



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE 3  
VARIEDADES *Chenopodium quinoa* Willd DE ANDAHUAYLAS**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**AUTOR**

**Br. BETSY SURI RAMOS PACHECO**

**ASESOR:**

**Dr. DAVID CHOQUE QUISPE**

**CÓDIGO ORCID: [0000-0003-4002-7526](https://orcid.org/0000-0003-4002-7526)**

**FINANCIADO POR LA UNSAAC – PROGRAMA YACHAYNINCHIS  
WIÑARINANPAQ**

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: "CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE 3 VARIEDADES *Chenopodium quinoa Willd* DE ANDAHUAYLAS "presentado por: Br. BETSY SURI RAMOS PACHECO con Nro. de DNI: 44230647, para optar el título profesional/grado académico de MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de JULIO de 2024



Firma

Post firma... *B. Nicolás Cáceres Huambro*

Nro. de DNI: 23879771

ORCID del Asesor... *0009 - 0005 - 4702 - 5605*

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: 27259:364339615

NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE 3 VARIETADES DE Chen**

AUTOR

**BETSY SURI RAMOS PACHECO**

RECUENTO DE PALABRAS

**26566 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**142372 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**120 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**967.2KB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 3, 2024 12:01 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 3, 2024 12:03 PM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

## **DEDICATORIA**

Con gratitud para mi familia por su apoyo incondicional

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Escuela de Posgrado, a su plana docente.

A la Universidad Nacional José María Arguedas.

A los distinguidos miembros del jurado, por acceder amablemente a formar parte del mismo.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Situación problemática.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problemas específicos .....	15
1.3. Justificación de la investigación .....	16
1.4. Objetivos de la investigación.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos .....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Bases teóricas .....	19
2.1.1. Quinoa .....	19
2.1.2. Clasificación taxonómica de la quinoa .....	19
2.1.3. Composición nutricional de la quinoa .....	20
2.1.4. Morfología del grano .....	20
2.1.5. Variedades de quinoa .....	21
2.1.5.1. Quinoa blanca .....	22
2.1.5.2. Quinoa negra.....	22
2.1.5.3. Quinoa roja .....	22
2.1.6. Germinación de semillas .....	23
2.1.7. Proceso de germinación .....	23
2.1.8. Propiedades fisicoquímicas .....	24
2.1.9. Propiedades térmicas.....	25
2.1.10. Propiedades estructurales .....	25
2.1.11. Propiedades reológicas.....	26

2.2.	Marco conceptual.....	27
A.	Color.....	27
B.	Actividad de agua .....	27
C.	Proteína.....	27
D.	Fibra .....	27
E.	Micronutrientes minerales.....	28
F.	Temperatura de gelatinización.....	28
G.	Estabilidad térmica.....	28
H.	Viscosidad .....	28
I.	Esfuerzo de corte .....	29
J.	Tasa de corte o deformación.....	29
K.	Comportamiento al flujo: .....	29
2.3.	Antecedentes empíricos de la investigación.....	29
2.3.1.	Internacional .....	29
2.3.2.	Nacional.....	39
3.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	41
3.1.	Hipótesis.....	41
3.1.1.	Hipótesis general.....	41
3.1.2.	Hipótesis específicas .....	41
3.2.1.	Variable independiente.....	42
3.2.2.	Variable dependiente.....	42
3.3.	Operacionalización de variables .....	43
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
4.1.	Lugar de ejecución.....	44
4.2.	Tipo y nivel de investigación.....	44
4.3.	Unidad de análisis.....	44
4.4.	Técnicas de selección de muestra .....	44
4.5.	Técnicas de recolección de información .....	45
4.5.1.	Técnicas experimentales .....	45
A.	Acondicionamiento y germinación de granos de quinua .....	45
4.5.2.	Técnicas de análisis.....	46
4.5.2.1.	Propiedades fisicoquímicas .....	46
A.	Contenido de proteínas.....	46
B.	Contenido de fibra.....	47

C.	Micronutrientes minerales .....	47
D.	Color.....	47
E.	Actividad de agua .....	48
4.5.2.2.	Propiedades térmicas.....	48
A.	Temperatura y entalpía de gelatinización.....	48
B.	Estabilidad térmica.....	48
4.5.2.3.	Propiedades estructurales .....	48
4.5.2.4.	Propiedades reológicas.....	49
4.6.	Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	49
A.	Prueba de diferencia significancia .....	49
B.	Prueba de rangos múltiples.....	50
4.7.	Técnicas para demostrar verdad o falsedad de las hipótesis .....	50
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
5.1.	Componentes químicos .....	52
5.1.1.	Contenido de proteínas.....	52
5.1.2.	Contenido de fibra.....	53
5.1.3.	Micronutrientes minerales .....	54
5.2.	Propiedades físicas.....	56
5.2.1.	Color.....	56
5.2.2.	Actividad de agua .....	58
5.3.	Propiedades térmicas.....	60
5.3.1.	Temperatura y entalpía de gelatinización.....	60
5.3.2.	Estabilidad térmica.....	63
5.4.	Propiedades estructurales: Grupos funcionales .....	66
5.5.	Propiedades reológicas.....	68
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	72
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	73
	Apéndice 1: Datos y ANOVA de proteínas .....	85
	Apéndice 2: Datos y ANOVA de fibras.....	88
	Apéndice 3: Datos y ANOVA de micronutrientes minerales.....	91
	Apéndice 4: Datos y ANOVA de color.....	99
	Apéndice 5: Datos y ANOVA de actividad de agua.....	109
	Apéndice 6: Datos del comportamiento reológico.....	112



Apéndice 7: Panel fotográfico ..... 116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición nutricional de la quinua .....	20
<b>Tabla 2.</b> Diferencia de composición nutricional de variedades de quinua .....	23
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de las variables .....	43
<b>Tabla 4.</b> Modelos reológicos para fluidos no Newtonianos.....	49
<b>Tabla 5.</b> Matriz de diseño .....	51
<b>Tabla 6.</b> Contenido de proteínas de quinuas germinadas .....	52
<b>Tabla 7.</b> Contenido de fibras de quinuas germinadas .....	54
<b>Tabla 8.</b> Contenido de micronutrientes minerales de quinuas germinadas .....	55
<b>Tabla 9.</b> Color de quinuas germinadas .....	57
<b>Tabla 10.</b> Índices de blancura y color de quinuas germinadas .....	58
<b>Tabla 11.</b> Actividad de agua quinuas germinadas.....	59
<b>Tabla 12.</b> Parámetros reológicos y estadígrafos para quinua blanca .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología del grano de quinua.....	21
<b>Figura 2.</b> Fases del proceso de germinación.....	24
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo germinación de quinua .....	45
<b>Figura 3.</b> Temperatura y entalpía de gelatinización de Quinua Blanca a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h.....	61
<b>Figura 4.</b> Temperatura y entalpía de gelatinización de Quinua Negra a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h.....	62
<b>Figura 5.</b> Temperatura y entalpía de gelatinización Quinua Roja a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h.....	63
<b>Figura 6.</b> Estabilidad térmica de Quinua Blanca a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h .....	64
<b>Figura 7.</b> Estabilidad térmica de Quinua Negra a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h.....	65
<b>Figura 8.</b> Estabilidad térmica de Quinua Roja a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h.....	66
<b>Figura 9.</b> Grupos funcionales quinua a) Blanca, b) Negra, c) Roja.....	67
<b>Figura 10.</b> Curvas de viscosidad y esfuerzo de corte para a) Quinua blanca, b) Quinua negra, y c) Quinua roja .....	69

## RESUMEN

La germinación es una estrategia efectiva para mejorar la calidad nutricional y funcional de granos andinos como la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), ayuda a reducir los componentes antinutricionales y mejorar la digestibilidad y los aspectos sensoriales de los brotes, sin embargo, se desconoce el efecto en diferentes variedades. El objetivo del presente estudio fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas, germinadas a 0, 24, 48 y 72 horas. Se midió el color, actividad de agua, contenido de proteínas, fibra, micronutrientes minerales, temperatura y entalpía de gelatinización, estabilidad térmica, grupos funcionales, esfuerzo cortante y viscosidad aparente. Los resultados mostraron cambios en el color y contenidos de proteína, fibra y minerales por efecto de la germinación. Las temperaturas de gelatinización y estabilidad térmica aumentaron al prolongar la germinación. Los espectros IR evidenciaron disminución en la intensidad de grupos funcionales  $-CH-$ ,  $-CH_2-$ ,  $C-OH$ ,  $-OH$  y  $C-N$ . El comportamiento reológico fue no newtoniano, ajustándose al modelo de Herschel-Bulkley. En conclusión, la germinación produce cambios favorables en las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de variedades de quinua, lo cual permite mejorar su calidad nutricional y funcional relevantes para aplicaciones alimentarias, sin embargo, la magnitud de los efectos depende de la variedad y el tiempo de germinación.

**Palabras claves:** Quinua, germinación, grupos funcionales, temperatura de gelatinización, esfuerzo de corte.

## ABSTRACT

Germination is an effective strategy to improve the nutritional and functional quality of Andean grains such as quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.); it helps reduce anti-nutritional components and enhance the digestibility and sensory aspects of the sprouts; however, the effect on different varieties unknown. The objective of the present study was to characterize the physicochemical, thermal, structural and, rheological properties of three varieties of *Chenopodium quinoa* Willd from Andahuaylas, germinated at 0, 24, 48 and, 72 hours. Color, water activity, protein content, fiber, mineral micronutrients, gelatinization temperature and enthalpy, thermal stability, functional groups, shear stress, and apparent viscosity were measured. The results showed changes in color, protein, fiber, and mineral content due to germination. Gelatinization temperatures and thermal stability increased by prolonging germination. The IR spectra showed a decrease in the intensity of functional groups –CH–, CH<sub>2</sub>–, –C–OH, –OH, and –C–N. The rheological behavior was non-Newtonian, adjusting to the Herschel-Bulkley model. In conclusion, germination produces favorable changes in the physicochemical, thermal, structural, and rheological properties of quinoa varieties, which allows for improving their nutritional and functional quality relevant to food applications. However, the magnitude of the effects depends on the variety and germination time.

**Keywords:** Quinoa, germination, functional groups, gelatinization temperature, shear stress,

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), considerada como uno de los cultivos más antiguos de América; fue cultivada y consumida durante siglos por civilizaciones, hoy en día es apreciada en todo el mundo por su contenido de proteínas, vitaminas y minerales, así como su versatilidad en la cocina

La principal virtud de la quinua radica en su perfil nutricional y fuente de compuestos bioactivos, estos atributos hacen que sea considerado un superalimento, beneficioso para la salud, estas características son algunas de las razones para mejorar el consumo de quinua no solo como semillas sino también como ingrediente en diversas aplicaciones alimentarias, una alternativa sería los germinados.

La germinación es un método ampliamente practicado para mejorar el valor nutricional de las semillas. Incorpora una serie de eventos que comienza con la absorción de agua por la semilla seca y termina con el alargamiento del eje del embrión. Este proceso de germinación incrementa la biodisponibilidad de nutrientes, lo que hace que los germinados sean aún más nutritivos que la semilla cruda o cocida.

El objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas, así como el potencial nutricional de variedades de quinua germinadas cultivadas en la provincia de Andahuaylas.

## 1.1. Situación problemática

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un cereal alimenticio con alto contenido de nutrientes, inocuo y sostenible, considerado como una buena alternativa para la lucha contra el hambre y la desnutrición, estos aspectos junto al creciente interés de los consumidores por alimentos saludables han provocado un aumento continuo en la producción y consumo de quinua en todo el mundo (Campos-Rodriguez *et al.*, 2022; Pathan y Siddiqui, 2022; Contreras-Jiménez *et al.*, 2019;).

El interés del uso de la quinua en la industria alimentaria, se debe a su alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales, contenido de vitaminas, minerales y compuestos nutraceuticos (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019), no obstante su uso masivo e industrializado, requiere de sub productos con modificaciones estructurales, propiedades tecno-funcionales, térmicas y fisicoquímicas adecuadas para el procesamiento de alimentos, que mejoren la calidad nutricional y tecno funcional (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019; Jiménez *et al.*, 2019; Jan *et al.*, 2018). Estas propiedades podrían generarse a través de modificaciones físicas, químicas, biológicas y enzimáticas, siendo una de ellas la germinación.

La germinación resulta ser una alternativa de procesamiento de granos y semillas, por ser económico, fácil y eficiente para obtener nuevos productos alimenticios procesados biotecnológicamente a través del cual se incrementa la calidad, digestibilidad de las semillas y mejora la palatabilidad, al provocar modificaciones estructurales y generar nuevos compuestos con alta capacidad bioactiva y valor nutricional (Xing *et al.*, 2021; Jan *et al.*, 2018).

Durante la germinación se producen numerosos cambios bioquímicos que generan movilización, acumulación y metabolismo de nutrientes y otros fitoquímicos, además de la disminución del contenido de antinutrientes, produciendo productos beneficios para la salud (Pilco-Quesada *et al.*, 2020; Jiménez *et al.*, 2019).

Si bien la germinación de quinua se ha estudiado como estrategia para mejorar su calidad nutricional y funcional, son aún escasos los trabajos enfocados en variedades altoandinas, y ninguno ha realizado una caracterización integral de las propiedades de las harinas. Este conocimiento es clave para determinar la estabilidad, textura e idoneidad de las harinas en alimentos, que podrían limitar o promover su uso en la industria alimentarias. Por ejemplo, el comportamiento reológico permite conocer el manejo en pastas y emulsiones de las harinas, este comportamiento está ligado estrechamente a las propiedades térmicas como la entalpía de gelatinización, que son parámetros importantes al momento de su uso industrial (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019; Jan *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2019)

En ese sentido el objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la germinación en la caracterización de las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye la germinación en los componentes químicos (proteína, fibra y micronutrientes) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas?
- ¿Cómo influye la germinación en las propiedades físicas (color y actividad de agua) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas?



- ¿Qué modificaciones induce la germinación en las propiedades térmicas (estabilidad térmica, temperatura y entalpía de gelatinización) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas?
- ¿Qué cambios se generan por efecto de la germinación en los grupos funcionales de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas determinados mediante espectroscopía infrarroja?
- ¿Cómo se ve afectado las propiedades reológicas (viscosidad aparente y esfuerzo de corte) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas?

### **1.3. Justificación de la investigación**

La quinua es un grano que presenta una excelente calidad nutricional, distribución equilibrada de aminoácidos esenciales, buena fuente de minerales, compuestos fenólicos, fibra dietética y ácidos grasos poliinsaturados (Suárez-Estrella *et al.*, 2020; Alandia *et al.*, 2020), la presencia de estos componentes explican los posibles beneficios para la salud de las semillas de quinua al contribuir a la prevención de diversas enfermedades como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento (Tang y Tsao, 2017), estas características son algunas de las razones para mejorar el consumo de quinua no solo como semillas sino también como ingrediente en diversas aplicaciones alimentarias, como la germinación método que puede mejorar el valor nutricional y beneficios para la salud.

