

Yuli & Yamileth Tesistas

Revista Fraccionamiento en seco para la obtención de germen y almidón de quina rendimiento y caracte

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:467624845

Fecha de entrega

16 jun 2025, 9:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 jun 2025, 9:44 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Revista Fraccionamiento en seco para la obtención de germen y almidón de quina rendimientodocx

Tamaño de archivo

712.4 KB

18 Páginas

5154 Palabras

29.258 Caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
127 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
4 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 3% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos entregados upeu on 2024-12-02	<1%
2	Internet eduner.uner.edu.ar	<1%
3	Publicación Andrés Vasavilbazo-Saucedo, Norma Almaraz-Abarca, Héctor Abelardo González...	<1%
4	Trabajos entregados Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2023-02-09	<1%
5	Internet repositorio.unam.edu.pe	<1%
6	Publicación Mary Ana Petersen Rodriguez. "Parâmetros genéticos e fenotípicos do perfil de á...	<1%
7	Trabajos entregados Universidad Nacional de Frontera on 2024-07-15	<1%
8	Publicación Facchinelli, A.. "Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy ...	<1%
9	Internet repositorio.uta.edu.ec	<1%
10	Internet www.coursehero.com	<1%
11	Internet www.researchgate.net	<1%

12	Internet	revista.nutricion.org	<1%
13	Internet	www.readbag.com	<1%
14	Internet	hdl.handle.net	<1%
15	Internet	www.jove.com	<1%

Fraccionamiento en seco para la obtención de germen y almidón de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd): Rendimiento y caracterización

Díaz-Chino, Yuly E.^a Hacca-Zea, Yamyleth^a Mayta-Pinto, Edgar^a

^a Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Peruana Unión,
Carretera Arequipa Km 6, Juliaca

Resumen

La innovación en el procesamiento sostenible de pseudocereales encuentra en el fraccionamiento en seco una técnica eficiente y respetuosa con el ambiente, ideal para la obtención de fracciones valiosas sin el uso de solventes. Este estudio aplicó esta metodología a la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad salcedo INIA, para la separación de germen y almidón, empleando un diseño factorial 3² para evaluar el impacto del porcentaje de agua (2.0%, 3.5% y 5.0%) y el tiempo de reposo (30, 45 y 60 minutos) sobre el rendimiento y propiedades fisicoquímicas de fracciones obtenidas. El mayor rendimiento de germen (37.8%) se logró con 3.5% de cantidad de agua y 30 minutos de reposo, mientras que el almidón alcanzó su máxima recuperación (78.2%) con 5.0% de cantidad de agua y 60 minutos de reposo. El germen destacó por su elevada concentración de proteínas (32.89 g/100g), grasa (13.37 g/100g) compuestos fenólicos (1890.00 µg equiv. de ácido gálico/g) y alta capacidad antioxidante (4.51 µmol equiv. de Trolox/g). Mientras que la fracción rica en almidón mostró un alto contenido de carbohidratos (77.34 g/100g) y minerales (4.6 g/100g). El análisis de color CIELAB determinó que el germen obtenido con 3.5% de cantidad de agua y 30 minutos de reposo presentó mayor homogeneidad y estabilidad cromática, mientras que el almidón mostró valores de claridad (L*) elevados y una baja saturación de color, características deseables para su aplicación industrial. Estos resultados consolidan al fraccionamiento en seco como una técnica eficiente y ambientalmente responsable, optimizando el aprovechamiento integral de la quinua, favoreciendo su incorporación en productos de alto valor agregado.

Palabras clave: Separación de componentes, granos andinos, fracciones de almidón y germen, técnicas de procesamiento de granos.

1. Introducción

El fraccionamiento en seco surge como una alternativa prometedora frente a los métodos de separación húmeda tradicionales en granos y cereales, los cuales requieren un elevado consumo de agua y generan residuos líquidos (Opazo-Navarrete et al., 2018). No obstante, a pesar de su potencial, este proceso ha sido poco explorado en la quinua. Estudios previos en otros cereales han demostrado que la manipulación de variables como la humedad y el tiempo de reposo antes de la molienda puede mejorar la eficiencia de separación de fracciones (Mufari et al., 2018; Assatory et al., 2019). En otros granos, se ha observado que la hidratación controlada mejora la disgregación de los componentes y facilita su diferenciación (Opazo-Navarrete et al., 2018; Villanueva-Flores, 2012). Sin embargo, en la quinua, aún existen vacíos en la literatura respecto a las condiciones óptimas de procesamiento en seco.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es de gran interés debido a su alto valor nutricional, caracterizado por un equilibrio óptimo de proteínas, ácidos grasos esenciales y compuestos bioactivos (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Su creciente demanda en las industrias alimentaria, farmacéutica ha impulsado la búsqueda de métodos de procesamiento más eficientes y sostenibles, especialmente para la obtención de sus fracciones más valiosas como el germen y almidón (Ballester-Sánchez et al., 2020; FAO, 2013). En este contexto, el desarrollo de técnicas innovadoras resulta fundamental para maximizar el aprovechamiento de este recurso andino para diversificar sus aplicaciones industriales.

