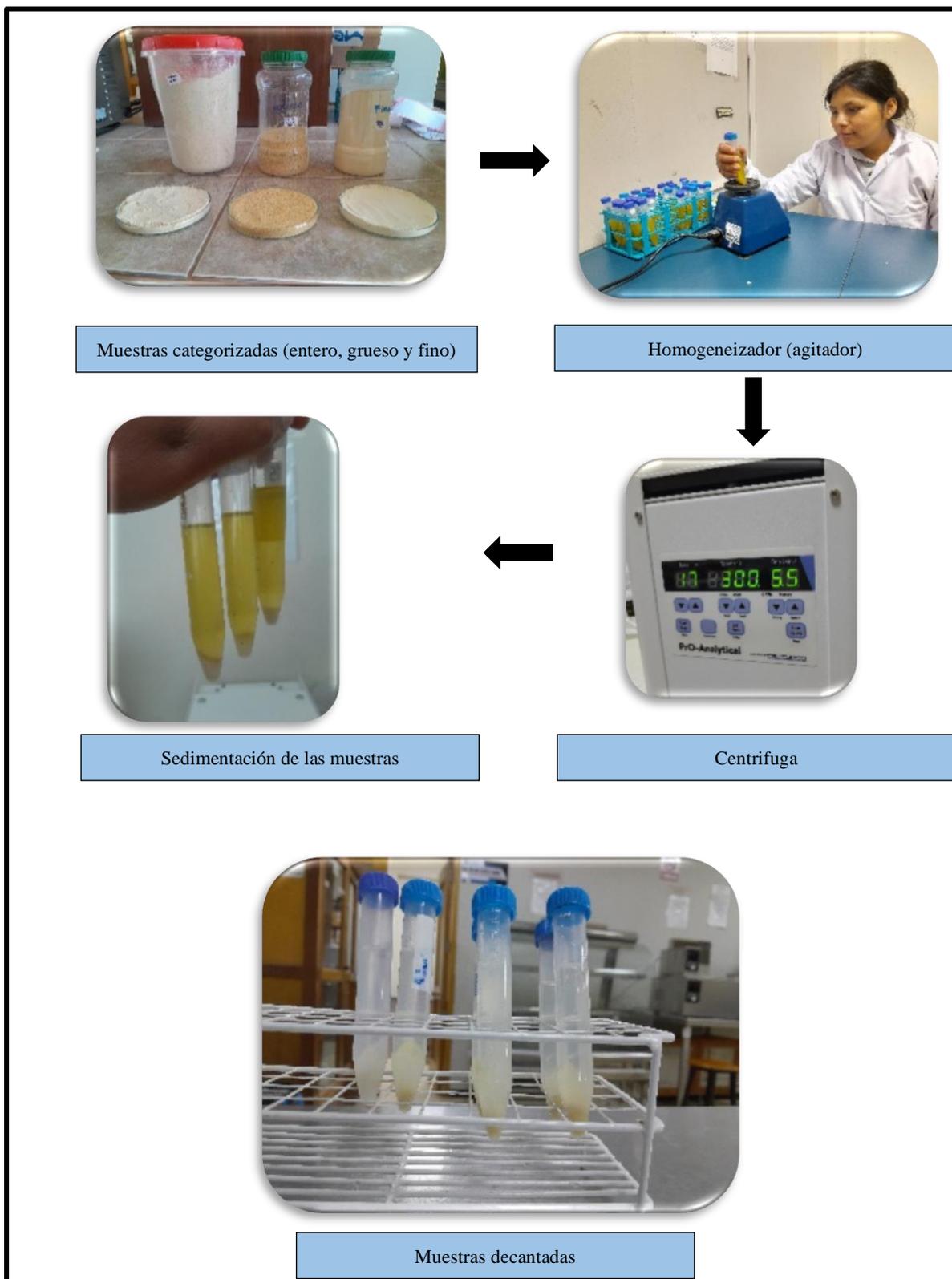


Figura 16 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de adsorción de aceite) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