La germinación monitoreada se ha utilizado para generar granos y semillas mejorados nutricionalmente. La germinación ocurre en cuatro etapas fundamentales: (i) imbibición de agua, (ii) síntesis y activación de sistemas enzimáticos, (iii) degradación de sustancias de reserva y (iv) elongación de las células embrionarias y emergencia de la radícula a través del proceso de germinación, se producen cambios sustanciales en la composición bioquímica de

los granos: las reservas de almidón son transformadas por acción de la amilasa, que actúa sobre la superficie del gránulo y forma los poros; las fracciones que contienen nitrógeno se desplazan hacia oligopéptidos y aminoácidos libres, y la composición de aminoácidos también cambia. Los triglicéridos comienzan a hidrolizarse y cambia la proporción de ácidos grasos saturados/insaturados; la cantidad de factores antinutricionales disminuye significativamente y aumentan los compuestos bioactivos como fenoles, fitoesteroles, folatos y GABA (ácido  $\gamma$ -aminobutírico) (Guardianelli *et al.*, 2022; Lemmens *et al.*, 2019), asimismo existen varios trabajos donde se estudió el efecto de la germinación sobre diversos granos y semillas; sin embargo, existen pocos trabajos integrales que analicen cómo la germinación afecta las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de las harinas. Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue mejorar las características nutricionales y evaluar las diferencias entre los tiempos de germinación de las semillas de quinua blanca, roja y negra.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Caracterizar el efecto de la germinación en las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la germinación en los componentes químicos (proteína, fibra y micronutrientes) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.
- Determinar la influencia de la germinación en las propiedades físicas (color y actividad de agua) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas,

- Caracterizar el efecto de la germinación en las propiedades térmicas (estabilidad térmica, temperatura y entalpía de gelatinización) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.
- Identificar cambios inducidos por la germinación en los grupos funcionales de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas determinados mediante espectroscopía infrarroja.
- Evaluar el efecto de la germinación en las propiedades reológicas (viscosidad aparente y esfuerzo de corte) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Quinua

La quinua es un grano alimenticio, originario de los andes peruanos y de la región andina de América del Sur, territorio importante como centro de domesticación de plantas alimenticias, debido a la existencia de microclimas y diferencias altitudinales que dan origen a una diversidad de zonas agroecológicas (IICA, 2015).

La quinua es considerada un pseudocereal debido a su excelente perfil de nutrientes, las semillas presentan alto contenido de proteínas, compuestos bioactivos, así como vitaminas y minerales (Aguilar *et al.*, 2019; D'ambrosio *et al.*, 2017).

Estructuralmente, se compone de tres partes principales: el perispermo, el embrión o germen y el pericarpio o cáscara de la semilla. El perispermo es la porción principal de almacenamiento de almidón, el germen es la porción de almacenamiento de lípidos y, finalmente, la cáscara, también llamada salvado, se compone principalmente de celulosa y hemicelulosa (Ballester-Sánchez *et al.*, 2019)

#### 2.1.2. Clasificación taxonómica de la quinua

La clasificación taxonómica de la quinua se muestra a continuación:

**Reino:** *Plantae*

**División:** *Magnoliophyta*

**Clase:** *Magnoliopsida*

**Orden:** *Caryophyllales*

**Familia:** *Amaranthaceae*

**Género:** *Chenopodium*

**Especie:** *C. quinoa*

Fuente: Abugoch (2009); FAO (2021).

### 2.1.3. Composición nutricional de la quinua

La composición nutricional de la quinua registrada en la literatura se muestra en la Tabla 1. El contenido de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos se expresan en g/100g base seca (b.s.), mientras que la humedad en g/100g base húmeda (b.h.). Asimismo, la buena calidad nutricional de la quinua se debe principalmente a su alto contenido y calidad proteica.

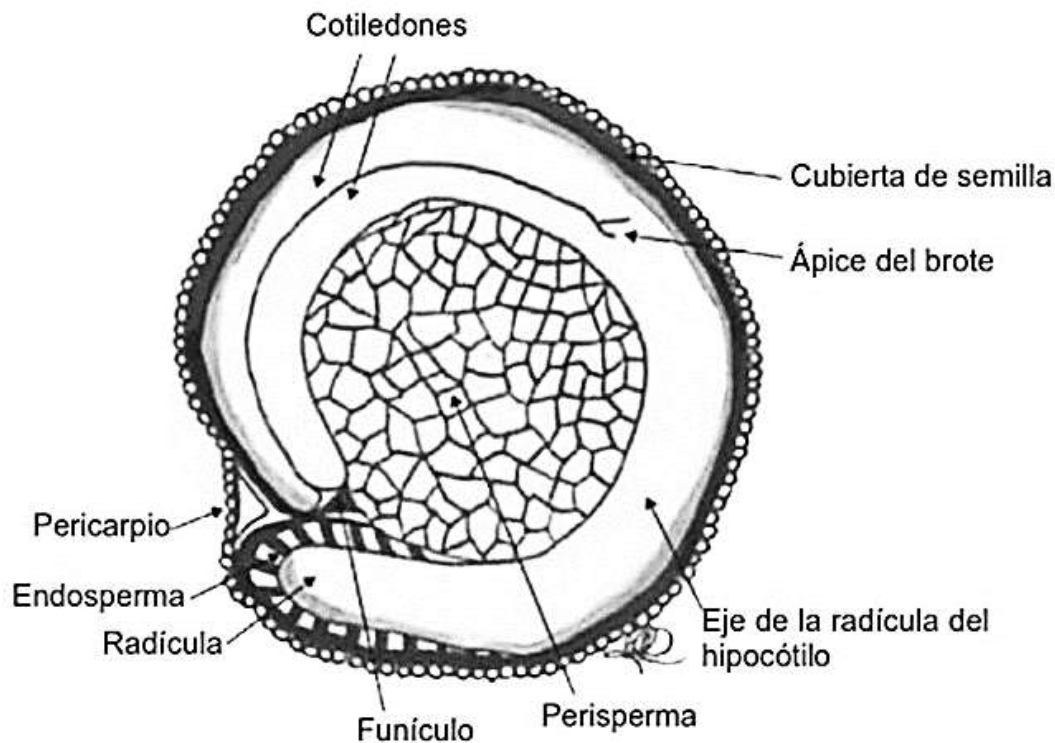
**Tabla 1.** Composición nutricional de la quinua

Componente	Referencia			
	Li <i>et al.</i> , (2021)	Ponce de León <i>et al.</i> , (2021)	Pereira <i>et al.</i> , (2019)	Nowak <i>et al.</i> , (2016)
Humedad (% b.h.)	10.86	9.79	9.53	10.10
Cenizas (% b.s.)	2.44	3.07	2.70	3.30
Proteínas (% b.s.)	13.51	17.27	14.87	13.10
Grasas (% b.s.)	6.48	6.76	6.40	5.70
Carbohidratos (% b.s.)	57.19	70.81	76.13	59.90

### 2.1.4. Morfología del grano

La semilla de la quinua morfológicamente está cubierta por el pericarpio, tiene un embrión provisto de un eje hipocótil-radícula y dos cotiledones, que representan aproximadamente el 30% del grano. Su endospermo es una o dos capas de células con un perispermo, una sección de almacenamiento de almidón de paredes delgadas que comprende aproximadamente el 40% del grano (Figura 1).

**Figura 1.** Morfología del grano de quinua



Fuente: Perdon y Holopainen-Mantila (2020)

### 2.1.5. Variedades de quinua

Según información del Instituto Nacional de Innovación Agraria se ha puesto a disposición de los productores agrarios a nivel nacional siete variedades de quinua mejorada que responden a la demanda tecnológica de las regiones productoras del país, en cuanto a rendimiento, calidad de grano, resistencia a enfermedades y plagas, así como cualidades agroindustriales entre las cuales se mencionan quinua salcedo INIA, quinua INIA 415 Pasankalla, quinua IIIpa INIA, quinua INIA 420 Negra Collana, quinua INIA 427 Amarilla Sacaca, quinua INIA Quillahuamán y quinua INIA Altiplano. A continuación, se detalla las quinuas que serán germinadas.

#### **2.1.5.1. Quinua blanca**

Crece en la zona del altiplano entre los 3800 y 3950 m de altitud, valles interandinos y costa entre los 640 a 1314 m de altitud, con ciclo vegetativo de 150 días en el altiplano, 135 días en valles interandinos y 120 días en la costa, la altura de la planta es de 1.48 m a 1.70 m, la forma del tallo no presenta ángulos, el color de hojas y panoja en la floración es verde y el color de la episperma es blanco (Apaza *et al.*, 2013)

#### **2.1.5.2. Quinua negra**

Crece entre los 3800 y 3900 m de altitud en la zona altiplano, también se adapta en valles interandinos y costa peruana, con clima fresco seco, compuesto de 13 accesiones, con ciclo vegetativo de 138 días para el altiplano y 115 días para valles interandinos, la altura de la planta es de 1.20 m a 1.30 m, la forma del tallo no presenta ángulos, el color de hojas y panoja en la floración es verde y el color de la episperma es negro brillante (Apaza *et al.*, 2013)

#### **2.1.5.3. Quinua roja**

Crece en la zona del altiplano entre los 3800 y 3900 m de altitud, valles interandinos entre los 2750 a 3750 m de altitud y en la costa entre los 640 y 1314 m de altitud; con ciclo vegetativo de 144 días para el altiplano y 120 días para valles interandinos y 105 días para la costa; la altura de la planta es de 1.30 m a 1.40 m, la forma del tallo es anguloso, el color de hojas y panoja en la floración es verde, mientras que el color de la episperma es vino oscuro (Apaza *et al.*, 2013).

La diferencia entre la composición nutricional variedades de quinua se muestra en la Tabla 2. El contenido de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos se expresan en g/100g base seca (b.s.), mientras que la humedad en g/100g base húmeda (b.h.).

**Tabla 2.** Diferencia de composición nutricional de variedades de quinua

Componente	Variedades de quinua		
	Negra	Roja	Blanca
Humedad (% b.h.)	11.50	10.10	11.70
Cenizas (% b.s.)	3.80	2.50	2.70
Proteínas (% b.s.)	11.60	12.70	13.40
Grasas (% b.s.)	4.90	6.20	5.20
Carbohidratos (% b.s.)	68.20	68.50	67.01

Fuente: Reyes (2017)

### 2.1.6. Germinación de semillas

La germinación de la semilla es un proceso fisiológico complejo que comienza con la absorción de agua por la semilla seca en reposo y termina con la protuberancia de la radícula a través de las capas que cubren la semilla (Tuan *et al.*, 2019).

Durante la germinación algunas macromoléculas se degradan a través de varias reacciones químicas, en particular hidrólisis y reacciones enzimáticas que permiten la respiración y síntesis de nuevos constituyentes celulares (Cheetangdee, 2019), la cual provoca cambios en proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, polifenoles y actividad antioxidante y estos cambios están influenciados por condiciones como el tiempo de germinación, temperaturas, variaciones en las prácticas de remojo y métodos de secado de los materiales germinados (Sharma *et al.*, 2021).

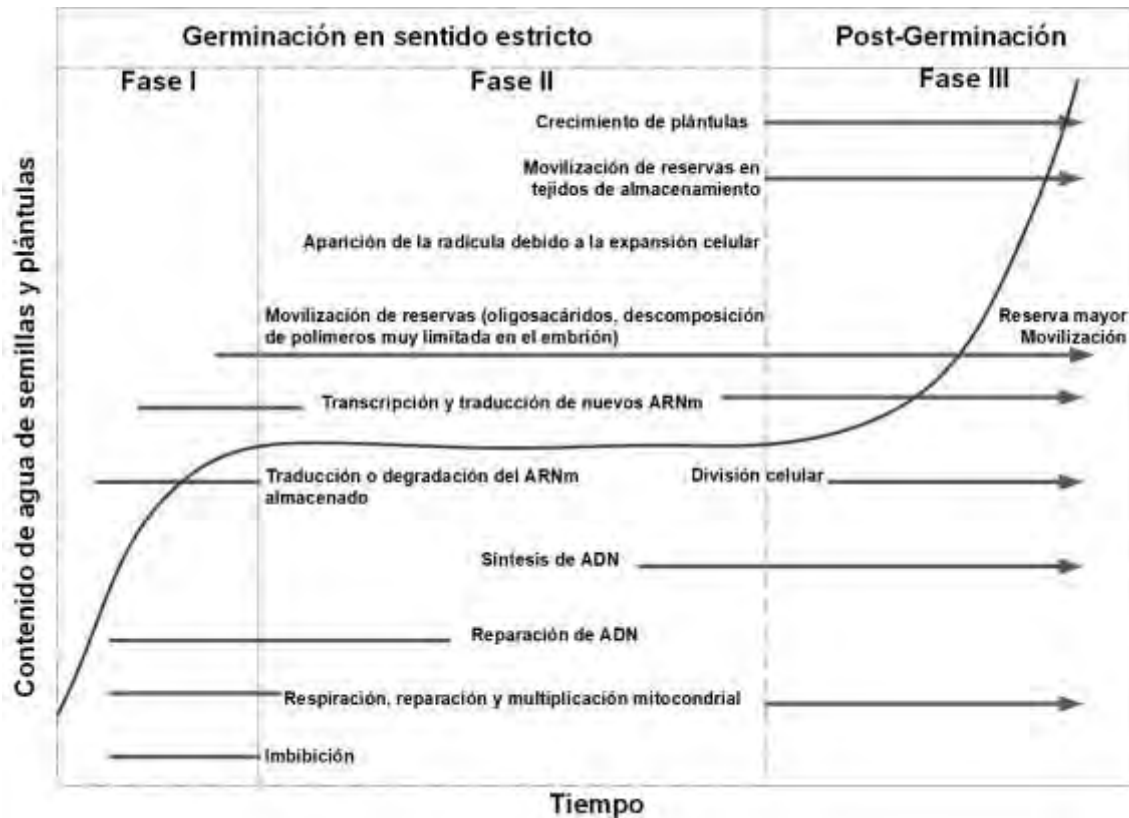
### 2.1.7. Proceso de germinación

La germinación de semillas es la etapa más importante del ciclo de vida de una planta inicia con la absorción de agua y se completa con la aparición de la radícula. Los complejos eventos



físicos y metabólicos durante la germinación se pueden agrupar en 3 fases principalmente vinculadas a la absorción de agua por la semilla (Biswas *et al.*, 2019; Lemmens *et al.*, 2019).

**Figura 2.** Fases del proceso de germinación



Fuente: Lemmens *et al.*, (2019)

En la fase I, la semilla seca absorbe agua, el material celular y las matrices se hidratan completamente (imbibición). A esto le sigue una absorción limitada de agua durante la fase II, que consiste en la activación del metabolismo endógeno necesario para movilizar el material de reserva y el crecimiento de la radícula. La radícula emerge al final de la fase II y se termina la germinación. En la fase III, la semilla absorbe más agua, se produce una gran movilización del material de reserva y la plántula comienza a crecer (Wolny *et al.*, 2018).

### 2.1.8. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas de los alimentos son las principales responsables de la calidad final del producto, estas propiedades dependen del tipo de alimentos, además de los

constituyente e ingrediente y las operaciones de procesamiento. Entre los cuales tenemos la actividad de agua, color, translucidez, contenido nutricional, entre otros (Rahman y McCarthy, 1999).

#### **2.1.9. Propiedades térmicas**

Las propiedades térmicas de los alimentos miden las propiedades físicas y químicas de los alimentos en función de la temperatura y tiempo. La calorimetría diferencial de barrido (CDB) es uno de los métodos de análisis térmico más aplicables para proporcionar el comportamiento térmico de una sustancia. Además de algunas variables termodinámicas, CDB puede proporcionar información sobre las temperaturas de transición, el grado de cristalización, la fusión y la capacidad calorífica (Gharanjig et al., 2020; Chiu y Prenner, 2011). Por otro lado, la termogravimetría es otra técnica de análisis térmico que se utiliza para determinar el cambio en las propiedades físicas y químicas de los materiales. La medición generalmente se realiza en función del aumento de temperatura con una tasa de calentamiento constante o en función del tiempo considerando la pérdida de masa y la temperatura constante. La pérdida de masa o la ganancia de masa de las muestras debido a la descomposición, degradación, oxidación, pérdida de compuestos volátiles, etc., se pueden determinar utilizando la termogravimetría (Parameshwaran *et al.*, 2018)

#### **2.1.10. Propiedades estructurales**

Las propiedades estructurales permiten analizar las estructuras e identificar los compuestos en los alimentos, la espectroscopia de infrarrojo de transformada de Fourier es una de las técnicas espectroscópicas más importantes y comunes utilizadas para elucidación estructural e identificación de compuestos. El análisis espectroscópico de infrarrojos se utiliza para determinar los diversos grupos funcionales químicos presentes en la muestra. La espectroscopia de infrarrojos es simplemente la medición de la absorción de diferentes

frecuencias de infrarrojos de una muestra colocada en la trayectoria de un haz de infrarrojos. Los espectros de infrarrojo de las muestras generalmente se registran en la región de 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$  (Capuano y van Ruth, 2016; Subramanian *et al.*, 2016)

### **2.1.11. Propiedades reológicas**

La reología es la rama de la física encargada del estudio de la deformación y fluidez de los materiales, a través de las propiedades reológicas se describe el comportamiento de deformación y flujo que exhiben los materiales cuando están sometidos a esfuerzos o fuerzas externas aplicadas, por ejemplo, durante procesos de mezclado, bombeo, vertido, propagación de ondas y vibraciones, masticación y deglución.