Investigaciones previas del fraccionamiento en seco de la quinua mediante la molienda y clasificación neumática, obtuvieron fracciones con hasta 27.57% de contenido proteico, lo que sugiere una alternativa viable sin necesidad de tratamientos químicos

(Mendoza Rojas & Tineo Morote, 2022). Estudios como el de Ballester Sánchez (2020) han demostrado el potencial de esta metodología para obtener fracciones enriquecidas en proteínas y almidón, mientras que Cárdenas-Hernández et al. (2021) destacaron la eliminación de saponinas y la obtención eficiente de distintas fracciones del grano mediante molienda abrasiva. Estas investigaciones resaltan la importancia del fraccionamiento en seco como una estrategia clave para el aprovechamiento integral de la quinua.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el rendimiento, caracterización de fracciones de germen y almidón obtenidos bajo distintas condiciones de humedad y reposo con el fin de mejorar la eficiencia del proceso, a su vez potenciar su aplicabilidad industrial. A diferencia de estudios previos, esta investigación prioriza un enfoque sostenible sin el uso de solventes ni tratamientos químicos, promoviendo una alternativa ecológica y económicamente viable.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima

Las semillas de quinua blanca orgánica procesada variedad Salcedo INIA, fueron donadas por la empresa Naturkost Perú SAC, ubicada en Puno, Perú. Además, se empleó agua tratada para los procesos correspondientes.

2.2. Evaluación de calidad tecnológica de los granos de quinua

La materia prima se evaluó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana (NTP) 205.062:2021; color uniforme, ausencia de olores extraños, sabor característico y textura firme, libre de impurezas como piedras o pajas, presencia mínima de

81 granos dañados, con humedad no mayor al 13%, contenido controlado de
82 saponinas.

83 2.3. Fraccionamiento en seco

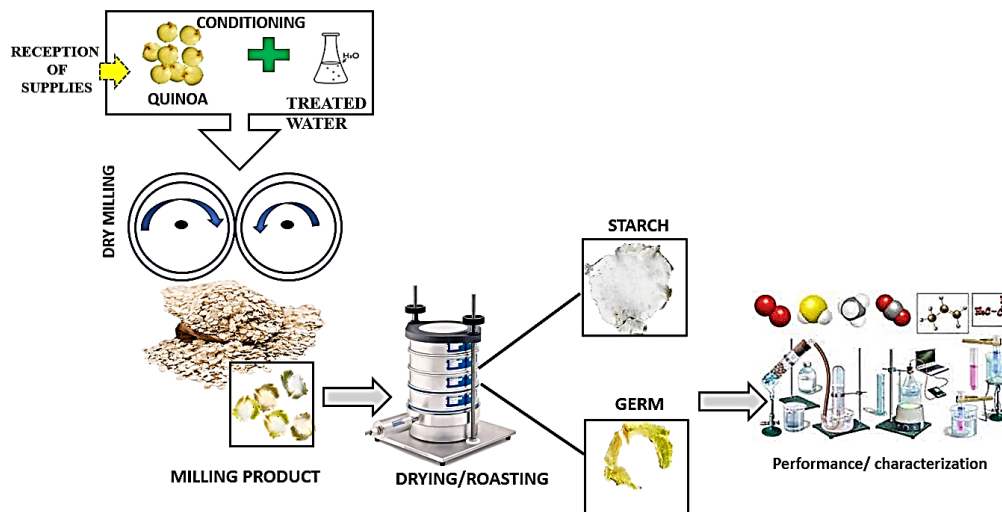
84 Las muestras (3 Kg) con humedad inicial $12.66 \% \pm 0.15$ fueron acondicionadas a
85 diferentes porcentajes de agua y diversos tiempos de reposo, según el diseño factorial 3^2 ,
86 considerando dos factores independientes: El porcentaje de agua en la mezcla y el tiempo
87 de reposo previo al procesamiento. El primer factor, porcentaje de agua (A), se evaluó en
88 tres niveles: 2 % (nivel -1), 3.5% (nivel 0) y 5 % (nivel +1). El segundo factor, tiempo de
89 reposo (B), también se evaluó en tres niveles: 30 minutos (nivel -1), 45 minutos (nivel 0)
90 y 60 minutos (nivel +1). Estas combinaciones dieron lugar a un total de nueve
91 tratamientos experimentales, los cuales fueron identificados mediante la codificación
92 factorial correspondiente (por ejemplo, A-1B-1, A0B+1, etc.) para facilitar su análisis
93 estadístico posterior.

94 El fraccionamiento en seco de la quinoa se llevó a cabo utilizando un molino de
95 rodillos ajustado a una abertura de espesor final entre 0.1 mm- 0.5 mm (dependiendo de
96 las características específicas del equipo y de la textura final deseada para las fracciones);
97 de esa manera se realizó la desintegración controlada de los granos acondicionados
98 mediante la aplicación de fuerzas mecánicas precisas (Opazo-Navarrete et al., 2018). A
99 partir de esta operación, se obtuvo un material heterogéneo compuesto por grits de
100 almidón, fracciones diferenciadas del germen y el pericarpio, tal como lo señalan estudios
101 previos en pseudocereales (Ballester-Sánchez et al., 2020; Solaesa et al., 2020).
102 Finalmente, este proceso facilitó la separación eficiente de componentes en las etapas

posteriores de secado, tamizado y envasado, técnicas ampliamente utilizadas en la obtención de ingredientes funcionales (Fig. 1).

Figura 1

Diagrama del proceso de molienda en seco y separación de fracciones del grano de quinua



Nota: Ilustra el flujo del proceso de molienda en seco de la quinua, desde la recepción, acondicionamiento del grano hasta la obtención y caracterización de las fracciones principales: almidón y germen.

El rendimiento de los diferentes tratamientos se calculó mediante la ecuación de Ray et al., (2021):

$$\text{Rendimiento de molienda (\%)} = \frac{\text{molienda final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Relación entre el peso de fracción obtenido y el peso total de quinua procesada.