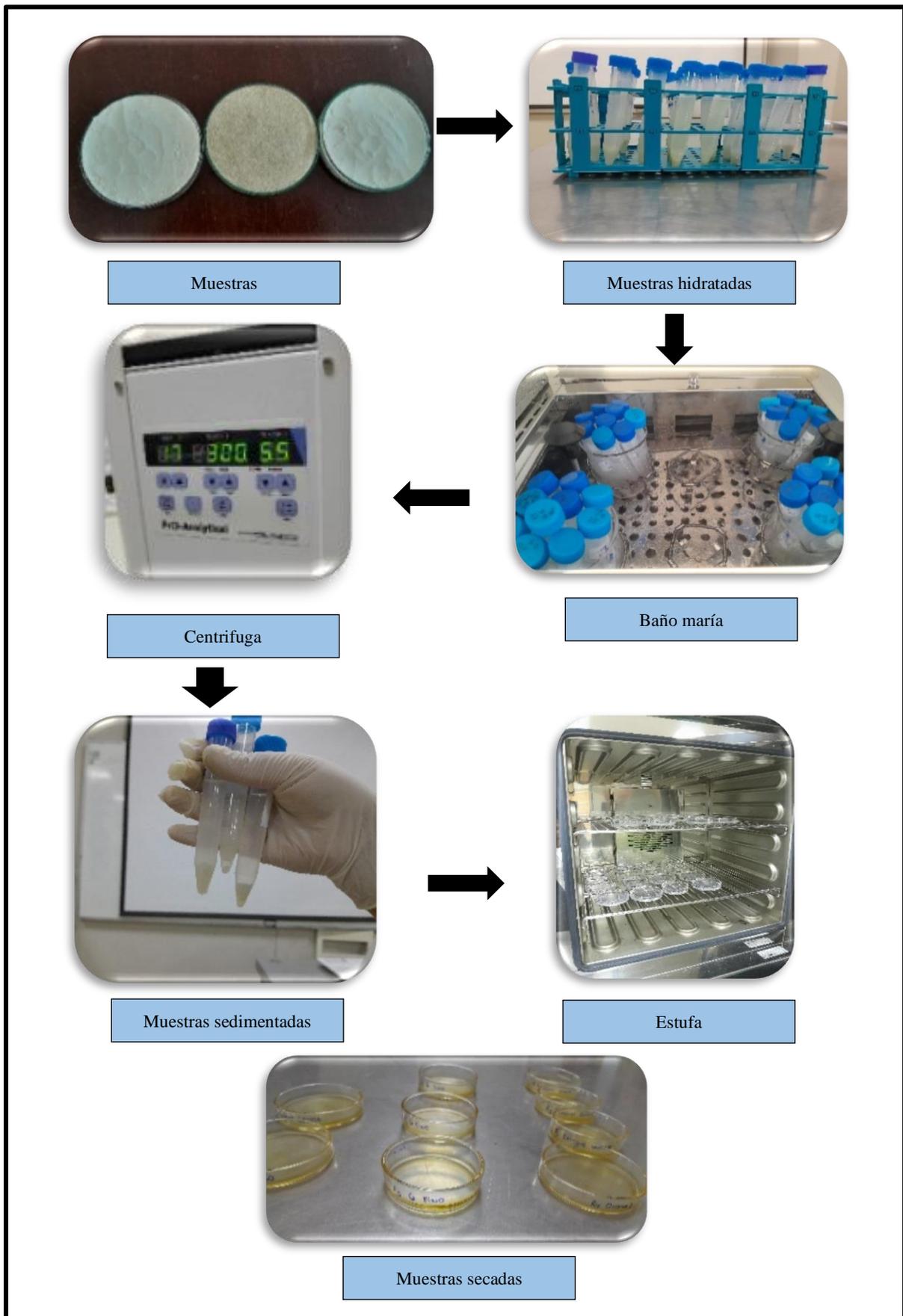


Figura 17 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (índice de solubilidad) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