Las características reológicas de la pasta y el gel de harinas y almidones dependen de muchos factores, incluida la estructura química, la concentración, las condiciones de pegado (por ejemplo, temperatura, velocidad de cizallamiento y velocidad de calentamiento) y las condiciones de almacenamiento (temperatura y tiempo) (Ai y Jane, 2015).

#### **2.1.11.1. Fluidos newtonianos**

Se denominan fluidos newtonianos aquellos en los que la viscosidad dinámica o aparente es constante cuando se somete al fluido a diferentes tasas de corte o gradientes de velocidad (Fellows, 2009). Es decir, en estos fluidos idealizados existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) y la tasa de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), descrita por la Ley de Newton de la viscosidad.

#### **2.1.11.2. Fluidos no newtonianos**

Los fluidos no newtonianos presentan una relación no lineal entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación. Dentro de éstos se identifican comportamientos independientes, pseudoplástico, plástico de Bingham y dilatante o reofluídificante (Fellows, 2009). La viscosidad de estos fluidos varía con la tasa de corte aplicada.

## **2.2. Marco conceptual**

### **A. Color**

El color es una característica de calidad de los alimentos, su medición en los alimentos generalmente es en el espacio de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  debido a la distribución uniforme de los colores y porque es perceptualmente uniforme. En esta representación de color,  $L^*$  representa la luminosidad de una muestra,  $a^*$  representa la variación de verde a rojo, y  $b^*$  representa la variación de azul a amarillo (Wu y Sun 2013).

### **B. Actividad de agua**

La actividad del agua ( $a_w$ ) de un alimento es la relación entre la presión de vapor del alimento y la presión de vapor del agua en condiciones idénticas (Syamaladevi *et al.*, 2016)

### **C. Proteína**

Las proteínas están formadas por aminoácidos, son fácilmente digeribles, no tóxicas, nutricionalmente adecuadas, útiles en los alimentos y disponibles en abundancia (Badui, 2006)

### **D. Fibra**

Son polímeros de carbohidratos no digerible de más de tres unidades monoméricas que se encuentran inherentemente en los alimentos, se pueden clasificar según su solubilidad en agua como fibra dietética soluble que incluye inulina,  $\beta$ -glucanos y otros polisacáridos sin almidón y fibra dietética insoluble. incluyendo típicamente lignina, celulosa y algunas hemicelulosas (Zhang *et al.*, 2018)

### **E. Micronutrientes minerales**

Los minerales son nutrientes importantes para el organismo y responsables del correcto funcionamiento del metabolismo, favorecen el equilibrio y mantenimiento de funciones corporales básicas como la conducción de impulsos nerviosos, la actividad y mantenimiento celular, y las funciones estructurales en el cuerpo, la formación de uñas, dientes y huesos (Cardoso *et al.*, 2019)

### **F. Temperatura de gelatinización**

Es la temperatura a la cual los gránulos de almidón nativo, al ser calentados en presencia de agua, sufren un hinchamiento irreversible con ruptura de la estructura cristalina semirrígida (formada por amilosa y amilopectina) que la conforma (Ratnayake y Jackson, 2008).

### **G. Estabilidad térmica**

Se refiere a la capacidad que tienen los gránulos de almidón y/o la pasta de almidón gelatinizada de un alimento determinado para resistir sin cambio físico cuando se somete a temperaturas relativamente altas por un período prolongado de tiempo (LeCorre *et al.*, 2012).

### **H. Viscosidad**

Es una medida de la resistencia interna a fluir que presenta un fluido o material semiconsistente. Depende de factores como temperatura, composición química y estructura del material (Abbas *et al.*, 2010).

## **I. Esfuerzo de corte**

Es la fuerza tangencial por unidad de área necesaria para provocar flujo o deformación en un material (Nguyen y Nguyen, 2012).

## **J. Tasa de corte o deformación**

Es el cambio en la forma o dimensión experimentado por unidad de tiempo cuando se aplica un esfuerzo (Nguyen y Nguyen, 2012).

## **K. Comportamiento al flujo:**

Describe si el material se comporta como un fluido newtoniano (ideal) o no newtoniano. Fluidos no newtonianos pueden ser plásticos, pseudoplásticos o dilatantes (Nguyen y Nguyen, 2012).

## **2.3. Antecedentes empíricos de la investigación**

### **2.3.1. Internacional**

Sarmiento-Aguilar y Pachari-Vera, (2022) determinaron el impacto del periodo de germinación en los compuestos bioactivos de dos ecotipos de kiwicha de “grano color negro” y “grano color rosado”. En un diseño experimental y comparativo estudiaron los ecotipos de kiwicha (negro y rosado) y periodos de germinación (0, 24, 48 y 72 h). Determinaron: compuestos fenólicos totales, betalainas, capacidad antioxidante, proteínas, grasas, cenizas y humedad. Al aumentar el periodo de germinación incrementaron progresivamente los compuestos fenólicos totales, betalainas, capacidad antioxidante, proteínas y cenizas en ambos granos de kiwicha; y disminuyeron gradualmente el contenido de grasas y humedad, comparado con el periodo cero (granos sin germinar). Concluyeron que la exposición a periodos de germinación logró mayores contenidos de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante, proteínas y cenizas en

granos de kiwicha de color negro en comparación a granos de color rosado; sin embargo, los granos de color rosado obtuvieron contenidos de betalaínas y humedades superiores a los granos de color negro.

Guardianelli *et al.*, (2022) evaluaron la germinación de semillas de quinua blanca y roja a 20 °C durante diferentes tiempos (0, 18, 24 y 48 h) para seleccionar las mejores condiciones para mejorar la calidad nutricional de harinas. Determinaron los cambios en la composición proximal, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, contenido mineral, ácidos grasos insaturados y perfiles de aminoácidos esenciales de semillas de quinua germinadas. Además, analizaron los cambios en la estructura y propiedades térmicas del almidón y las proteínas como consecuencia del proceso de germinación. En la quinua blanca la germinación produjo un aumento en el contenido de lípidos y fibra dietética total, a las 48 h aumentan los niveles de ácidos linoleico y  $\alpha$ -linolénico y la actividad antioxidante, mientras que en quinua roja el componente que mayor aumentó fue la fibra total, a las 24 h, aumentó los niveles de ácidos oleico y  $\alpha$ -linolénico, aminoácidos esenciales (Lys, His y Met) y compuestos fenólicos; además, detectaron una disminución en la cantidad de sodio. En base a la mejor composición nutricional, seleccionaron 48 h y 24 h de germinación para las semillas de quinua blanca y roja, respectivamente. Observaron cambios en la conformación de los macrocomponentes y en las propiedades térmicas después de la germinación. La germinación fue más positiva en la mejora nutricional de la quinua blanca, mientras que las macromoléculas (proteínas y almidón) de la quinua roja presentaron mayores cambios estructurales. Concluyeron que la germinación de ambas semillas de quinua (quinua blanca de 48 h y quinua roja de 24 h) mejora el valor nutricional de las harinas produciendo los cambios estructurales de proteínas y almidón necesarios para la obtención de panes de alta calidad.

Darwish *et al.*, (2021) evaluaron el impacto de la germinación en el perfil nutricional de las semillas de quinua y los potenciales antianémicos de una dieta fitógena fortificada con quinua en el tratamiento de ratas albinas inducidas por anemia por deficiencia de hierro. Los resultados que obtuvieron revelaron que las semillas de quinua se consideran una buena fuente de fibra, proteínas (43,08 y 30,62% del VD) y vitamina C (tres veces el requerimiento diario). La germinación de las semillas aumentó los contenidos de hierro, calcio y zinc en un 39,43, 49,04 y 20,25%, vitamina C y carotenoides en un 32,17 y 26,02%, respectivamente, y disminuyó los factores antinutricionales saponina, ácido fítico y taninos en un 59,60, 50,0 y 11,32%, respectivamente. Concluyeron que las semillas de quinua germinadas son superiores en nutrientes en comparación con las semillas no germinadas debido a la activación de enzimas endógenas que degradan los factores antinutricionales, elevan la biodisponibilidad de minerales y las propiedades antioxidantes.

Kaur y Gill, (2021) evaluaron los cambios en las características fisicoquímicas, nutricionales y las interacciones moleculares ATR-FTIR de los granos de cereales durante la germinación. Los granos de cereales como trigo, cebada, sorgo y mijo fueron evaluados antes y después de la germinación (24 h, 48 h y 72 h) y fueron comparados en cuanto a su composición proximal, actividad antioxidante, contenido fenólico total, contenido total de flavonoides, propiedades pastosas, digestibilidad in vitro del almidón y espectroscopia FTIR. La germinación afectó inversamente el contenido de proteínas, grasas y cenizas de diferentes cereales. Las harinas germinadas tienen menos contenido de agua y mayor capacidad de absorción de aceite junto con un contenido reducido de almidón. Los contenidos de almidón de rápida digestión (ARD), almidón de lenta digestión (ALD) y almidón resistente (AR) en las harinas de cereales sin germinar oscilaron entre 20,7 y 32,1%, 26,9 y 38,0% y 6,2 y 17,6% respectivamente, pero después de una germinación de 72 h, el contenido de ARD aumentó del 26,5 al 36,2%, mientras que el contenido de ALD y AR disminuyó del 26,1% (sorgo) al 16% (cebada) y del 14,7%



(cebada) al 4,6% (trigo), respectivamente. Los cultivos tolerantes a la sequía (sorgo, mijo y cebada) son fuentes potenciales de antioxidantes y contenido fenólico y produjeron un índice de hidrólisis y un índice glucémico estimado más bajos tras la germinación. Concluyeron que, la germinación es una forma de obtener compuestos que promueven la salud a partir de cereales que se utilizan menos, como el mijo, el sorgo y la cebada, y mejorar sus usos para nutrir a la enorme población con el objetivo de satisfacer sus necesidades nutricionales.

Xing *et al.*, (2021) evaluaron el efecto del tratamiento de germinación sobre las propiedades estructurales y fisicoquímicas del almidón de quinua, para lo cual germinaron tres genotipos de quinua y aislaron el almidón por hidro-extracción. El contenido de amilosa de la quinua Zhongli (QZ) fue 17.37%. El almidón de quinua Mengli germinado (QMG) y el almidón de quinua roja de Yunnan germinado (YQS) tuvieron una mayor proporción de cadenas cortas que el almidón nativo, mientras que el resultado opuesto se observó en el almidón de quinua Zhongli (QZG). La viscosidad máxima, la viscosidad mínima, la entalpía de retrogradación y el porcentaje de retrogradación disminuyeron significativamente durante la germinación. Concluyeron que la germinación tuvo un impacto significativo en las propiedades estructurales y fisicoquímicas de almidón de quinua, que proporciona una base para la utilización de productos germinados de quinua en la industria alimentaria.

Atudorei y Codină, (2020) realizaron una revisión sobre las perspectivas del uso de legumbres germinadas en el proceso de elaboración de pan, cuyo propósito de la revisión fue actualizar los estudios realizados sobre las posibilidades de utilizar diferentes tipos de semillas de leguminosas germinadas (como lenteja, garbanzo, soja, chocho, frijol) para obtener productos de panadería de buena calidad. Destacaron aspectos relacionados con el proceso de germinación de las semillas, los beneficios del proceso de germinación sobre las semillas desde el punto de vista nutricional y los efectos de la adición de harina procedente de semillas

germinadas sobre las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo, además de las características físico-químicas y sensoriales de los productos de panadería obtenidos. Finalmente concluyeron que los cambios en el proceso de elaboración del pan y la calidad del pan dependen del nivel y tipo de semilla de leguminosa sometida al proceso de germinación que se incorporan a la harina de trigo.

Li *et al.*, (2020) investigaron los cambios en las propiedades fisicoquímicas de las harinas obtenidas de cuatro granos seleccionados después de la germinación. Después de la germinación, la longitud de los brotes del sorgo y el mijo fue sustancialmente mayor que la del arroz integral y la avena. La germinación provocó una disminución del contenido aparente de amilosa y del factor de hinchamiento de las harinas. Las temperaturas de inicio de gelatinización y pico aumentaron después de la germinación, mientras que se encontró una ligera disminución en la temperatura de conclusión. En comparación con las harinas crudas, las harinas germinadas derivadas del arroz integral, el sorgo y el mijo tuvieron una entalpía de gelatinización más baja, mientras que la harina de avena germinada mostró una entalpía de gelatinización más alta. La germinación resultó en una disminución significativa en los parámetros de pasta de las cuatro harinas. La lixiviación de amilosa de las harinas de sorgo y mijo aumentó después de la germinación, mientras que las harinas de arroz integral y avena mostraron una disminución significativa en la lixiviación de amilosa. Finalmente concluyeron que los resultados sugieren que la germinación alteró efectivamente las propiedades fisicoquímicas de las harinas de granos, que pueden utilizarse como ingrediente funcional en la preparación de productos a base de granos.

Aguilar *et al.*, (2019) estudiaron las ventajas nutricionales obtenidas al maltear los granos de quinua. Para ello estudiaron tres variedades de quinua: “Negra Collana”, “Passankalla Roja” e “INIA Salcedo”. Para el proceso de malteado siguieron los siguientes pasos hidratación (4 h - 25 °C), germinación (48 h -25 °C), secado (24 h - 55 °C) y desculpamiento (eliminación de

radículas). Tanto en granos malteados como sin maltear realizaron las siguientes determinaciones: compuestos fenólicos totales, flavonoides, capacidad antioxidante, ácido ascórbico, azúcares reductores, proteínas, grasa total y contenido de cenizas. Como principales resultados, obtuvieron que el proceso de malteado afectó significativamente las propiedades nutricionales, aumentando los compuestos fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante, ácido ascórbico y azúcares reductores en todas las variedades. Pero, el contenido de cenizas, proteínas y grasas se redujo debido al metabolismo germinativo, excepto en la variedad Negra Collana, cuyo contenido de proteínas aumento con el malteado. Concluyeron que sólo las variedades Negra Collana y Pasankalla Roja recibieron ventajas del malteado: la quinua Malteada Negra Collana aportaría proteínas y minerales, mientras que Pasankalla Roja aportaría ácido ascórbico, azúcares reductores y compuestos bioactivos, siendo útiles como ingredientes para la formulación de nuevos productos.