2.4. Caracterización general de las fracciones

2.4.1. Análisis de color

Las fracciones obtenidas tras la molienda en rodillos fueron analizadas con el sistema de coordenadas CIE-Lab* el cual permite describir el color en términos de

luminosidad (L^*), componente rojo-verde (a^*) y componente amarillo-azul (b^*) (Mufari et al., 2018), fue procesado y visualizado mediante scripts en Python- OpenCV.

2.4.2. Análisis fisicoquímico

Se determinaron según los criterios de calidad establecidos en la norma técnica peruana (NTP): humedad NTP 205.037:1975, ceniza NTP 205:038:1975, grasa NTP 206.017:1981, fibra NTP 205.003:1980 y proteínas totales por el método Kjeldahl NMX-F-068-S-1980. Los compuestos fenólicos totales se determinaron por el método ISO 14502-1:2005, capacidad antioxidante método ABTS y perfil de ácidos grasos según el método AOAC 996.06:2019.

2.5. Análisis estadístico

El procesamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos se realizaron utilizando el lenguaje de programación Python (versión X.X) y el análisis de varianza (ANOVA) con *Statsmodels*.

3. Resultados y discusiones

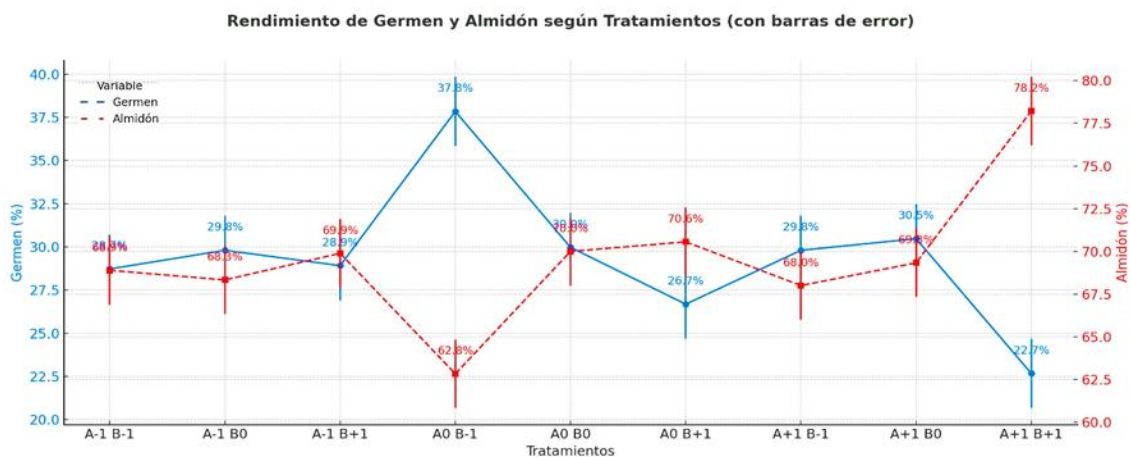
La evaluación de la materia prima evidenció que los granos de quinua presentaron una calidad tecnológica óptima, cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana (NTP) 205.062:2021; se observó que presentaron un color uniforme y una textura firme, características esenciales para asegurar un producto de calidad. El aroma fue natural y fresco, el sabor resultó característico, sin características amargas asociadas a la presencia de saponinas. Además, se encontró una mínima presencia de granos dañados y una ausencia de impurezas como piedras o materiales extraños. El contenido de humedad presentó $12.6 \pm 0.6 < 13\%$, lo que garantiza la óptima condición del grano para las etapas posteriores de acondicionamiento y fraccionamiento en seco.

3.1. Rendimiento

El rendimiento del germen y almidón en la quinua es un factor clave en su fraccionamiento industrial, ya que determina la eficiencia en la obtención de sus componentes con alto valor agregado.

Figura 2

Rendimiento de la fracción de germen y almidón



Nota: Rendimiento del germen y del almidón en función de los factores A y B. Las barras de error representan la desviación estándar de cada tratamiento.

La **Figura 2** muestra que el mayor rendimiento de germen se obtuvo con el tratamiento A0 B-1 (37.8%), aunque su desviación estándar indica una variabilidad; así mismo el porcentaje de agua ($p = 0.017813$) y el tiempo de reposo ($p = 0.031802$) tienen un efecto significativo en su fraccionamiento de germen, mientras que su interacción no es relevante ($p = 0.420347$). Esto sugiere que ambos factores afectan la separación del germen de manera independiente (Ballester-Sánchez et al., 2020; Assatory et al., 2019). Investigaciones previas han demostrado que la recuperación del germen en la quinua depende de factores como la humedad del grano, el método de molienda y las condiciones de separación (Zhu & Wang, 2019; Opazo-Navarrete et al., 2018; Gonzales et al., 2021). En particular, la humedad óptima del grano mejora la eficiencia de extracción del germen sin afectar negativamente la calidad del almidón residual (Martínez et al., 2020). Mientras

que el mayor rendimiento de almidón fue A+1 B+1 (78.2%), con una desviación estándar baja, lo que sugiere estabilidad en el proceso. El análisis estadístico muestra que el tiempo de reposo tiene un efecto significativo en el almidón de quinua ($p = 0.023367$), mientras que el porcentaje de agua no presenta un impacto relevante ($p = 0.202071$). Además, la interacción entre ambos factores es significativa ($p = 0.044361$), lo que indica que su combinación afecta el proceso de fraccionamiento de almidón (Ballester-Sánchez et al., 2020; Assatory et al., 2019).