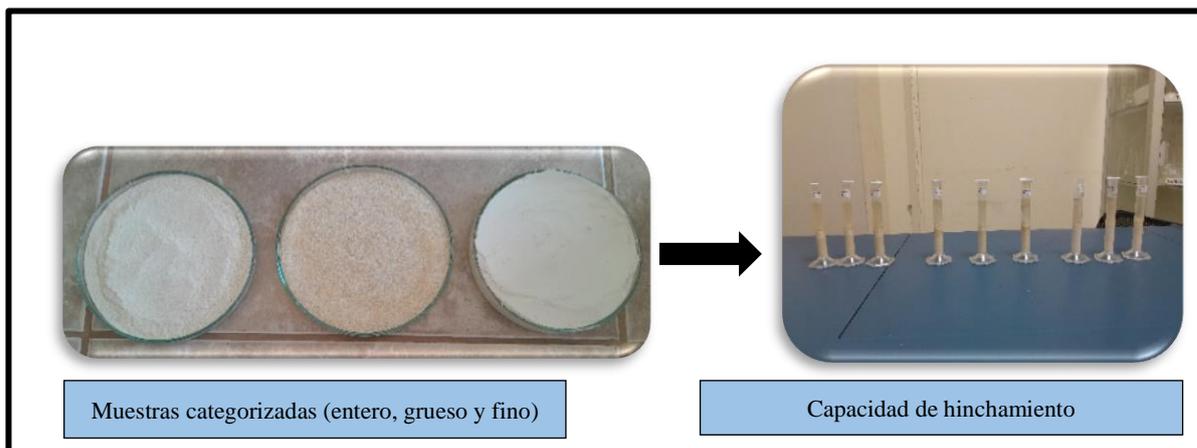


Figura 18 — Resumen de la evaluación de las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento) de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

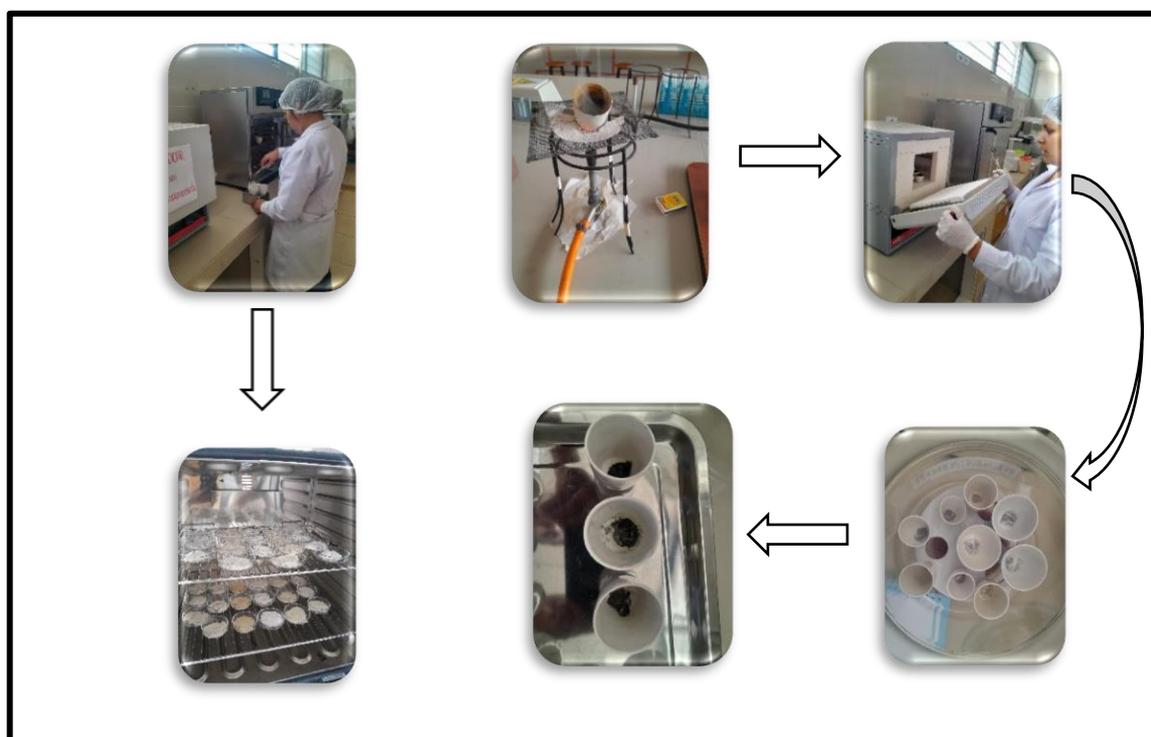


Figura 19 — Resumen de la determinación de ceniza y humedad de las harinas de diferentes especies de semillas y categorizadas