**Jiménez *et al.*, (2019) determinaron cambios nutricionales en harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*), inducidas por germinación en condiciones controladas. La composición proximal, digestibilidad de proteínas, almidón y fibra fueron determinados mediante métodos AOAC. El comportamiento térmico de la harina fue estudiado por calorimetría diferencial de barrido. El contenido de proteínas y la digestibilidad incrementaron con la germinación. Las temperaturas de gelatinización fueron similares entre las muestras antes y después de la germinación. Las entalpías de gelatinización de las harinas fueron significativamente menores en los granos germinados que en los no germinados; también determinaron una mayor tendencia a la retrogradación. La germinación mejoró los aportes nutricionales de las harinas de quinua y amaranto, pero el contenido de almidón disminuyó y el gel se volvió más inestable, concluyeron que las harinas pueden usarse como ingredientes en formulaciones alimentarias.**

Lemmens *et al.*, (2019) realizaron una revisión sobre el impacto de la germinación de semillas de cereales en sus propiedades nutricionales y tecnológicas, en su revisión describieron que la

germinación induce la activación y la síntesis de nuevas enzimas hidrolíticas que hacen que los nutrientes estén disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sugirieron que el consumo de cereales germinados es beneficioso para la salud humana. Las percepciones positivas de los consumidores sobre los cereales germinados han dado lugar al lanzamiento de nuevos productos de alimentos y bebidas. Sin embargo, debido a que no existe una definición generalmente aceptada de "brotación", no está claro como se debe llamar a los granos germinados. Además, actualmente faltan directrices sobre la cantidad de material de grano germinado que deben contener los productos alimenticios para ejercer beneficios para la salud. En consecuencia, no existe una base regulatoria para desarrollar un etiquetado alimentario apropiado para los "alimentos germinados". Por otro lado, las propiedades nutricionales y tecnológicas de los granos germinados en relación con las condiciones de procesamiento y proporcionan pautas para optimizar las prácticas de germinación con el fin de maximizar el valor nutritivo. Respecto al tiempo manifestaron que se necesitan tiempos de brotación relativamente largos (3 a 5 días) y/o altas temperaturas de procesamiento (25 a 35 °C) para maximizar la síntesis de nuevos y/o liberación de compuestos bioactivos de las plantas. Los cambios en la composición de los nutrientes resultantes de la germinación a menudo se asocian con beneficios para la salud. Sin embargo, los datos que respaldan los estudios clínicos son muy escasos y en la actualidad es imposible sacar conclusiones sobre los beneficios para la salud de los cereales germinados. Concluyeron que se debe proporcionar una base para definir mejor qué es "brotación" y para ayudar a realizar más esfuerzos de investigación y desarrollo en este campo, así como el desarrollo futuro de regulaciones alimentarias.

Jan *et al.*, (2018) determinaron los efectos de la germinación sobre los contenidos de minerales, ácidos grasos, térmicos, reológicos y fitocomponentes de la harina de *Chenopodium album*. Los minerales y la fibra dietética (soluble e insoluble) aumentaron con la germinación, mientras que las propiedades de pegado y gelatinización disminuyeron significativamente. Las

micrografías electrónicas de barrido mostraron la destrucción de la estructura compuesta continua de almidón incrustado en la densa matriz proteica de la harina después de la germinación. El análisis cuantitativo de la harina por GC-MS reveló que la harina germinada contenía más fitocompuestos que la harina cruda. Concluyeron que la germinación mejora el desarrollo de productos e incrementa el contenido de compuestos bioactivos.

D'ambrosio *et al.*, (2017) caracterizaron la calidad y evaluaron el potencial de almacenamiento de los brotes de quinua Real y Regalona Baer. Evaluaron las características de germinación, textura, propiedades sensoriales y químicas de los brotes después de 4 días. Regalona Baer mostró mayor germinación y aumento de peso, mayor contenido fenólico y propiedades sensoriales que Real. Concluyeron que la germinación mejora la calidad de las quinuas.

Awatif y Alaaeldin, (2017) realizaron una revisión sobre los procesos metabólicos vitales, la movilización de reservas, la regulación fitohormonal, el ciclo del glioxilato y el proceso de respiración en condiciones estresantes o no estresantes. La germinación de las semillas es una etapa crucial en el desarrollo de las plantas y puede considerarse un determinante de la productividad de las plantas. Los cambios fisiológicos y bioquímicos seguidos de cambios morfológicos durante la germinación están fuertemente relacionados con la tasa de supervivencia de las plántulas y el crecimiento vegetativo, lo que en consecuencia afecta el rendimiento y la calidad. La imbibición de semillas desencadena la activación de varios procesos metabólicos, como la síntesis de enzimas hidrolíticas, que dieron como resultado la hidrólisis del alimento de reserva en una forma simple disponible para la absorción por el embrión. El estrés abiótico afecta potencialmente la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas a través de diversos factores, como la reducción de la disponibilidad de agua, cambios en la movilización de las reservas almacenadas, alteración del equilibrio hormonal y afectación de la organización estructural de las proteínas. Concluyeron

que las estrategias recientes para mejorar la calidad de las semillas implican tratamientos genéticos, de biología molecular y de vigorización clásicos conocidos como tratamientos de priming. La acumulación de  $H_2O_2$  y los daños oxidativos asociados, junto con una disminución de los mecanismos antioxidantes, pueden considerarse como una fuente de estrés que puede suprimir la germinación.

Ma *et al.*, (2017) evaluaron los mecanismos de señalización celular y regulación metabólica de la germinación y latencia en semillas de cebada. Durante la germinación de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.), se producen importantes cambios morfológicos y fisiológicos, incluido el desarrollo de órganos y tejidos y la activación de vías metabólicas. La germinación y la latencia de las semillas están reguladas por el ácido abscísico, las giberelinas, las especies reactivas de oxígeno (ROS), las especies reactivas de nitrógeno (RNS) y varios otros factores. Las actividades de las enzimas del ciclo ascorbato-glutatión, responsables de eliminar las ROS, aumentan considerablemente. Las actividades de catalasa y superóxido dismutasa, que también eliminan ROS, disminuyen al inicio de la germinación de las semillas y luego aumentan. Con el aumento del metabolismo aeróbico después de la protrusión de la radícula, las actividades de las enzimas de fermentación lactato y alcohol deshidrogenasa disminuyen rápidamente. La actividad eliminadora de RNS de *la S*-nitrosoglutatión disminuye en el curso de la germinación de las semillas, junto con la elevación de la producción de óxido nítrico y la nitrosilación de proteínas. Esta actividad apoya el papel del RNS en la regulación de la germinación de las semillas. La transcripción de varios genes en diferentes fases de la germinación de las semillas presenta cambios específicos de cada fase. Durante la imbibición, los genes implicados en el metabolismo de la pared celular se expresan intensamente; en la fase media de la germinación de la semilla antes de la protrusión de la radícula, los genes implicados en la síntesis de aminoácidos, la síntesis de proteínas y el transporte y la síntesis de ácidos nucleicos se regulan positivamente de manera significativa, y después de la protrusión de la radícula, se inducen

genes implicados en el metabolismo fotosintético. Concluyeron que, y la regulación metabólica de la germinación de semillas implican reacciones diversas y una regulación compleja en diferentes niveles de organización metabólica.

Cornejo *et al.*, (2015) evaluaron el efecto de las condiciones de germinación de harina de arroz integral germinada (GBR) sobre los beneficios nutricionales del pan de harina de arroz integral germinada (GBR). La composición proximal, ácido fítico, digestibilidad proteica in vitro e hidrólisis enzimática in vitro del almidón, glucosa y contenido de almidón, así como los compuestos bioactivos más **relevantes** (GABA,  $\gamma$ -orizanol y compuestos fenólicos totales) y actividad antioxidante de los panes preparados con fueron determinó GBR en diferentes condiciones de germinación. Al comparar diferentes tiempos de germinación (0 h, 12 h, 24 h y 48 h), la germinación durante 48 h proporciona al pan GBR una calidad nutricional superior en base a su mayor contenido en proteínas, lípidos y compuestos bioactivos (GABA y polifenoles), aumento de la actividad antioxidante y reducción del contenido de ácido fítico y del índice glucémico, aunque se detectó una ligera disminución en la digestibilidad de las proteínas in vitro. En general, la germinación parece ser una forma natural y sostenible de mejorar la calidad nutricional de los panes de arroz sin gluten.

Devi *et al.*, (2015) realizaron la caracterización de la germinación y cambios asociados en la composición nutricional del caupí (*Vigna unguiculata*), trabajaron con las variedades Pant Lobia-1 (PL-1), Pant Lobia-2 (PL-2) y Pant Lobia-3 (PL-3), estandarizaron las combinaciones de tiempo de remojo, tiempo de brotación y temperatura de brotación para una longitud de brote deseable de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  pulgada para muestras de semillas de caupí. Los resultados evidenciaron que el tiempo óptimo de remojo de las semillas PL-1 y PL-2 fue de 3 h, mientras que PL-3 requirió 9 h. Encontraron que un período de brotación de 24 h a 25 °C era deseable para obtener buenos brotes. Observaron una mejora significativa en la calidad nutricional después de la brotación a 25 °C durante 24 h; la proteína aumentó entre un 9 y un 12 %, la vitamina C aumentó entre 4 y 38 veces, el ácido fítico disminuyó entre 4 y 16 veces, la actividad

del inhibidor de la tripsina disminuyó entre un 28 y un 55 % junto con un aumento del 8 al 20 % en la digestibilidad de las proteínas *in vitro*. Concluyeron que la germinación de legumbres mejora la biodisponibilidad y digestibilidad de los nutrientes y, por tanto, juega un papel importante en la nutrición humana.

### **2.3.2. Nacional**

Pilco-Quesada *et al.*, (2020) estudiaron el efecto de la germinación y posterior horneado sobre los compuestos fenólicos y composición proximal en quinua Chullpi y kiwicha Oscar Blanco. El proceso de germinación duró 24, 48 y 72 horas a 22°C, y el horneado 72 horas a 90°C, ambos procesos aumentaron el contenido de proteínas de las muestras, sin embargo, el contenido de lípidos fue menor durante la germinación. Por otro lado, la germinación y el horneado aumentaron claramente la concentración de compuestos fenólicos totales tanto en la quinua como en la kiwicha. Concluyeron que la germinación y el horneado pueden mejorar la calidad nutricional de los granos andinos, fomentando el uso de granos procesados como ingredientes en productos funcionales para personas con dietas especiales sin gluten o vegetarianas.

Leguía (2018), comparó los compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de la quinua germinada de las variedades Salcedo INIA, Pasankalla y Negra collana, para lo cual la quinua fue sometida a operaciones de selección, lavado, germinado, secado y molido. El proceso de germinación fue por uno y dos días, posteriormente fue secado a 55 °C por 10 horas. El contenido proteico fue de 15.18% para Salcedo INIA, 15.60% para Pasankalla y 16.13% para Negra collana, los compuestos fenólicos fueron de 30.88 mg AGE/100 g b.s. en Salcedo INIA, 41.77 mg AGE/100 g b.s en Pasankalla y 40.33 mg AGE/100 g b.s. en Negra collana y la capacidad antioxidante fue de 5.48  $\mu\text{Mol Trolox Eq}^*/\text{g b.s.}$  para Salcedo INIA, 6.48  $\mu\text{Mol Trolox Eq}^*/\text{g b.s}$  para Pasankalla y 5.31  $\mu\text{Mol Trolox Eq}^*/\text{g b.s}$  para Negra collana.



Concluyeron que la germinación generó un incremento significativo en el contenido proteico, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en las tres variedades de quinua germinada.

### **3. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

La germinación modifica significativamente las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de tres variedades de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- La germinación influye en el incremento de la disponibilidad de los componentes químicos (proteína, fibra y micronutrientes) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.
- La germinación influye en la modificación de las propiedades físicas (color y actividad de agua de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.
- La germinación altera las propiedades térmicas (estabilidad térmica, temperatura y entalpía de gelatinización) de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.
- Los espectros infrarrojos evidencian modificaciones en los grupos funcionales de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas por efecto de la germinación.
- El comportamiento reológico de las harinas, determinado por parámetros como viscosidad aparente y esfuerzo de corte, se ve influenciado por la germinación de los granos de quinua de las variedades blanca, roja y negra de *Chenopodium quinoa* Willd de Andahuaylas.

## **3.2. Identificación de variables e indicadores**

### **3.2.1. Variable independiente**

Tiempo de germinación (Bloque)

Variedad de quinua

### **3.2.2. Variable dependiente**

#### **Componentes químicos**

- Contenido de proteínas
- Contenido de fibra
- Micronutrientes minerales

#### **Propiedades físicas**

- Color
- Actividad de agua

#### **Propiedades térmicas**

- Estabilidad térmica
- Temperatura y entalpía de gelatinización

#### **Propiedades estructurales**

- Grupos funcionales

#### **Propiedades reológicas**

- Esfuerzo cortante
- Viscosidad aparente

### 3.3. Operacionalización de variables

La Tabla 3, muestra la operacionalización de las variables.

**Tabla 3.** Operacionalización de las variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad</b>
<b>Independientes</b>			
Tiempo de germinación	Horas de germinación	0 horas	h
		24 horas	
		48 horas	
		72 horas	
Granos de quinua	Variedad	Quinua blanca	---
		Quinua roja	
		Quinua negra	
<b>Dependientes</b>			
	Nivel de proteínas	Concentración de proteínas	%
	Nivel de fibra	Concentración de fibra	%
Componentes químicos	Micronutrientes minerales	Hierro	mg/L
		Magnesio	mg/L
		Potasio	mg/L
		Fósforo	mg/L
		Zinc	mg/L
Propiedades físicas	Color	Luminosidad	L*
		Croma a*	a*
		Croma b*	b*
		Actividad de agua	---
Propiedades térmicas	Temperatura de gelatinización	Temperatura de inicio	°C
		Temperatura pico	°C
		Temperatura conclusión	°C
	Entalpia de gelatinización	Entalpía de gelatinización	J/g
		Estabilidad térmica	°C
Propiedades estructurales	Grupos funcionales	Amino	---
		Amida	
		Carboxilo	
		Carbonilo	
		Hidroxilo	
Propiedades reológicas	Comportamiento de fluido	Esfuerzo de corte	Pa
		Viscosidad aparente	mPa.s

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Lugar de ejecución**

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Investigación de Nanotecnología en Alimentos y Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicado en la unidad vecinal de Santa Rosa, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.

### **4.2. Tipo y nivel de investigación**

El tipo de investigación es experimental, porque se manipuló las variables independientes para evaluar el efecto de la germinación sobre los componentes químicos, propiedades físicas, térmicas, estructurales y reológicas.

El nivel de investigación fue descriptivo, porque se reflejó la necesidad de medir y estimar los componentes químicos, propiedades físicas, térmicas, estructurales y reológicas de las quinuas germinadas.

### **4.3. Unidad de análisis**

Esta referido a las variedades blanca, roja y negra de quinuas germinadas, las cuales fueron sometidas a diferentes tiempos de germinación.

### **4.4. Técnicas de selección de muestra**

Se realizó un muestreo no probabilístico intencional, que consistió en tomar quinuas a diferentes tiempos germinación, de las variedades blanca, roja y negra para el análisis de los componentes químicos (proteína, fibra y micronutrientes minerales), propiedades físicas (color

y actividad de agua), térmicas (estabilidad térmica, temperatura y entalpia de gelatinización), estructurales (grupos funcionales) y reológicas (viscosidad aparente y esfuerzo de corte).