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que destacan que el tiempo de reposo influye en la eficiencia de separación de fracciones en pseudocereales, mejorando la separación de las fracciones al optimizar la hidratación diferencial de los componentes (Assatory et al., 2019, Opazo-Navarrete et al., 2018 Roa, 2015). Por lo tanto, optimizar este parámetro puede mejorar el rendimiento del almidón (Villanueva-Flores, 2012; Mufari et al., 2018).

Los grits de almidón representan una materia prima de gran relevancia en diversas industrias debido a sus propiedades funcionales. Su capacidad para formar películas delgadas y biodegradables las hace ideales para aplicaciones en envases sostenibles, reduciendo la dependencia de plásticos sintéticos (Mota et al., 2021). Además, en la industria alimentaria, estos grits pueden emplearse como agentes espesantes, estabilizadores y texturizantes en una variedad de productos procesados (Ballester-Sánchez et al., 2020). En el ámbito farmacéutico, se utilizan en la formulación de cápsulas y películas comestibles para la liberación controlada de fármacos (Opazo-Navarrete et al., 2018). La versatilidad de los grits de almidón radica en su compatibilidad con otros biopolímeros y su facilidad de modificación química y estructural, lo que amplía su aplicabilidad en sectores como el biomédico y el textil (Solaesa et al., 2020). Su

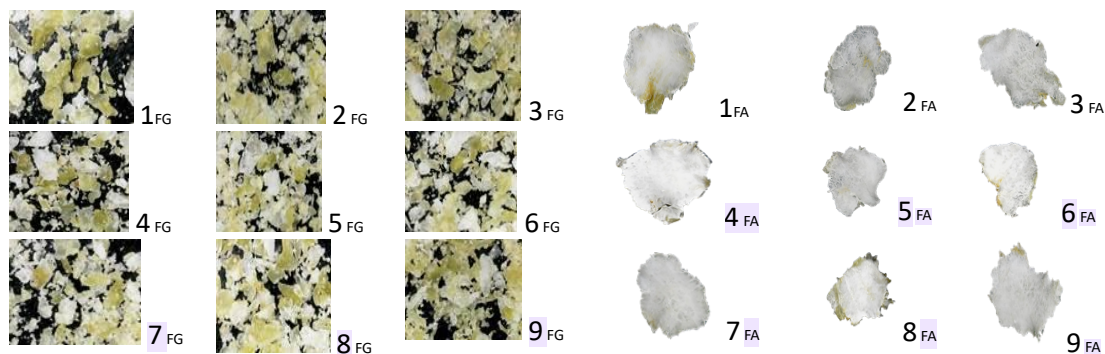
aprovechamiento eficiente puede contribuir al desarrollo de materiales innovadores y ecológicos, fortaleciendo la economía circular y la sostenibilidad industrial (FAO, 2013).

3.2. Color

El color en el germen es crucial porque es un indicador clave de su calidad, fresca y atractivo visual, factores determinantes para la aceptación del consumidor y el valor comercial del producto.

Figura 3

Imágenes representativas de los 9 tratamientos de la fracción germen y fracción almidón de quinua



Nota: Las imágenes 1 a 9 muestran las variaciones en la apariencia de la fracción germen (FG) y fracción almidón (FA) de quinua según el porcentaje de agua A, el tiempo de remojo B: 1(A₋₁ - B₋₁), 2(A₋₁ - B₀), 3(A₋₁ - B₊₁), 4(A₀ - B₋₁), 5(A₀ - B₀), 6(A₀ - B₊₁), 7(A₊₁ - B₋₁), 8(A₊₁ - B₀), 9(A₊₁ - B₊₁).

Tabla 2

Parámetros de color CIELAB y cromaticidad (C*) de la fracción germen y almidón de quinua obtenido por molienda seca bajo diferentes condiciones de humedad y tiempo de remojo.

		Fracción GERMEN								Fracción ALMIDÓN							
Factores		L*		a*		b*		Cromaticidad C*		L*		a*		b*		Cromaticidad C*	
A-1	B-1	69.13	± 6.68	-2.57	± 0.49	9.63	± 2.02	9.97	± 2.06	96.53	± 3.06	-0.18	± 0.20	1.09	± 0.83	1.10	± 0.85
A-1	B 0	70.42	± 4.85	-3.24	± 0.60	11.12	± 2.52	11.58	± 2.58	95.89	± 4.39	-0.20	± 0.20	0.46	± 0.52	0.50	± 0.53
A-1	B+1	71.58	± 2.14	-2.87	± 0.19	9.52	± 1.24	9.84	± 2.31	96.63	± 3.21	-0.18	± 0.12	0.51	± 0.24	0.54	± 0.27
A 0	B-1	74.77	± 1.43	-2.80	± 0.14	9.29	± 0.61	10.01	± 0.74	96.27	± 0.90	-0.09	± 0.01	0.35	± 0.05	0.36	± 0.05
A 0	B 0	72.94	± 1.76	-2.83	± 0.21	9.74	± 0.77	10.98	± 1.89	95.18	± 2.88	-0.10	± 0.07	0.30	± 0.20	0.32	± 0.21
A 0	B+1	67.96	± 3.46	-2.18	± 0.40	7.15	± 1.27	6.82	± 1.77	97.45	± 1.53	-0.08	± 0.12	0.20	± 0.60	0.21	± 0.61
A+1	B-1	74.53	± 2.14	-2.17	± 0.20	6.69	± 0.74	7.16	± 1.53	96.91	± 2.76	-0.15	± 0.11	0.35	± 0.25	0.38	± 0.27