Tabla 54 — Humedad y ceniza de las harinas de diferentes fuentes de semillas

Harina	Humedad (%)	Ceniza (%)
Quinoa		
Integral	11.85±0.38 ^{gh}	2.24±0.02 ^{bc}
Grueso	11.18±0.24 ^{efg}	2.05±0.30 ^{ab}
Fino	11.09±0.34 ^{defg}	1.29±0.02 ^{ab}
Kiwicha		
Integral	10.40±0.05 ^{cd}	1.89±0.04 ^{ab}
Grueso	10.22±0.13 ^c	1.55±0.05 ^{ab}
Fino	8.30±0.34 ^b	3.22±0.02 ^{cd}
Cebada		
Integral	12.06±0.04 ^h	1.17±0.01 ^{ab}
Grueso	11.41±0.10 ^{fgh}	1.24±0.002 ^{ab}
Fino	11.65±0.02 ^{gh}	1.20±0.01 ^{ab}
Maíz		
Integral	11.81±0.13 ^{gh}	1.36±0.005 ^{ab}
Grueso	11.74±0.09 ^{cdef}	1.72±0.006 ^{ab}
Fino	11.23±0.14 ^{efg}	1.02±0.01 ^a
Arveja		
Integral	11.10±0.16 ^{defg}	1.91±0.30 ^{ab}
Grueso	10.56±0.23 ^{cde}	2.27±0.05 ^{bc}
Fino	10.33±0.77 ^c	1.93±0.02 ^{ab}
Haba		
Integral	7.23±0.07 ^a	3.57±0.05 ^d
Grueso	7.36±0.14 ^a	3.56±0.11 ^d
Fino	7.16±0.33 ^a	3.82±1.49 ^d
NOTA		
Promedio±desviación estándar (n=3). Superíndice con diferentes letras dentro de una columna indica diferencias significativas (P < 0,05).		

Tabla 55 — Parámetros de color de las harinas de quinua, kiwicha, cebada, maíz, arveja y haba categorizadas en entero, grueso y fino espacio CIE lab

Harinas	L*	a*	b*	CIE lab
Quinua				
Entero	90.69±0.15 ^h	2.93±0.15 ^{cd}	10.12±0.25 ^f	
Grueso	87.54±0.20 ^d	4.26±0.27 ^e	13.35±0.46 ^{hi}	
Fino	92.51±0.36 ^{ij}	2.29±0.11 ^{ab}	7.48±0.16 ^d	
kiwicha				
Entero	88.24±0.14 ^{de}	5.23±0.17 ^f	12.60±0.07 ^{gh}	
Grueso	86.59±0.14 ^c	5.57±0.08 ⁱ	13.82±0.09 ⁱ	
Fino	89.33±0.45 ^{fg}	4.46±0.31 ^e	11.68±0.24 ^g	
Cebada				
Entero	93.29±0.18 ^l	2.48±0.24 ^{abc}	6.34±0.11 ^{bc}	
Grueso	89.13±0.40 ^{efg}	4.41±0.31 ^e	8.60±0.44 ^e	
Fino	93.49±0.45 ^{kl}	2.38±0.15 ^{abc}	5.87±0.09 ^b	
Maíz				
Entero	94.29±0.30 ^l	2.13±0.11 ^a	7.27±0.45 ^c	
Grueso	88.64±0.15 ^{ef}	4.27±0.07 ^e	11.97±0.66 ^g	
Fino	97.58±0.15 ^m	2.76±0.10 ^{bcd}	3.93±0.06 ^a	
Arveja				
Entero	89.61±0.26 ^g	6.16±0.29 ^g	18.56±0.35 ^{gh}	
Grueso	79.10±0.56 ^a	11.66±0.22 ^j	27.03±0.56 ^l	
Fino	92.34±0.11 ⁱ	5.72±0.07 ^{fg}	18.61±0.72 ^j	
Haba				
Entero	91.85±0.01 ⁱ	3.34±0.01 ^d	13.97±0.01 ⁱ	
Grueso	84.30±0.18 ^b	6.13±0.28 ^g	22.19±0.40 ^k	
Fino	92.54±0.40 ^{ij}	2.58±0.01 ^{abc}	12.66±0.03 ^{gh}	
NOTA				
Parámetros colorimétricos: L*= luminosidad, a*= variación de color de - verde a + rojo, b* = variación de color del - azul a + amarillo.				