#### **4.5. Técnicas de recolección de información**

Las técnicas de análisis y/o determinación de los indicadores de estudio, por objetivos se detallan a continuación:

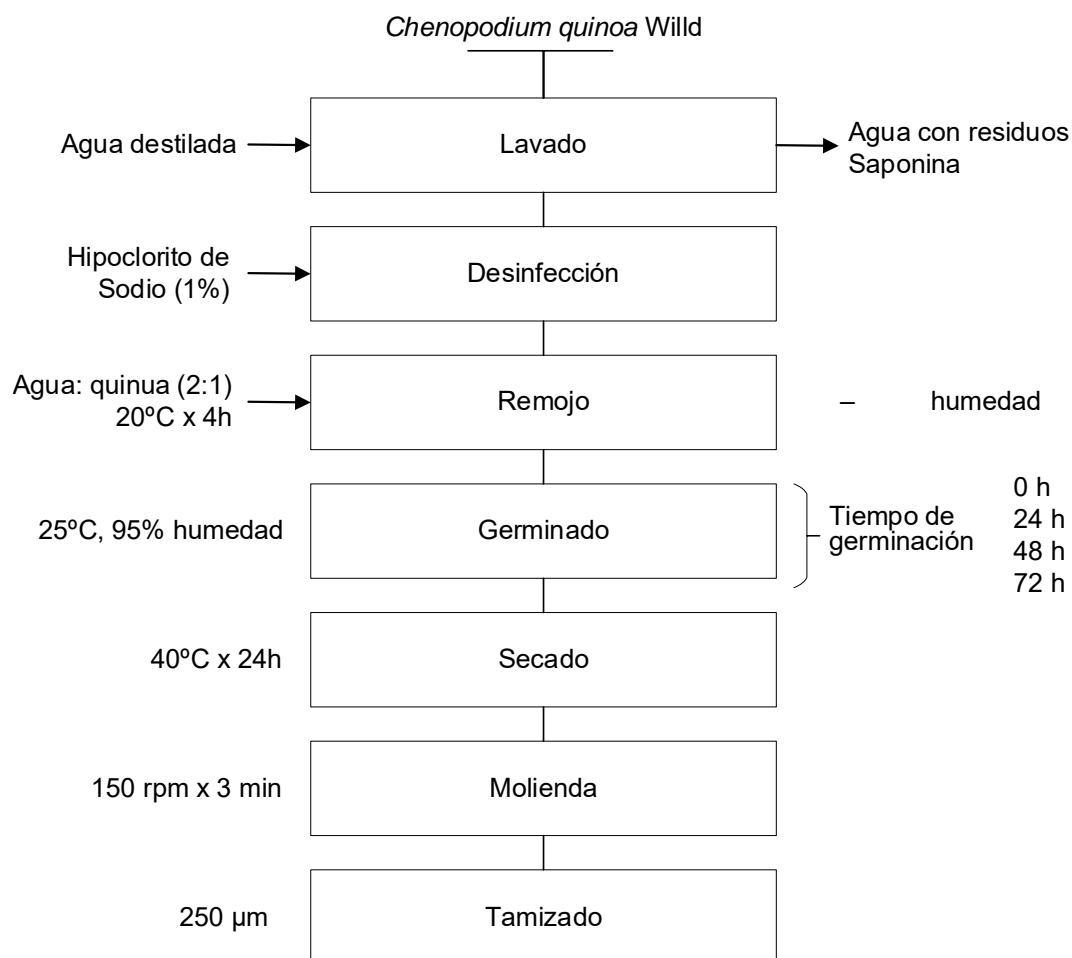
##### **4.5.1. Técnicas experimentales**

###### **A. Acondicionamiento y germinación de granos de quinua**

El proceso de germinación de granos de quinua se realizó siguiendo la metodología de Xing *et al.*, (2021) con algunas modificaciones.

Los granos de quinua (200 g) se lavaron con abundante agua destilada y fueron desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 5 min, enseguida se remojaron en agua destilada (relación agua: quinua; 2: 1) durante 4 h a 20°C hasta alcanzar un 40 a 50 % de humedad antes de la germinación. Luego los granos se distribuyeron en bandejas y se colocaron en una cámara húmeda a 25 °C y 95 % de humedad relativa. Posteriormente los granos se recolectaron a las 24, 48 y 72 h. Después de la germinación los granos se secaron en una estufa de convección forzada marca Binder a 40°C hasta un contenido de humedad por debajo del 10 %, finalmente se molieron en un molino cicló marca Retsch a 150 rpm por 3 min y se tamizó en malla 250 µm (Figura 3).

**Figura 3.** Diagrama de flujo germinación de quinua



## 4.5.2. Técnicas de análisis

### 4.5.2.1. Propiedades fisicoquímicas

#### A. Contenido de proteínas

El contenido de proteínas se determinó usando el método Kjeldahl, descrito en el método 955.04 AOAC (1990), el método se basó en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso con NaOH libera amoníaco, el cual fue destilado con ácido bórico formándose borato de amonio que se valoró con ácido clorhídrico.

## B. Contenido de fibra

La fibra se determinó empleando el método 962.09 de la AOAC (2012), las muestras fueron desengrasadas empleando un extractor Soxhlet, luego se realizó una digestión ácida en presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25 % y digestión alcalina en presencia de NaOH al 1.25 %.

## C. Micronutrientes minerales

El contenido de micronutrientes minerales, se determinó utilizando un espectrómetro de absorción atómica. Para lo cual 5 g de la muestra se convirtió en cenizas mediante incineración a 550 °C durante cinco horas. Posteriormente 0.1 g de cada muestra se digesto en un microondas con ácido nítrico. Finalmente, los elementos fueron identificados por sus espectros de emisión característicos comparadas con una curva estándar (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019)

## D. Color

El color se midió usando un colorímetro Konica Minolta CR-5, previamente calibrado. La escala de medición fue CIE L\* a\* b\*, la coordenada de luminancia L\* significa la luminosidad de 0 (negro) a 100 (blanco). El valor de cromaticidad a\* significa rojo cuando es positivo y verde cuando es negativo. La coordenada de cromaticidad b\* significa amarillo cuando es positivo y azul cuando es negativo. Se calculó la variación de color ( $\Delta E$ ), el índice de blancura (IB) e índice de color (IC) según la Ecuación 1, 2 y 3 respectivamente.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ec. 1}$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ec. 2}$$

$$IC = \frac{a^* \times 1000}{b^* \times L} \quad \text{Ec. 3}$$



## **E. Actividad de agua**

Se utilizó un medidor portátil de actividad de agua HygroPalm23-AW. El instrumento fue calibrado previamente, luego se tomó 3 g de muestra y se transfirió a un recipiente de muestra desechable, posteriormente se introdujo dentro de la sonda y se tomó lecturas de la muestra (Fasoyiro *et al.*, 2016)

### **4.5.2.2. Propiedades térmicas**

#### **A. Temperatura y entalpía de gelatinización**

Las propiedades térmicas se determinaron mediante un calorímetro de barrido diferencial (DSC por sus siglas en inglés). Se pesó 1 mg de muestra en una bandeja de aluminio y se añadió 2  $\mu$ L de agua destilada. El recipiente se selló herméticamente y se equilibró a temperatura ambiente durante 1 h, luego se programó una velocidad de calentamiento de 5°C/min de 30 a 120°C con un recipiente sellado vacío como referencia. La temperatura de inicio de gelatinización ( $T_0$ ), la temperatura pico ( $T_p$ ), la temperatura de conclusión ( $T_c$ ) y la variación entalpía ( $\Delta H$ ) se calcularon con el software del equipo (Jiménez *et al.*, 2019)

#### **B. Estabilidad térmica**

La estabilidad térmica se evaluó a través del análisis de termogravimetría, utilizando una termobalanza acoplada a un horno estándar y con flujo de nitrógeno de 50 mL/min. Los termogramas se obtuvieron en el rango de temperatura de 0 a 600°C. (Manals-Cutiño *et al.*, 2011)

### **4.5.2.3. Propiedades estructurales**

Los grupos funcionales se determinaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés). Los pellets se prepararon combinando 2 mg de

muestra con 200 mg de KBr. Luego, la mezcla se presionó con una fuerza de 10 toneladas para obtener el pellet para el análisis. Las mediciones FTIR se realizaron usando el módulo de transmisión del FTIR, dentro de un rango de números de onda comprendido entre 4000 y 400  $\text{cm}^{-1}$  (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019).

#### 4.5.2.4. Propiedades reológicas

Las propiedades reológicas se midieron con un reómetro rotacional Anton Paar, modelo MCR702e, utilizando geometría de cilindros concéntricos a una velocidad de corte controlada de 1 a 50  $\text{s}^{-1}$  evaluada a temperatura de 60 °C, se preparó una suspensión de harina al 5%. Los datos se analizaron utilizando el modelo de esfuerzo cortante para fluidos no newtonianos a través de la Power-Law, Bingham Plastic, Herschel–Bulkley (Tabla 4).

**Tabla 4.** Modelos reológicos para fluidos no Newtonianos

Modelos	Ecuación
Power-Law	$\tau = k\gamma^n$
Bingham Plastic	$\tau = \tau_y + \eta_B\dot{\gamma}$
Herschel–Bulkley	$\tau = \tau_y + k_H\dot{\gamma}^n$

Donde:  $\tau$  es esfuerzo de corte,  $\dot{\gamma}$  es tasa de corte,  $n$  es índice de comportamiento de flujo,  $k$  es índice de consistencia,  $\tau_y$  es el límite elástico,  $\eta_B$  es la viscosidad plástica,  $k_H$  es índice de consistencia.

## 4.6. Técnicas de análisis e interpretación de la información

### A. Prueba de diferencia significancia

El análisis de varianza (ANOVA), es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso del DBCA, se separan la variabilidad debida a los tratamientos, bloque y la debida al error (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Los datos se analizaron a través de un ANOVA de dos factores, la prueba de hipótesis se realizó con un nivel de significancia del 5%.

## B. Prueba de rangos múltiples

Las pruebas de rangos múltiples permiten comparar los tratamientos e identificar las diferencias, entre los métodos están, la pruebas LSD por sus siglas en inglés (Diferencia mínima significativa), Tukey, Duncan y Dunnet (comparación con un control). El método más conservador para comparar pares de medias de tratamientos es el método de Tukey, el cual consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k)\sqrt{CM_E/n_i}$$

Donde  $CM_E$  es el cuadrado medio del error,  $n_i$  es el número de observaciones por tratamiento,  $k$  es el número de tratamientos,  $N - k$  es igual a los grados de libertad para el error,  $\alpha$  es el nivel de significancia prefijado y el estadístico  $q_{\alpha}(k, N - k)$  son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado, que se obtienen de la correspondiente tabla. Se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia muestral en valor absoluto sea mayor que  $T_{\alpha}$  (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Al rechazo de la Hipótesis nula del ANOVA, se aplicó el test de Tukey a fin de conocer e identificar cuál de los tratamientos muestra diferencia significativa. Este test se probó considerando un nivel de significancia del 5%.

Se utilizaron los softwares estadísticos EXCEL, STATGRAPHICS y ORIGIN para realizar el análisis estadístico de los datos.

### 4.7. Técnicas para demostrar verdad o falsedad de las hipótesis

Se propuso un diseño de bloques completo al azar, con la finalidad de agrupar las unidades en un bloque lo más uniforme posible de tal forma que las diferencias que se observen sean mayormente debido a los tratamientos. Este tipo de diseño cuenta con tres fuentes de variabilidad debido al tratamiento, bloque y error atribuible a la medición. La matriz de diseño se muestra en la Tabla 5. El modelo estadístico del diseño es:

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

Donde:  $\mu$  es la media global;  $\tau_i$  es el efecto del tratamiento;  $\beta_j$  es el efecto del bloque;  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental

**Tabla 5.** Matriz de diseño

Factor bloque (Tiempo de germinación - horas)	Tratamiento (Variedad de quinua)		
	QB	QR	QN
0	R <sub>1,1</sub>	R <sub>2,1</sub>	R <sub>3,1</sub>
24	R <sub>1,2</sub>	R <sub>2,2</sub>	R <sub>3,2</sub>
48	R <sub>1,3</sub>	R <sub>2,3</sub>	R <sub>3,3</sub>
72	R <sub>1,4</sub>	R <sub>2,4</sub>	R <sub>3,4</sub>

Las hipótesis a probar son:

Para tratamientos:

- Hipótesis nula:  $\tau_i = 0$
- Hipótesis alterna:  $\tau_i \neq 0$

Para bloque:

- Hipótesis nula:  $\beta_j = 0$
- Hipótesis alterna:  $\beta_j \neq 0$

La descripción de la prueba de hipótesis estadísticas para la prueba significativa del tratamiento a probar fue:

Hipótesis Nula – El contenido de proteína, fibra y micronutrientes minerales, así como el color y actividad de agua no presenta diferencia significativa entre las variedades de quinua germinada

La descripción de la prueba de hipótesis estadísticas para la prueba significativa del bloque a probar fue:

Hipótesis Nula – El contenido de proteína, fibra y micronutrientes minerales, así como el color y actividad de agua no presenta diferencia significativa con el tiempo de germinación.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Componentes químicos

#### 5.1.1. Contenido de proteínas

El contenido de proteínas se muestra en la Tabla 6, los valores oscilaron entre 9.01 a 9.97, 12.25 a 13.64 y 12.41 a 14.02 para quinua blanca, roja y negra respectivamente. Asimismo, se observa que la disponibilidad del contenido de proteínas aumento durante la germinación especialmente a las 72 h, hasta 10.65 % para quinua blanca, 11.35 % para quinua roja y 12.97 % para quinua negra. De acuerdo al análisis estadístico (P-value < 0,05), las diferencias en el contenido de proteínas entre las diferentes variedades fueron significativas, del mismo modo los tiempos de germinación. Esto indica que el proceso de germinación induce cambios bioquímicos y fisiológicos que promueven la síntesis y acumulación de proteínas (Awatif y Alaaeldin, 2017; Ma *et al.*, 2017).

**Tabla 6.** Contenido de proteínas de quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	Proteínas (g/100g b.s.)			Incremento (%)
		$\bar{x}$	$\pm$	s	
QB	0 h	9.01	$\pm$	0.02 <sup>a</sup>	
	24 h	9.74	$\pm$	0.01 <sup>b</sup>	8.10
	48 h	9.77	$\pm$	0.01 <sup>c</sup>	8.44
	72 h	9.97	$\pm$	0.02 <sup>d</sup>	10.65
QR	0 h	12.25	$\pm$	0.09 <sup>a</sup>	
	24 h	12.63	$\pm$	0.06 <sup>b</sup>	3.10
	48 h	13.35	$\pm$	0.07 <sup>c</sup>	8.98
	72 h	13.64	$\pm$	0.14 <sup>d</sup>	11.35
QN	0 h	12.41	$\pm$	0.05 <sup>a</sup>	
	24 h	12.46	$\pm$	0.07 <sup>b</sup>	0.40
	48 h	12.51	$\pm$	0.10 <sup>a</sup>	0.81
	72 h	14.02	$\pm$	0.01 <sup>c</sup>	12.97
P-value		0.00			

**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; S es la desviación estándar; QB es quinua blanca; QR es quinua roja; QN es quinua negra; b.s. es base seca; letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 1.

Durante la germinación del grano, las proteínas de almacenamiento se hidrolizan en péptidos y aminoácidos mediante enzimas proteolíticas después de 2 a 3 días desde la imbibición, lo que aumenta la biodisponibilidad de los nutrientes (Benincasa et al., 2019; Bewley et al., 2012; Jan et al., 2018). Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados por Chaparro (2010) quien reporto incrementos en la concentración de proteína cruda en semillas de amaranto (1,73 %), soya (2,26 %) y guandul (2,48 %) germinadas; por su parte Jan *et al.* (2018) reportaron incrementos de 17.75% para *Chenopodium album*, mientras que Jiménez *et al.* (2019) mostro aumentos aparentes en el contenido de proteínas de 12.32% para quinua cica, 8.45% para quinua Kamiri, 11.43% para amaranto Rosado y 6.91% para amaranto Mantegazzias, los cuales fueron confirmados con perfiles electroforéticos donde las proteínas, especialmente las de alto peso molecular, se hidrolizaban y movilizaban durante la germinación. Por otro lado, Pilco-Quesada *et al.* (2020) también reportaron incrementos relativos del contenido de proteína cruda en quinua y amaranto, finalmente la germinación se realizó con agua pura sin fuente adicional de nitrógeno, por lo que no se espera que cambie el contenido absoluto de proteína.