A+1	B 0	78.56	± 1.58	-2.94	± 0.21	10.41	± 0.58	10.81	± 2.98	97.83	± 3.15	-0.14	± 0.21	0.46	± 0.64	0.48	± 0.68
A+1	B+1	70.19	± 4.06	-3.36	± 1.05	11.08	± 4.63	11.58	± 4.73	98.10	± 3.78	-0.06	± 0.11	0.25	± 0.22	0.25	± 0.24

205

206 **Nota:** Los valores de luminosidad (L^*), coordenada verde-rojo (a^*), coordenada azul-amarillo
207 (b^*) y cromaticidad (C^*) se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los factores A y B
208 representan el porcentaje de agua A (-1,0, +1) y el tiempo de remojo B (-1,0, +1).

209 Los resultados obtenidos en la medición de los parámetros CIELAB y la
210 cromaticidad (C^*) del germen de quinua indican una notable variabilidad en el color del
211 producto obtenido mediante molienda seca (**Fig.3**), consistente con la diversidad genética
212 de la quinua y la distribución heterogénea de sus compuestos bioactivos (Repo-Carrasco-
213 Valencia et al., 2010), el tratamiento A 0 B-1 destaca por su equilibrio entre luminosidad
214 (74.77 ± 1.43) y baja dispersión cromática ($C^* = 10.01 \pm 0.74$) (**Tabla2**), lo que lo
215 posiciona como una opción óptima para obtener un producto homogéneo y visualmente
216 atractivo, ideal para aplicaciones industriales (Vilche et al., 2003). La variabilidad
217 observada en los valores de L^* , a^* y b^* refleja diferencias en el brillo y el matiz, dado
218 que este método favorece al germen en la preservación de las propiedades cromáticas y
219 estructurales, minimizando el uso de agua y evitando alteraciones térmicas que podrían
220 afectar su calidad nutricional y sensorial (James-Lee & Saricoban, 2020). Los
221 tratamientos con mayores tiempos de remojo y porcentajes de agua más elevados tienden
222 a presentar una mayor claridad (L^*) (Vega-Gálvez et al., 2014). Sin embargo, valores
223 elevados de cromaticidad, como los observados en el tratamiento de A+1 B0($C^* = 10.8$
224 ± 3.0) (**Tabla2**), también implican una mayor dispersión de color, lo que afecta la
225 homogeneidad del producto final.

226

227

Los parámetros de color CIELAB (L, a, b) y la cromaticidad (C) del almidón de quinoa en forma de grits reflejan una alta calidad visual (**Fig 3**) comparable con almidones comerciales, con valores de L* entre 95.18 y 98.10 (**Tabla2**), indicativos de un almidón altamente purificado, comparable a lo reportado en estudios de fracción de pseudocereales (García et al., 2021). La tendencia negativa de a* (-0.20 a -0.06) refleja una leve inclinación hacia tonos verdosos, mientras que los valores bajos de b* (0.20 a 1.09) evidencian una débil presencia de matices amarillos (**Tabla 2**), características asociadas a almidones de alta calidad y mínima contaminación de otros compuestos (Pérez et al., 2019). La cromaticidad C* (0.21 a 1.10) confirma esta baja saturación de color, alineada con la pureza del almidón obtenido. Entre todos los tratamientos, A+1 B+1 se destaca como el mejor, alcanzando el valor más alto de claridad ($L^* = 98.10 \pm 3.78$) y la menor tendencia hacia la coloración ($a^* = -0.06 \pm 0.11$, $b^* = 0.25 \pm 0.24$) (**Tabla 2**), lo que indica una mayor blancura y uniformidad cromática. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que resaltan la influencia del fraccionamiento en seco en las propiedades ópticas de almidones de cereales y pseudocereales (Zhang et al., 2020), consolidando la eficacia de esta metodología para obtener productos de alta calidad.

3.3. Análisis de los componentes separados

El fraccionamiento en seco del germen y el almidón de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) permitió obtener dos fracciones con características composicionales distintas, como se muestra a continuación.

Tabla 3

Composición proximal de las fracciones de quinoa y comparación con otros estudios.

Muestra/Análisis	Carbohidratos (g/100g)	Energía Total (Kcal/100g)	Humedad (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Proteínas Totales (g/100g)	Grasa (g/100g)	Referencias
------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------	---------------------	----------------------------------	-------------------	-------------

Fracción Almidón	77.34 ±0.17	341.22±1.21	11.12 ±0.026	4.6 ±0.1	6.12 ±0.1	0.82 ±0.1	
Fracción Germen	38.23 ±1.39	400.68 ±	12.13 ±0.025	3.95 ±0.025	32.89±0.21	13.37 ±1.38	
Quinoa (Quessentials Pvt. Ltd.)	-	-	9.95 ±0.04	2.14 ±0.08	16.09±0.29	6.89 ±0.17	Ray, et al., (2021)
Fracción media (Quinoa cv Titicaca)	41.0 ±1.0	425.0 ±5.0	9.74 ±0.11	3.46 ±0.63	23.54 ±1.50	10.96 ±0.80	Solaesa, Á. G., et al. (2020)
Fracción molida de germen	35.02±0.95	-	12.99±0.03	3.87 ±0.08	27.98 ±0.18	16.83 ±0.13	Ray, et al., (2021)
Fracción de almidón (Riobamba)	-	-	12.3 ±0.04	1.23 ±0.10	4.86 ±0.13	1.51 ±0.21	Opazo-Navarrete, M., et al. (2018)
Fracción de almidón (Atlas)	-	-	11.0 ±0.22	0.93 ±0.08	6.08 ±0.17	1.43 ±0.11	Opazo-Navarrete, M., et al. (2018)

250 La **Tabla 3** permite comparar la composición proximal de las fracciones obtenidas
251 por molienda seca con la quinoa y con resultados de otros trabajos, resaltando similitudes
252 y diferencias en cuanto a la calidad nutricional de cada fracción.

253 Los resultados obtenidos indican que el germen presenta un mayor contenido de
254 grasa (13.37 g/100g) y energía total (400.68 Kcal/100g), mientras que el almidón destaca
255 por su mayor contenido de carbohidratos (77.34 g/100g) y ceniza (4.6 g/100g) (**Tabla 3**).
256 Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan que la quinoa tiene
257 una distribución desigual de sus macronutrientes, donde la mayor proporción de
258 carbohidratos se encuentra en el endospermo y el almidón, mientras que los lípidos y
259 proteínas se concentran en el germen (Opazo-Navarrete et al., 2018; Solaesa et al., 2020).
260 En línea con estos estudios, nuestros resultados confirman que el almidón es la fracción
261 más rica en carbohidratos, lo que lo convierte en un recurso clave para aplicaciones
262 alimentarias e industriales.

Por otro lado, el contenido de proteínas en ambas fracciones es elevado (6.12g/100g en el almidón y 32.89 g/100g en el germen), lo que respalda la idea de que la quinua es una fuente de proteínas de alta calidad en comparación con otros cereales (Ballester-Sánchez et al., 2020; FAO, 2013). Esto es relevante, ya que la quinua ha sido catalogada como un pseudocereal con un perfil proteico equilibrado, conteniendo todos los aminoácidos esenciales (Alvarez-Jubete et al., 2010). El mayor contenido de grasa en el germen es consistente con estudios previos que reportan que la mayoría de los lípidos de la quinua se concentran en esta fracción (Opazo-Navarrete et al., 2018). Este hallazgo es importante para la valorización del germen, ya que podría utilizarse en la producción de aceites ricos en ácidos grasos esenciales, contribuyendo a la industria alimentaria y cosmética (Mufari et al., 2018). La diferencia en la energía total entre ambas fracciones se debe al mayor contenido de grasa en el germen, dado que los lípidos proporcionan una mayor cantidad de calorías por gramo en comparación con los carbohidratos y proteínas (Assatory et al., 2019).

El mayor contenido de cenizas en el almidón (4.6 g/100g) sugiere que esta fracción retiene una mayor cantidad de minerales esenciales, lo cual es coherente con la literatura existente que señala que el perispermo de la quinua concentra elementos como calcio, magnesio y zinc (Quenta & Verapinto, 2017; Dakhili et al., 2019). Esta propiedad hace que el almidón de quinua sea una opción atractiva para el desarrollo de alimentos funcionales.

Tabla 4

Análisis de perfil de ácidos grasos del almidón y germen de quinua

Perfil de Ácidos Grasos	FRACCIÓN ALMIDÓN		FRACCIÓN GERMEN	
Acid. Mirístico (C14:0) (g/100g de muestra)	0.012	± 0.003	-	
Acid. Palmítico (C16:0) (g/100g de muestra)	1.127	± 0.006	0.115	± 0.0071

6	Acid. Palmitoleico (C16:1n7) (g/100g de muestra)	0.011	±	0.001	0.195	±	0.0071
	Acid. Esteárico (C18:0) (g/100g de muestra)	0.066	±	0.002			
	Acid. Oleico (C18:1 n9) (g/100g de muestra)	3.200	±	0.010	0.305	±	0.0071
	Acid. Vaccénico(C18: n7) (g/100g de muestra)	0.012	±	0.001			
	Acid. Linoleico (18:2 n6) (g/100g de muestra)	6.365	±	0.005	0.705	±	0.0071
	Acid. Linolenico(18:2 n6) (g/100g de muestra)	0.638	±	0.003	0.06	±	0.0000
	Acid. Eicosatrienoico	-			0.07	±	0.0141
	Acid. Araquídico C20:0 (g/100g de muestra)	0.061	±	0.001		-	
	Acid. Gondolico (C20:1 n9) (g/100g de muestra)	0.189	±	0.002		-	
	Acid. Behemico (C22:0) (g/100g de muestra)	0.069	±	0.001		-	
	Acid. Erucico (C22:1n9) (g/100g de muestra)	0.159	±	0.001		-	
	Acid. Lignocerico (C24:0) (g/100g de muestra)	0.019	±	0.001		-	
	Acid. Nervonico (C24:1n9) (g/100g de muestra)	0.338	±	0.001		-	
	Grasa total (g/100gde muestra original) (expresado como triglicérido equivalente)	-			1.45	±	0.0000
4	Grasas saturadas (g/100 de muestra original)	-			0.115	±	0.0071
	Grasas no saturadas (g/100 de muestra original)	-			1.335	±	0.0071
	Grasas monoinsaturadas (g/100 de muestra original)	-			0.5	±	0.0141
	Grasas poliinsaturadas (g/100 de muestra original)	-			0.835	±	0.0071
	Total, de omega 3 (g/100 de muestra original)	-			0.06	±	0.0000
	Total, de omega 6 (g/100 de muestra original)	-			0.705	±	0.0071
	Total, de omega 9 (g/100 de muestra original)	-			0.305	±	0.0071