### **5.1.2. Contenido de fibra**

Los contenidos de fibras (Tabla 7) no cambiaron con la germinación, es decir no se observaron diferencias significativas (excepto en quinua blanca), resultados que coincidieron con Jiménez et al., (2019) para granos de quinua y amaranto germinados; Moongngarm y Saetung (2010) para arroz integral germinado; Pilco-Quesada et al., (2020) para quinua y kiwicha.

En cuanto al análisis estadístico, se apreció que existe diferencia significativa (P-value < 0,05), al comparar las variedades, estas diferencias se deben a factores genéticos característicos de cada subespecie de quinua, por su parte Dueñas et al., (2016) menciona que la variación del contenido de fibra depende del tipo de grano y las reacciones metabólicas que sufren las semillas durante la germinación para producir glucosa celulósica.

Por otro lado, se puede apreciar un ligero incremento en la disponibilidad del contenido de fibra, especialmente durante las 72 horas con valores de 20.63 %, 9.26 % y 6.11 % para las variedades de quinua blanca, roja y negra respectivamente. Este incremento puede estar relacionado con la descomposición de estructuras proteicas por enzimas hidrolíticas y el aumento de solubilidad de macromoléculas, que elevan los niveles de fibra soluble. Además, los cambios en la estructura celular durante la germinación generan mayor disponibilidad del contenido de fibras insolubles (Jan *et al.*, 2018). Por lo tanto, la germinación de semillas de quinua sería una forma efectiva de mejorar los niveles de fibra dietética, convirtiéndola en un ingrediente funcional de alto valor agregado (Pellegrini *et al.*, 2018).

**Tabla 7.** Contenido de fibras de quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	Fibra (g/100g b.s.)			Incremento (%)
		$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	
QB	0 h	3.15	$\pm$	0.01 <sup>a</sup>	
	24 h	3.20	$\pm$	0.01 <sup>b</sup>	1.59
	48 h	3.36	$\pm$	0.02 <sup>c</sup>	6.67
	72 h	3.80	$\pm$	0.02 <sup>d</sup>	20.63
QR	0 h	2.70	$\pm$	0.02 <sup>a</sup>	
	24 h	2.82	$\pm$	0.05 <sup>b</sup>	4.44
	48 h	2.88	$\pm$	0.01 <sup>b,c</sup>	6.67
	72 h	2.95	$\pm$	0.02 <sup>c</sup>	9.26
QN	0 h	3.60	$\pm$	0.05 <sup>a</sup>	
	24 h	3.65	$\pm$	0.01 <sup>a</sup>	1.39
	48 h	3.70	$\pm$	0.07 <sup>a</sup>	2.78
	72 h	3.82	$\pm$	0.02 <sup>b</sup>	6.11
P-value		0.00			

**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; *S* es la desviación estándar; QB es quinua blanca; QR es quinua roja; QN es quinua negra; b.s. es base seca; letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 2.

### 5.1.3. Micronutrientes minerales

Los micronutrientes minerales analizados fueron calcio, fósforo, hierro, magnesio y potasio (Tabla 8). Se encontraron diferencias significativas entre variedades y tiempos de germinación ( $P\text{-value} < 0.05$ ). El contenido de calcio osciló entre 91.70-93.50 mg/100g, 88.50-92.20 mg/100g y 52.80-60.20 mg/100g para las variedades blanca, roja y negra respectivamente. El

mayor valor se obtuvo en la quinua blanca germinada durante 72 horas. Por su parte, la concentración de fósforo varió entre 170.40-178.30 mg/100g, 328.20-347.10 mg/100g y 360.40-370.17 mg/100g en quinua blanca, roja y negra respectivamente. El mayor contenido se encontró en la variedad negra tras 24 horas de germinación.

**Tabla 8.** Contenido de micronutrientes minerales de quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	Calcio (mg/100 g)			Fósforo (mg/100 g)			Hierro (mg/100 g)			Magnesio (mg/100 g)			Potasio (mg/100 g)		
		$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>
QB	0 h	92.20	$\pm$	0.02 <sup>a,b</sup>	170.40	$\pm$	0.37 <sup>a,d</sup>	4.80	$\pm$	0.10 <sup>a</sup>	120.50	$\pm$	1.50 <sup>a</sup>	432.00	$\pm$	1.00 <sup>a</sup>
	24 h	91.70	$\pm$	0.04 <sup>a</sup>	177.50	$\pm$	0.40 <sup>b,c</sup>	4.20	$\pm$	0.05 <sup>b</sup>	142.00	$\pm$	1.01 <sup>b</sup>	437.14	$\pm$	0.34 <sup>b</sup>
	48 h	92.80	$\pm$	0.72 <sup>b,c</sup>	176.40	$\pm$	0.74 <sup>b</sup>	4.55	$\pm$	0.05 <sup>c</sup>	128.30	$\pm$	0.30 <sup>c</sup>	441.60	$\pm$	0.30 <sup>c</sup>
	72 h	93.50	$\pm$	0.26 <sup>c</sup>	178.30	$\pm$	0.75 <sup>c,d</sup>	4.65	$\pm$	0.09 <sup>a,c</sup>	131.50	$\pm$	0.10 <sup>d</sup>	448.30	$\pm$	0.61 <sup>d</sup>
QR	0 h	88.50	$\pm$	0.10 <sup>a</sup>	328.20	$\pm$	1.06 <sup>a</sup>	5.10	$\pm$	0.17 <sup>a</sup>	190.40	$\pm$	0.03 <sup>a</sup>	510.50	$\pm$	1.50 <sup>a</sup>
	24 h	86.40	$\pm$	0.56 <sup>a</sup>	334.60	$\pm$	1.44 <sup>b</sup>	5.50	$\pm$	0.62 <sup>a</sup>	196.33	$\pm$	0.58 <sup>b</sup>	517.60	$\pm$	1.90 <sup>b</sup>
	48 h	91.30	$\pm$	1.13 <sup>b</sup>	338.40	$\pm$	0.60 <sup>c</sup>	5.42	$\pm$	0.33 <sup>a</sup>	189.00	$\pm$	1.73 <sup>a,c</sup>	520.60	$\pm$	0.95 <sup>b</sup>
	72 h	92.20	$\pm$	1.06 <sup>b</sup>	347.10	$\pm$	1.56 <sup>d</sup>	5.64	$\pm$	0.55 <sup>a</sup>	193.20	$\pm$	0.13 <sup>d</sup>	524.90	$\pm$	1.01 <sup>c</sup>
QN	0 h	52.80	$\pm$	0.35 <sup>a</sup>	360.40	$\pm$	0.52 <sup>a</sup>	4.05	$\pm$	0.05 <sup>a</sup>	132.60	$\pm$	1.22 <sup>a</sup>	390.10	$\pm$	0.95 <sup>a</sup>
	24 h	55.60	$\pm$	0.53 <sup>b</sup>	370.17	$\pm$	0.76 <sup>b</sup>	4.80	$\pm$	0.20 <sup>b</sup>	140.10	$\pm$	0.17 <sup>b</sup>	398.40	$\pm$	0.40 <sup>b</sup>
	48 h	58.50	$\pm$	1.50 <sup>c</sup>	366.00	$\pm$	1.00 <sup>c</sup>	4.72	$\pm$	0.04 <sup>b</sup>	142.20	$\pm$	1.45 <sup>b</sup>	406.70	$\pm$	0.52 <sup>c</sup>
	72 h	60.20	$\pm$	0.35 <sup>c</sup>	368.80	$\pm$	1.31 <sup>d,b</sup>	5.11	$\pm$	0.10 <sup>c</sup>	156.00	$\pm$	1.11 <sup>c</sup>	402.50	$\pm$	1.50 <sup>d</sup>
P-value		0.00			0.00			0.00			0.00			0.00		

**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; *s* es la desviación estándar, QB es quinua blanca, QR es quinua roja, QN es quinua negra, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 3.

Respecto al hierro, los valores fluctuaron entre 4.20-4.80 mg/100g, 5.10-5.64 mg/100g y 4.05-5.11 mg/100g para las variedades blanca, roja y negra, siendo mayor en la quinua roja germinada por 72 horas. Los niveles de magnesio oscilaron entre 120.50-131.50 mg/100g, 189.00-196.33 mg/100g y 132.60-156.00 mg/100g, para las variedades blanca, roja y negra, con el pico máximo nuevamente en la quinua roja a las 24 horas de germinación. Finalmente, la concentración de potasio varió entre 432.00-448.30 mg/100g, 510.50-524.90 mg/100g y 390.10-406.70 mg/100g. El mayor valor se encontró en quinua roja germinada por 72 horas.



En general, se observan incrementos en la disponibilidad del contenido de calcio, fósforo, hierro, magnesio y potasio durante el proceso de germinación de las tres variedades de quinua. Estos cambios se atribuyen a las reacciones bioquímicas y activaciones enzimáticas típicas de la germinación (Darwish et al., 2021; Demir y Bilgiçli, 2020). Además, la concentración del antinutriente fitato, que almacena fósforo en cereales maduros, disminuye durante la germinación debido a la acción de fitasas, incrementando así la biodisponibilidad de fósforo y otros minerales (Benincasa et al., 2019; Elliott et al., 2022; Guardianelli et al., 2022; Maldonado-Alvarado et al., 2023). Los incrementos fueron mayores a 72 horas, concordando con estudios que reportan efectos positivos de tiempos prolongados de germinación en la calidad nutricional de quinua.

## **5.2. Propiedades físicas**

### **5.2.1. Color**

La evaluación de color es importante en la industria alimentaria al ser el primer atributo sensorial juzgado por los consumidores. Los resultados (Tabla 9) revelaron diferencias significativas en luminosidad, croma a\* y croma b\* entre tiempos de germinación y variedades de quinua ( $P < 0.05$ ). La luminosidad fluctuó entre 87.11 – 87.75, 76.01 – 79.14 y 73.73 – 78.13 para las variedades blanca, roja y negra respectivamente, siendo mayor en quinua blanca. Se observó una disminución de la luminosidad al incrementar el tiempo de germinación. Respecto al croma a\*, la variedad roja sin germinar presentó el mayor valor (3.24), mientras que para el croma b\* el nivel más alto se obtuvo en la quinua blanca (13.88). Además, ambos parámetros de cromaticidad aumentaron durante la germinación, denotando una tendencia hacia tonalidades rojizas y amarillentas. Los mayores cambios se presentan en la quinua blanca, cuya luminosidad cae 1.72 unidades y su cromaticidad b\* aumenta 6.21 unidades a las 72 horas. Estas variaciones se relacionan con reacciones de pardeamiento no enzimático que ocurren

durante la germinación, así como con la síntesis y acumulación de pigmentos carotenoides que le otorgan el color amarillento característico a este grano, tal como reportó Darwish *et al.*, (2021) con un 26.02% más de carotenoides en quinua germinada.

Del mismo modo, los valores de variación de color respecto al control (quinua no germinada, 0 horas), fueron muy variados ( $\Delta E > 3$ ) (Adekunte *et al.*, 2010), los niveles más altos de variación fueron 6.61, 5.76 y 7.65 para quinua blanca, roja y negra germinadas durante 72 h respectivamente, asimismo, los niveles de variación de color fueron aumentando con el tiempo de germinación, lo que indica una notable diferencias de color visual. Esta tendencia esperada se debe a que, a mayor tiempo de germinación, se intensifican las reacciones bioquímicas como la degradación de clorofilas, la formación de pigmentos carotenoides y compuestos de pardeamiento, que son los principales responsables de las transformaciones en la apariencia de color (Sarmiento-Aguilar y Pachari-Vera, 2022)

**Tabla 9.** Color de quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	Luminosidad			Croma a*			Croma b*			ΔE		
		$\bar{x}$	±	S	$\bar{x}$	±	S	$\bar{x}$	±	S	$\bar{x}$	±	S
QB	0 h	87.47	±	0.01 <sup>a</sup>	0.22	±	0.01 <sup>a</sup>	13.88	±	0.01 <sup>a</sup>			
	24 h	87.57	±	0.00 <sup>b</sup>	0.58	±	0.01 <sup>b</sup>	17.69	±	0.02 <sup>b</sup>	3.83	±	0.03 <sup>a</sup>
	48 h	87.11	±	0.05 <sup>c</sup>	0.89	±	0.01 <sup>c</sup>	19.09	±	0.04 <sup>c</sup>	5.26	±	0.03 <sup>b</sup>
	72 h	85.75	±	0.05 <sup>d</sup>	1.70	±	0.00 <sup>d</sup>	20.09	±	0.00 <sup>d</sup>	6.61	±	0.03 <sup>c</sup>
QR	0 h	76.01	±	0.02 <sup>a</sup>	3.24	±	0.01 <sup>a</sup>	12.07	±	0.01 <sup>a</sup>			
	24 h	79.14	±	0.45 <sup>b</sup>	2.39	±	0.08 <sup>b</sup>	13.51	±	0.03 <sup>b</sup>	3.55	±	0.41 <sup>a</sup>
	48 h	78.22	±	0.03 <sup>c</sup>	2.54	±	0.01 <sup>c</sup>	17.19	±	0.02 <sup>c</sup>	5.62	±	0.03 <sup>b</sup>
	72 h	77.64	±	0.00 <sup>d</sup>	2.74	±	0.00 <sup>d</sup>	17.58	±	0.02 <sup>d</sup>	5.76	±	0.02 <sup>b</sup>
QN	0 h	73.73	±	0.21 <sup>a</sup>	1.47	±	0.01 <sup>a</sup>	9.14	±	0.01 <sup>a</sup>			
	24 h	78.13	±	0.04 <sup>b</sup>	0.98	±	0.01 <sup>b</sup>	9.53	±	0.01 <sup>b</sup>	4.45	±	0.25 <sup>a</sup>
	48 h	77.01	±	0.81 <sup>c</sup>	1.18	±	0.07 <sup>c</sup>	11.24	±	0.02 <sup>c</sup>	3.92	±	0.58 <sup>a</sup>
	72 h	74.56	±	0.14 <sup>d</sup>	3.00	±	0.01 <sup>d</sup>	16.60	±	0.01 <sup>d</sup>	7.65	±	0.02 <sup>b</sup>
P-value		0.00			0.00			0.00			0.92		

**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; S es la desviación estándar, QB es quinua blanca, QR es quinua roja, QN es quinua negra, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 4.

El índice de blancura y color se presentan en la Tabla 10, los resultados muestran que los niveles del IB e IC presentaron diferencia significativa (Anexo E) entre los tiempos de

germinación y variedades de quinua además los valores oscilaron entre 75.31 a 81.30, 71.43 a 75.03 y 69.47 a 76.13 para quinua blanca, roja y negra respectivamente, lo que indica que la harina de quinua no presenta una coloración blanca ideal, sino un color blanco amarillento, respecto al índice de color, los valores para quinua blanca, roja y negra presentaron valores entre 0.18 a 0.99, 1.89 a 3.53 y 1.31 a 2.42 respectivamente indicando tendencias de color amarillo claro (Choque *et al.*, 2022).