3 285 **Nota:** Los valores representan la media ± desviación estándar de tres repeticiones y están expresados en
286 g/100g de muestra

287 El análisis del perfil de ácidos grasos mostrada en la **tabla 4** señala que existe
288 diferencias significativas entre el almidón y el germen de quinua. El germen de quinua
289 presenta un contenido total de grasa de 1.45 g/100g de muestra, con una mayor proporción
290 de grasas insaturadas (1.335 g/100g), de las cuales 0.5 g/100g corresponden a grasas
291 monoinsaturadas y 0.835 g/100g a grasas poliinsaturadas. Este perfil coincide con
292 estudios previos que señalan que la mayor parte de los lípidos de la quinua se encuentran
293 concentrados en el germen y son predominantemente insaturados, lo que favorece su uso

294 como fuente de ácidos grasos esenciales (Opazo-Navarrete et al., 2018; Mufari et al.,
295 2018).

296 Por otro lado, el almidón presenta un contenido lipídico significativamente menor,
297 pero con una mayor concentración de ácido oleico (3.200 g/100g) y linoleico (6.365
298 g/100g). Esto indica que, aunque el almidón es una fracción rica en carbohidratos, retiene
299 una cantidad considerable de ácidos grasos insaturados, lo que podría favorecer su
300 aplicación en productos funcionales (Ballester-Sánchez et al., 2020; Mota et al., 2021).

301 En la **tabla 5** el germen de quinua presenta un alto contenido de compuestos
302 fenólicos (1890.00 ± 61.054 µg equiv. de ácido gálico/g) y una capacidad antioxidante
303 significativa (4.51 ± 0.305 µmol equiv. de Trolox/g).

304 **Tabla 5**

305 *Análisis Compuestos fenólicos total, Capacidad antioxidante equivalente de Trolox*
306 *(TEAC) por el ensayo ABTS de la Fracción Germen.*

Ensayo		Unidades
Compuestos fenólicos totales	µg equivalentes de ácido gálico/g de aislado proteico de quinua	1890.00 ± 61.054
Capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) por el ensayo ABTS	µmol equivalentes de Trolox/g de aislado proteico de quinua	4.51 ± 0.305

307 **Nota:** Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones

308 Esto confirma que el germen es una fuente importante de antioxidantes naturales,
309 lo que concuerda con estudios que destacan su potencial en la prevención de
310 enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (FAO, 2013; Villanueva-
311 Flores, 2012). Investigaciones previas han señalado que los polifenoles y antioxidantes
312 presentes en la quinua pueden mejorar la estabilidad de los alimentos y aportar beneficios
313 para la salud, favoreciendo su aplicación en la industria de alimentos funcionales y

nutracéuticos (Ballester-Sánchez et al., 2020; Mufari et al., 2018). La valorización del germen de quinua a través de procesos de extracción optimizados podría potenciar su uso en productos con alto valor agregado (Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018; Assatory et al., 2019).

4. Conclusiones

El fraccionamiento en seco de la quinua se presenta como una técnica eficiente y sostenible para la obtención de fracciones diferenciadas de alto valor agregado, reduciendo el consumo de agua y eliminando el uso de solventes químicos. Los resultados evidenciaron que el ajuste del porcentaje de agua y el tiempo de reposo influyen directamente en el rendimiento y calidad de las fracciones. El germen destacó por su alto contenido de proteínas (32.89 g/100g), lípidos, compuestos bioactivos y notable capacidad antioxidante, cualidades que lo posicionan como un ingrediente funcional clave para enriquecer dietas y desarrollar alimentos innovadores. Por su parte, el almidón mostró una elevada concentración de carbohidratos (77.34 g/100g), minerales y una sobresaliente estabilidad cromática, atributos esenciales para su incorporación en sistemas industriales. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para el escalamiento del proceso y la creación de ingredientes innovadores de alto valor agregado, consolidando a la quinua como un recurso estratégico en la industria alimentaria.

5. Referencias

- Abugoch James, L. E. (2009). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. In Advances in Food and Nutrition Research* (1st ed., Vol. 58, Issue 09). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- AOAC. (1997). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th ed., Gaithersburg, MD, USA. Assatory,