**Tabla 10.** Índices de blancura y color de quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	IB			IC		
		$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>
QB	0 h	81.30	$\pm$	0.01 <sup>a</sup>	0.18	$\pm$	0.00 <sup>a</sup>
	24 h	78.37	$\pm$	0.01 <sup>b</sup>	0.38	$\pm$	0.01 <sup>b</sup>
	48 h	76.95	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>	0.53	$\pm$	0.01 <sup>c</sup>
	72 h	75.31	$\pm$	0.03 <sup>d</sup>	0.99	$\pm$	0.00 <sup>d</sup>
QR	0 h	72.95	$\pm$	0.02 <sup>a</sup>	3.53	$\pm$	0.01 <sup>a</sup>
	24 h	75.03	$\pm$	0.39 <sup>b</sup>	2.24	$\pm$	0.08 <sup>b</sup>
	48 h	72.14	$\pm$	0.01 <sup>c</sup>	1.89	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>
	72 h	71.43	$\pm$	0.02 <sup>d</sup>	2.01	$\pm$	0.00 <sup>d</sup>
QN	0 h	72.15	$\pm$	0.20 <sup>a</sup>	2.19	$\pm$	0.01 <sup>a</sup>
	24 h	76.13	$\pm$	0.04 <sup>b</sup>	1.31	$\pm$	0.01 <sup>b</sup>
	48 h	74.38	$\pm$	0.73 <sup>c</sup>	1.37	$\pm$	0.58 <sup>b</sup>
	72 h	69.47	$\pm$	0.12 <sup>d</sup>	2.42	$\pm$	0.01 <sup>c</sup>
P-value		0.00			0.00		

**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; S es la desviación estándar, QB es quinua blanca, QR es quinua roja, QN es quinua negra, IB es índice de blancura, IC es índice de color, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 4.

### 5.2.2. Actividad de agua

La actividad de agua (*aw*) de las variedades de quinua blanca, roja y negra fluctuó entre 0.10-0.25, 0.11-0.25 y 0.10-0.12 respectivamente (Tabla 11). El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre variedades y tiempos de germinación ( $P\text{-value} < 0.05$ ).

La actividad de agua inicial (tiempo 0h) fue más baja en la quinua negra (0.11) en comparación con la quinua blanca (0.22) y roja (0.23). En las tres variedades, la actividad de agua disminuyó a las 24h de germinación. Esto se debe a que en las primeras etapas de la germinación se utiliza

el agua disponible para procesos metabólicos asociados a la germinación (Lemmens, *et al.*, 2019). A partir de las 48h se observa un incremento de la actividad de agua en la quinua blanca y roja, alcanzando los mayores valores a las 72h (0.25 en ambos casos). Las diferencias en actividad de agua entre variedades se basan en las características intrínsecas de cada una, como composición, que afectan su capacidad de absorción y retención de agua durante la germinación para diferentes cereales (Kaur y Gill, 2021).

Guardianelli *et al.*, (2022) informaron valores superiores de aw en muestras de quinuas roja y blanca tanto germinadas como sin germinar. Si bien los valores de actividad acuosa fueron inferiores a 0.3 en todos los casos, indicando estabilidad microbiológica, algunos resultados por debajo 0.2 podrían acelerar la oxidación lipídica y reducir la vida útil de productos derivados, tal como señala Fontana (2000).

**Tabla 11.** Actividad de agua quinuas germinadas

Variedad	Tiempo de germinación	Actividad de Agua		
		$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>
QB	0 h	0.22	$\pm$	0.00 <sup>a</sup>
	24 h	0.10	$\pm$	0.00 <sup>b</sup>
	48 h	0.24	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>
	72 h	0.25	$\pm$	0.00 <sup>d</sup>
QR	0 h	0.23	$\pm$	0.00 <sup>a</sup>
	24 h	0.11	$\pm$	0.00 <sup>b</sup>
	48 h	0.25	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>
	72 h	0.24	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>
QN	0 h	0.11	$\pm$	0.00 <sup>a</sup>
	24 h	0.10	$\pm$	0.00 <sup>b</sup>
	48 h	0.12	$\pm$	0.00 <sup>c</sup>
	72 h	0.12	$\pm$	0.00 <sup>d</sup>
P-value		0.00		

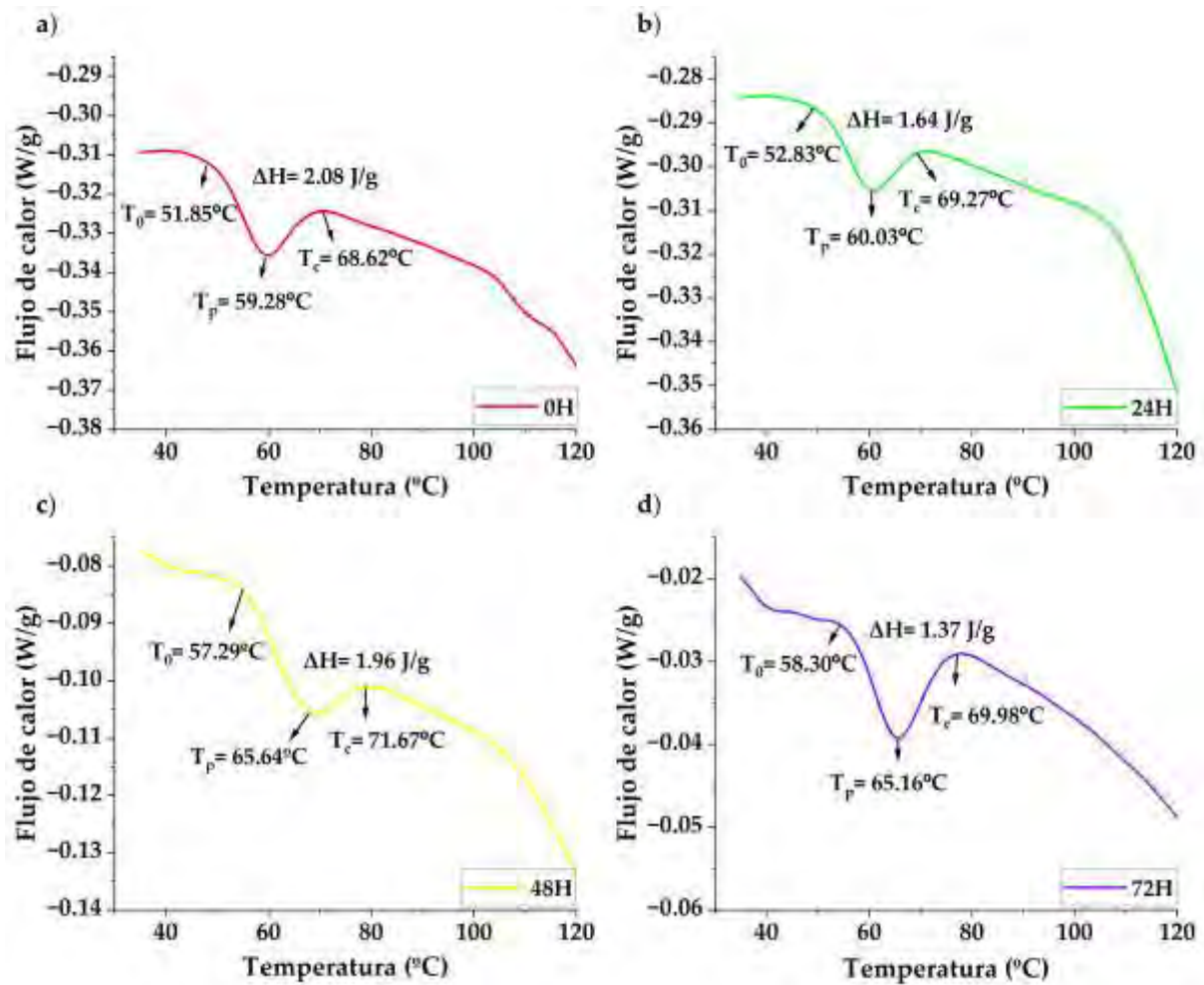
**Nota:**  $\bar{x}$  es la media; S es la desviación estándar, QB es quinua blanca, QR es quinua roja, QN es quinua negra, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con  $\alpha = 5\%$ . Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 5.

### 5.3. Propiedades térmicas

#### 5.3.1. Temperatura y entalpía de gelatinización

La temperatura y entalpía de gelatinización se determinó mediante calorimetría diferencial de barrido, los resultados se muestran en las Figura 3, 4 y 5 para quinua blanca, negra y roja, respectivamente. Los termogramas muestran similitud de la temperatura de gelatinización con valores de hasta 65.40°C para quinua blanca, 63.36°C para quinua negra y 61.31°C para quinua roja. Estos resultados fueron similares a los reportados por Contreras-Jiménez (2019) para harina de quinua de la variedad Real (63.13°C), por Jan *et al.*, (2018) para quinua C. álbum (68.5°C), por Guardianelli *et al.*, (2022) para quinua blanca (66°C) y roja germinada (72°C), por Vicente *et al.*, (2023) para harina de trigo sarraceno con valores entre 67 a 71°C, asimismo se pudo apreciar un ligero incremento en la temperatura de gelatinización con el tiempo de germinación, vinculado a las interacciones amilosa-amilosa, amilosa-amilopectina y amilosa-lípido, debido a que estas interacciones suprimen la movilidad de las cadenas de almidón a las regiones amorfas, por lo tanto, las regiones amorfas requerirán una temperatura más alta para provocar un hinchamiento que puede contribuir a la ruptura de las regiones cristalinas (Vicente *et al.*, 2023). Por otro lado, la entalpía de gelatinización fue menor en las quinuas germinadas, atribuidas a la actividad enzimática durante la germinación, que generan el incremento del contenido de dextrina y azúcares fermentables, responsables de la ligera reducción en el valor de la entalpía de gelatinización (Cornejo *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2020), del mismo modo el incremento del contenido de fibra podría ser responsable de la disminución del valor de entalpía de gelatinización, debido a la capacidad de retención de agua que presenta (Sabanis *et al.*, 2009).

**Figura 4.** Temperatura y entalpía de gelatinización de Quinua Blanca a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h

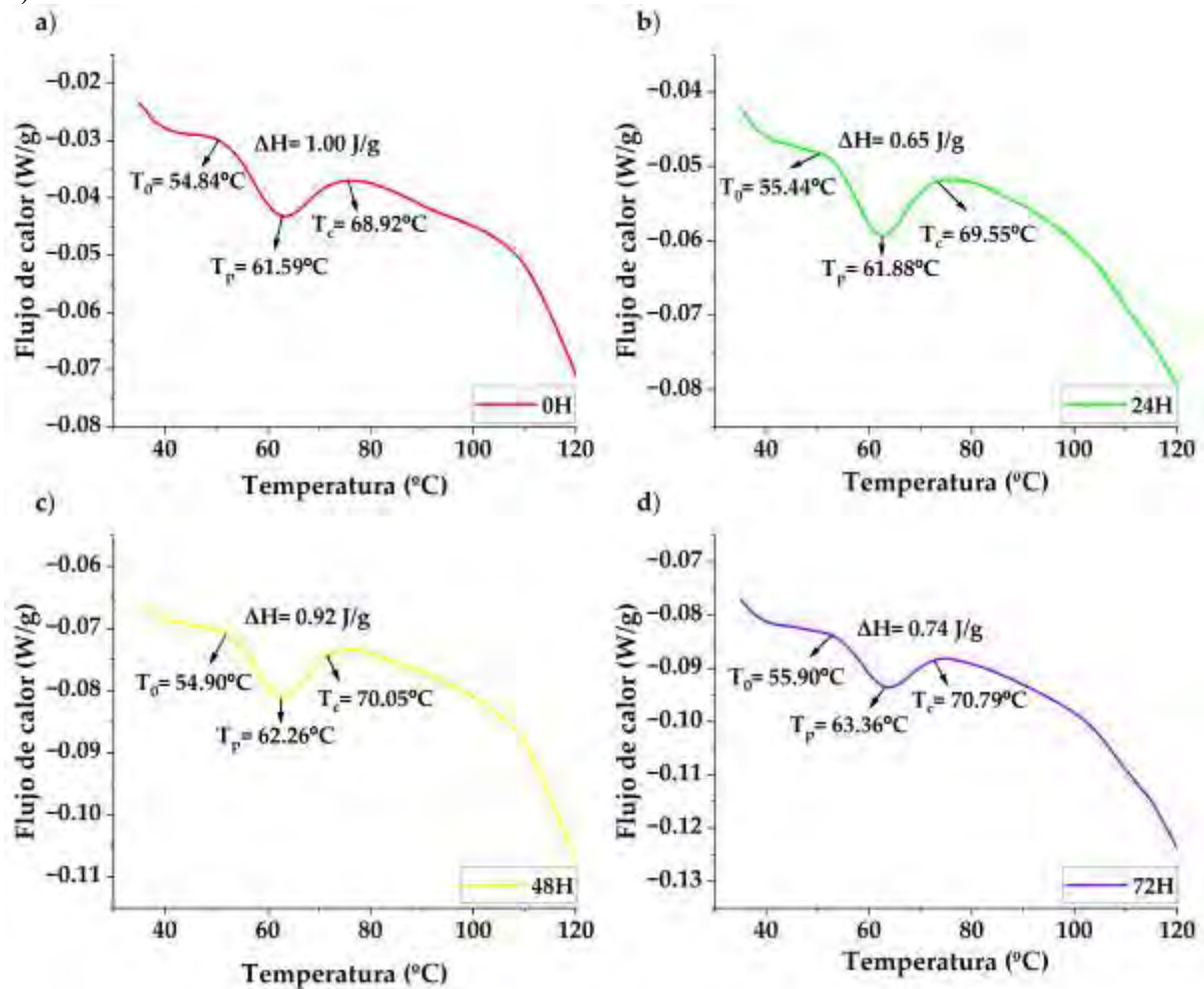


La Figura 3 muestra los termogramas de calorimetría diferencial de barrido para la quinua blanca sin germinar (3a) y germinada durante 24h (3b), 48h (3c) y 72h (3d). En el termograma se observan los picos correspondientes al proceso de gelatinización del almidón. El pico inicial indica la temperatura de inicio ( $T_0$ ), que es cuando comienza el proceso. El pico máximo corresponde a la temperatura de pico ( $T_p$ ), que indica el punto medio del proceso. Finalmente, el pico final representa la temperatura de conclusión ( $T_c$ ).

En la muestra de quinua blanca sin germinar (3a) se obtuvieron valores de  $T_0 = 51.85^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 59.28^\circ\text{C}$  y  $T_c = 68.62^\circ\text{C}$ . Además, se reporta un valor de entalpía ( $\Delta H$ ) de 2.08 J/g, que es la energía necesaria para que ocurra la transición de gelatinización.