- 339 Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2018). *Composition, protein profile and*
340 *rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients.* *Foods*, 7(5).
341 <https://doi.org/10.3390/foods7050073>
- 342 Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). *Nutritive value of pseudocereals*
343 *and their increasing use as functional gluten-free ingredients.* *Trends in Food*
344 *Science and Technology*, 21(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- 345 Assatory, A., Vitelli, M., Rajabzadeh, A. R., & Legge, R. L. (2019). *Dry fractionation*
346 *methods for plant protein, starch and fiber enrichment: A review.* *Trends in Food*
347 *Science and Technology*, 86(August 2018), 340–351.
348 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.006>
- 349 Ballester-Sánchez, J., Fernández-Espinar, M. T., & Haros, C. M. (2020). *Isolation of red*
350 *quinoa fibre by wet and dry milling and application as a potential functional bakery*
351 *ingredient.* *Food Hydrocolloids*, 101, 105513.
352 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105513>
- 353 Ballester Sánchez, J. (2020). *Fraccionamiento de quinoa por molienda seca y húmeda para*
354 *la formulación de alimentos con alto valor añadido: estudio nutricional y*
355 *evaluación de propiedades saludables.* [Tesis doctoral, Universitat de València].
- 356 Cárdenas-Hernández, A., Gómez-Aldapa, C. A., Velazquez, G., & Aguirre-Loredo, R. Y.
357 (2021). *Propiedades reológicas de quinua (Chenopodium quinoa Wild) obtenidas*
358 *mediante molienda abrasiva y tratamiento térmico.* *Información tecnológica*, 32(6),
359 53-64. DOI: 10.4067/S0718-07642021000600053.
- 360 Campos-Rodríguez, Acosta-Coral y Paucar-Menacho (2022), titulado "Quinua
361 (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del
362 grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación" DOI:
363 10.17268/sci.agropecu.2022.019
- 364
- 365 Condezo-Hoyos, L., Abderrahim, F., Arriba, S. & Gonzalez, M. (2015). *A novel, micro,*
366 *rapid and direct assay to assess total antioxidant capacity of solid foods.* *Talanta*,
367 138, 108-116. doi: 10.1016/j.talanta.2015.01.043
- 368 Condori, Y. V. (2016). *Determinación de parámetros en el proceso de elaboración de*
369 *hojuelas pre cocidas en tres variedades de quinua.* 76.
- 370 Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaei-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L.
371 (2019). *Quinoa protein: Composition, structure and functional properties.* *Food*
372 *Chemistry*, 299(July), 125161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- 373 FAO. (2013). *Valor nutricional de la quinua. ¿Qué Es La Quinua?*, 2–5.
374 http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/?no_mobile=1
- 375 García, M., López, R., & Fernández, A. (2021). *Optical properties and quality assessment*
376 *of starches from Andean pseudocereals.* *Journal of Cereal Science*, 98(3), 103246.
377 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103246>
- 378 Gonzales, R., Pérez, L., & Torres, J. (2021). *"Optimization of quinoa fractionation*
379 *processes for industrial applications."* *Food Science and Technology International*,
380 27(3), 189-201.
- 381 Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2021). *Norma Técnica Peruana NTP*
382 *205.062:2021. Quinoa. Requisitos de calidad.* INACAL, Perú.
- 383 Martínez, A., Rodríguez, P., & Hernández, C. (2020). *"Influence of moisture content on*
384 *quinoa germ separation."* *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(9), 2563-
385 2571.
- 386 Mendoza Rojas, J., & Tineo Morote, D. (2022). *Fraccionamiento en seco de quinua blanca*
387 *perlada mediante molienda y clasificación neumática.* *Revista de Investigación en*
388 *Tecnología de Alimentos*, 10 (1), 75-89.

- 389 Mota, M. F. S., Waktola, H. D., Nolvachai, Y., & Marriott, P. J. (2021). *Gas chromatography – mass spectrometry for characterisation, assessment of quality and authentication of seed and vegetable oils*. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 138, 116238. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2021.116238>
- 393 Mufari, J. R., Miranda-Villa, P. P., & Calandri, E. L. (2018). *Quinoa germ and starch separation by wet milling, performance and characterization of the fractions*. *Lwt*, 96, 527–534. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.010>
- 396 Opazo-Navarrete, M., Tagle Freire, D., Boom, R. M., Janssen, A. E. M., & Schutyser, M. A. I. (2018). *Dry fractionation of quinoa sweet varieties Atlas and Riobamba for sustainable production of protein and starch fractions*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 74, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.009>
- 400 Pérez, C., Torres, D., & Molina, J. (2019). *Characterization of starches obtained through dry fractionation methods: A review*. *Food Chemistry*, 289, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.047>
- 403 Python Software Foundation. *Python Language Reference, version X.X*. Available at: <https://www.python.org/>
- 405 Quenta, L., & Verapinto, G. (2017). *Obtención De Harina De Quinoa Malteada (Chenopodium Quinoa Willd) Y Suplementada En Minerales Esenciales: Fierro, Calcio, Magnesio Y Zinc*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3168/IQqumalm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 410 Ray, A., Inamdar, AA, Sakhare, SD y Srivastava, AK (2021). *Desarrollo de un proceso físico para el fraccionamiento de la quinua y la separación selectiva del germen con estudios físicos, químicos y SEM*. *LWT*, 141, 110957. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110957>
- 414 Roa, D. F. (2015). *Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante*. *Tesis de Doctorado*, 178.
- 417 Solaesa, Á. G., Villanueva, M., Vela, A. J., & Ronda, F. (2020). *Protein and lipid enrichment of quinoa (cv. Titicaca) by dry fractionation. Techno-functional, thermal and rheological properties of milling fractions*. *Food Hydrocolloids*, 105(February). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105770>
- 421 Taylor, J. (2020). *Elena White y el papel de la investigación*. *Journal of Adventist Education*, 27–34. <https://jae.adventist.org/es/2020.82.2.6>
- 423 Turpo Chaparro, J. (2017). *Las presuposiciones filosóficas de la investigación teológica (bíblica y sistemática)*. *Apuntes Universitarios*, 7(1). <https://doi.org/10.17162/au.v7i1.158>
- 426 Villanueva-Flores, R. (2012). *Compuestos importantes para la salud encontrados en los cereales enteros*. *Ingeniería Industrial*, 0(030), 207. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2012.n030.224>
- 429 Zhang, X., Wang, Y., & Li, H. (2020). *Influence of dry milling on the functional and structural properties of cereal starches*. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 2120-2131. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14456>
- 432 Zhu, F., & Wang, Y. (2019). *"Quinoa germ and its applications in food industry."* *Food Research International*, 121, 432-440.