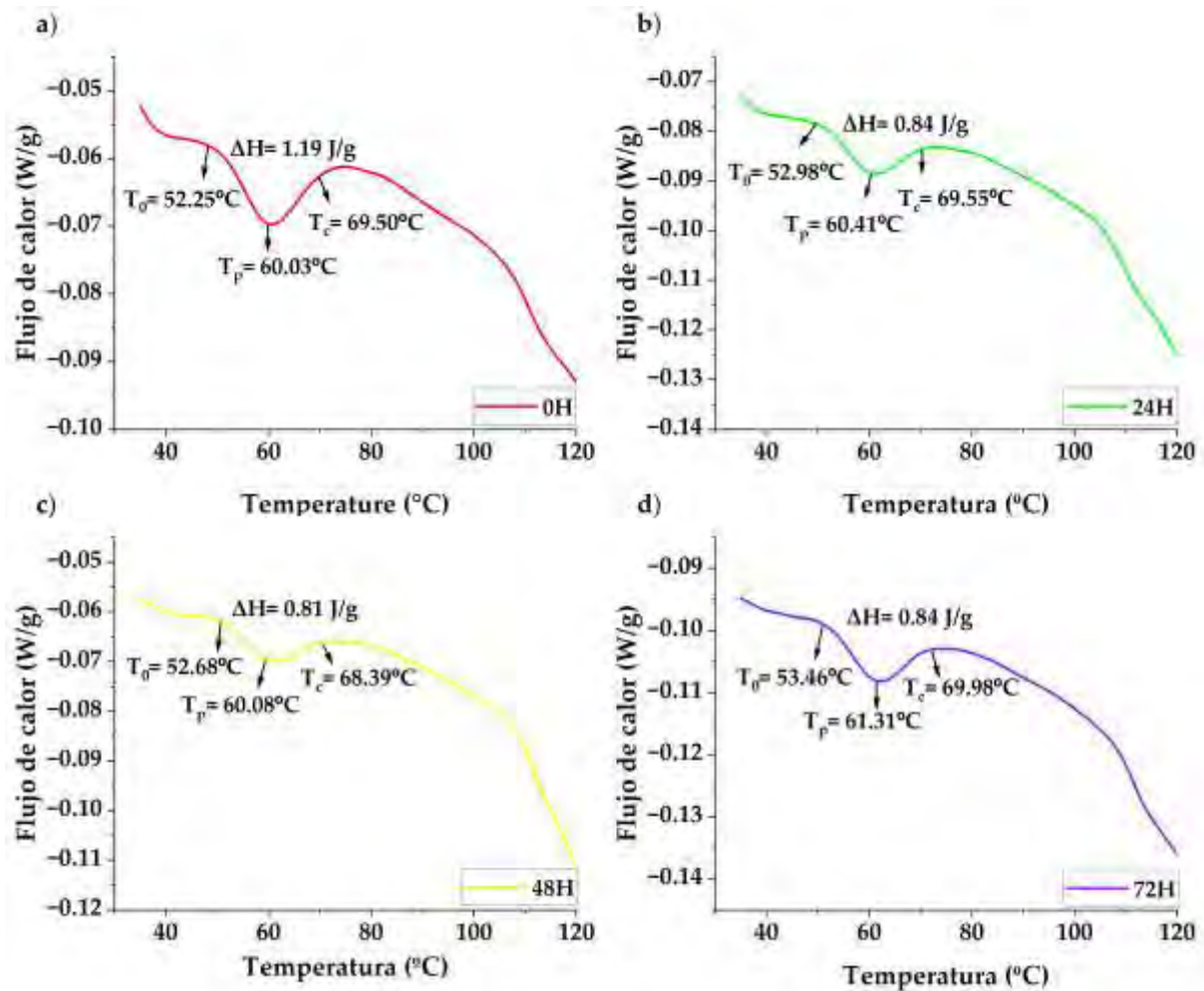
Conforme aumenta el tiempo de germinación, se observa un ligero incremento de las temperaturas  $T_0$ ,  $T_p$  y  $T_c$ . Por ejemplo, a las 72 horas (3d), los valores fueron  $T_0 = 58.30^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 65.16^\circ\text{C}$  y  $T_c = 69.98^\circ\text{C}$ . Esto indica que se requiere más temperatura para gelatinizar el almidón en las muestras germinadas. Asimismo, los valores de  $\Delta H$  disminuyeron a  $1.37 \text{ J/g}$ , mostrando que se necesita menos energía para la gelatinización después de la germinación.

**Figura 5.** Temperatura y entalpía de gelatinización de Quinua Negra a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h



En la muestra sin germinar (4a) se obtuvieron valores de  $T_0 = 54.84^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 61.59^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 68.92^\circ\text{C}$  y  $\Delta H = 1.00 \text{ J/g}$ . Con el aumento del tiempo de germinación se observa un pequeño incremento de las temperaturas de gelatinización, donde a 72h (4d) fueron  $T_0 = 55.90^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 63.36^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 70.79^\circ\text{C}$ . La  $\Delta H$  disminuyó a  $0.74 \text{ J/g}$  a las 72h.

**Figura 6.** Temperatura y entalpía de gelatinización Quinua Roja a) 0 h b) 24 h, c) 48 h y d) 72 h



Para la muestra sin germinar (5a) los valores fueron  $T_0 = 52.25^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 60.03^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 69.50^\circ\text{C}$  y  $\Delta H = 1.19 \text{ J/g}$ . Después de 72h de germinación (5d) las temperaturas se incrementaron a  $T_0 = 53.46^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 61.31^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 69.98^\circ\text{C}$ , mientras que la  $\Delta H$  disminuyó a  $0.84 \text{ J/g}$ .

En ambos casos (quinua negra y roja) las temperaturas de gelatinización aumentan y la entalpía disminuye con la germinación, similar a lo observado en la quinua blanca.

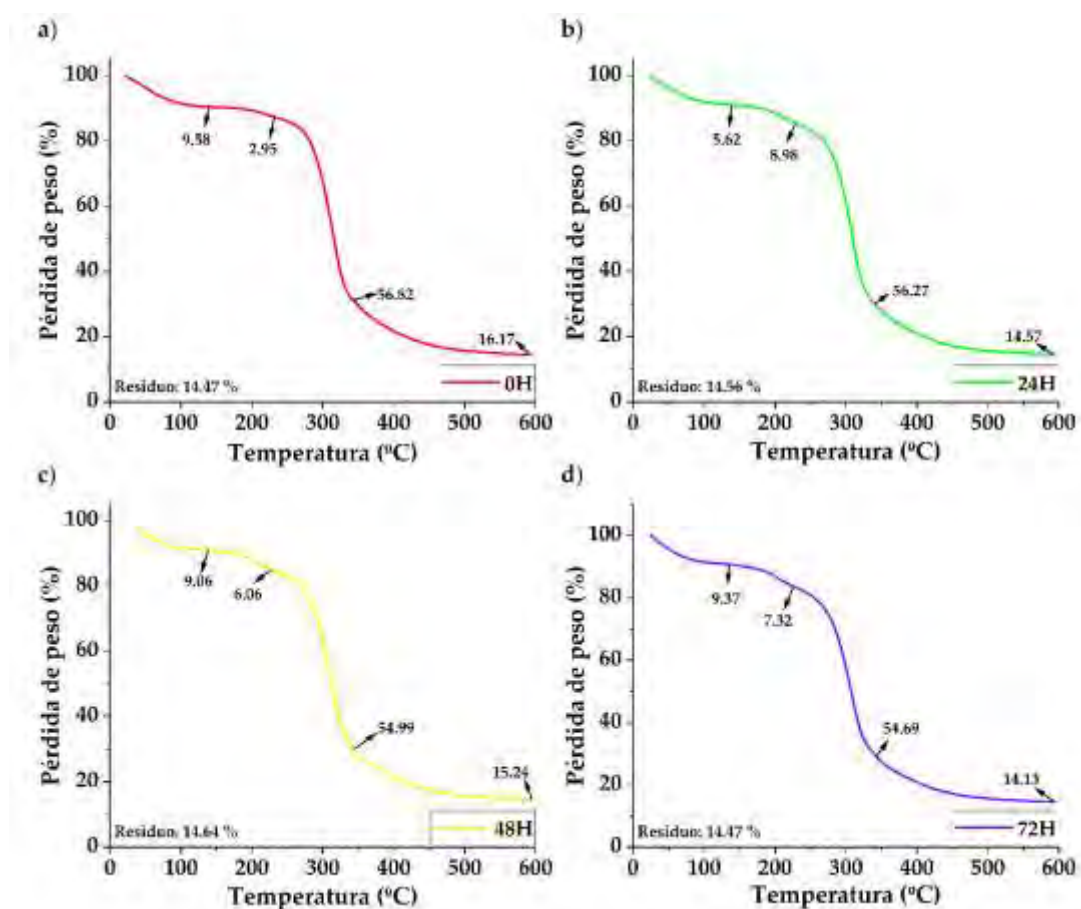
### 5.3.2. Estabilidad térmica

La estabilidad térmica de las muestras de variedades de quinuas a diferentes tiempos de germinación se determinó mediante termogravimetría, los resultados se muestran en las Figura 6, 7 y 8. Los termogramas muestran similitud en cuanto a las fases de pérdida de masa, la

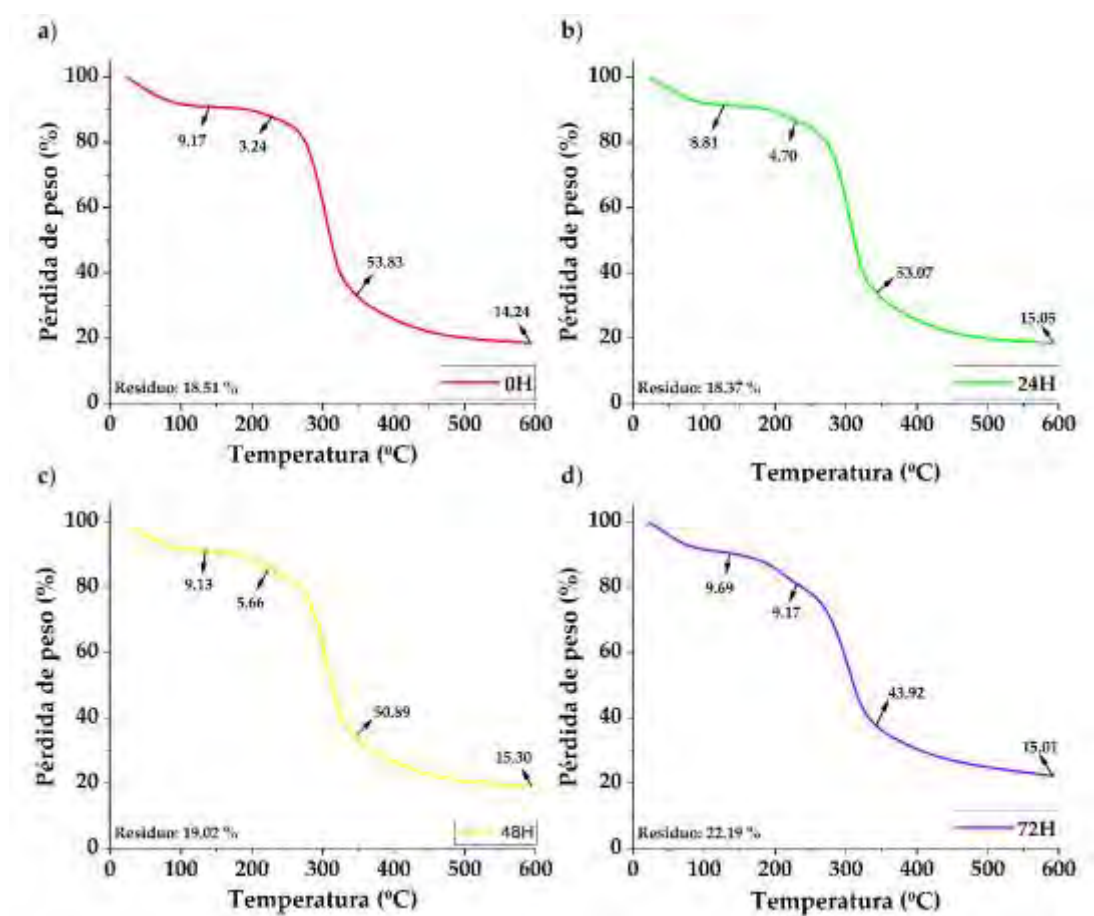


primera fase se presentó por debajo de los 100°C, con pérdidas de agua y la segunda fase por debajo de 230°C, la pérdida de masa en estas fases se debe a la presencia de compuestos volátiles de bajo peso molecular. Finalmente la tercera fase inicio por encima de los 230°C, donde se rompieron los enlaces no covalentes como enlaces de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares, enlaces electrostáticos e interacciones hidrofóbicas, posteriormente la degradación se debió a la ruptura de enlaces covalentes entre -C-N, -C(O)-NH y -C(O)-NH<sub>2</sub> de residuos de aminoácidos a medida que se incrementa la temperatura, finalmente la proteína se degrado completamente acompañada de gases como CO, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> y la pendiente de la curva termogravimétrica cambio y la pérdida de masa se ralentizo, por acción de la oxidación de las harinas bajo el flujo de aire. Estudios similares fueron reportados por Consumi *et al.* (2022) para muestras de harina de trigo.

**Figura 7.** Estabilidad térmica de Quinoa Blanca a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h

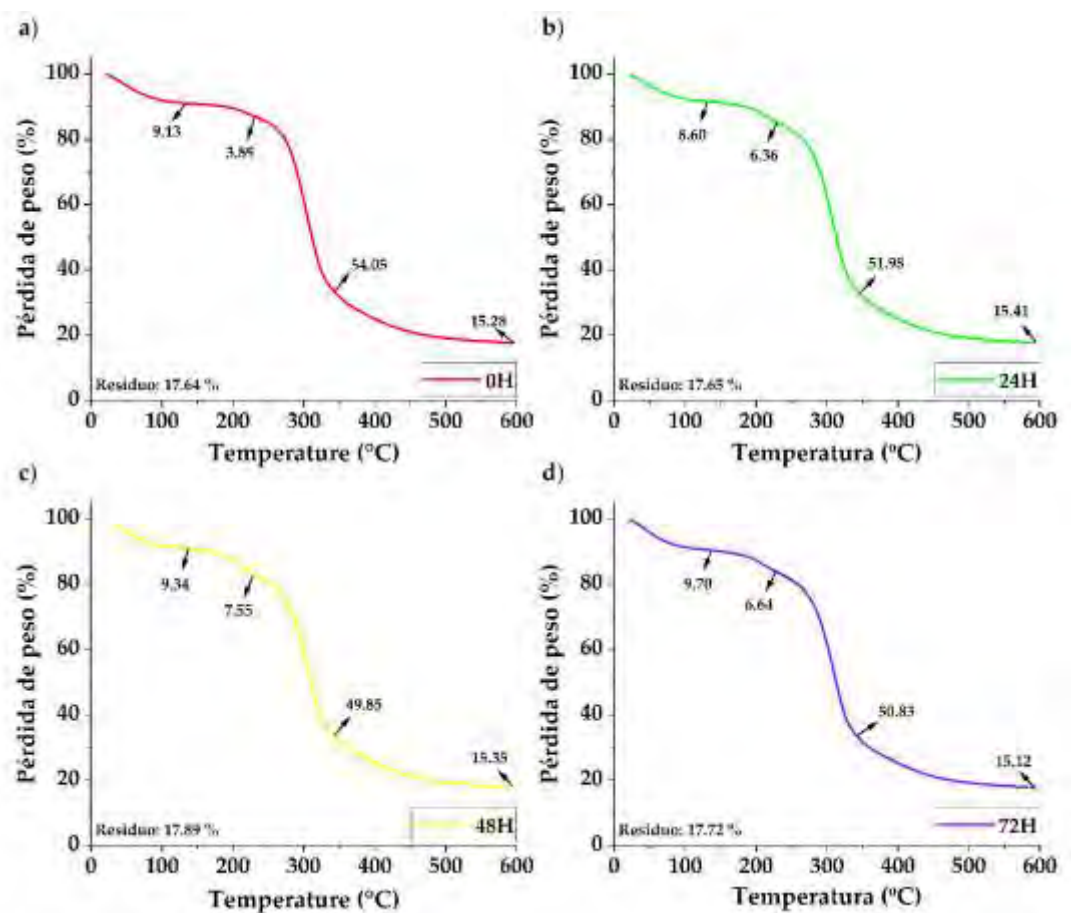


**Figura 8.** Estabilidad térmica de Quinua Negra a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h



Por otra parte, se observó un peso residual (%) de hasta 14.64% para quinua blanca, 22.19% para quinua negra y 17.89% para quinua roja. La estabilidad del material se relacionó con la pérdida de peso, cuanto mayor es la pérdida de masa, menor será la estabilidad del material y viceversa. En ese sentido, la pérdida de peso en la quinua blanca confirma la menor estabilidad con el incremento de la temperatura comparada con la quinua negra y roja.

**Figura 9.** Estabilidad térmica de Quinua Roja a) 0 h b) 24 h, c) 48 h, d) 72 h

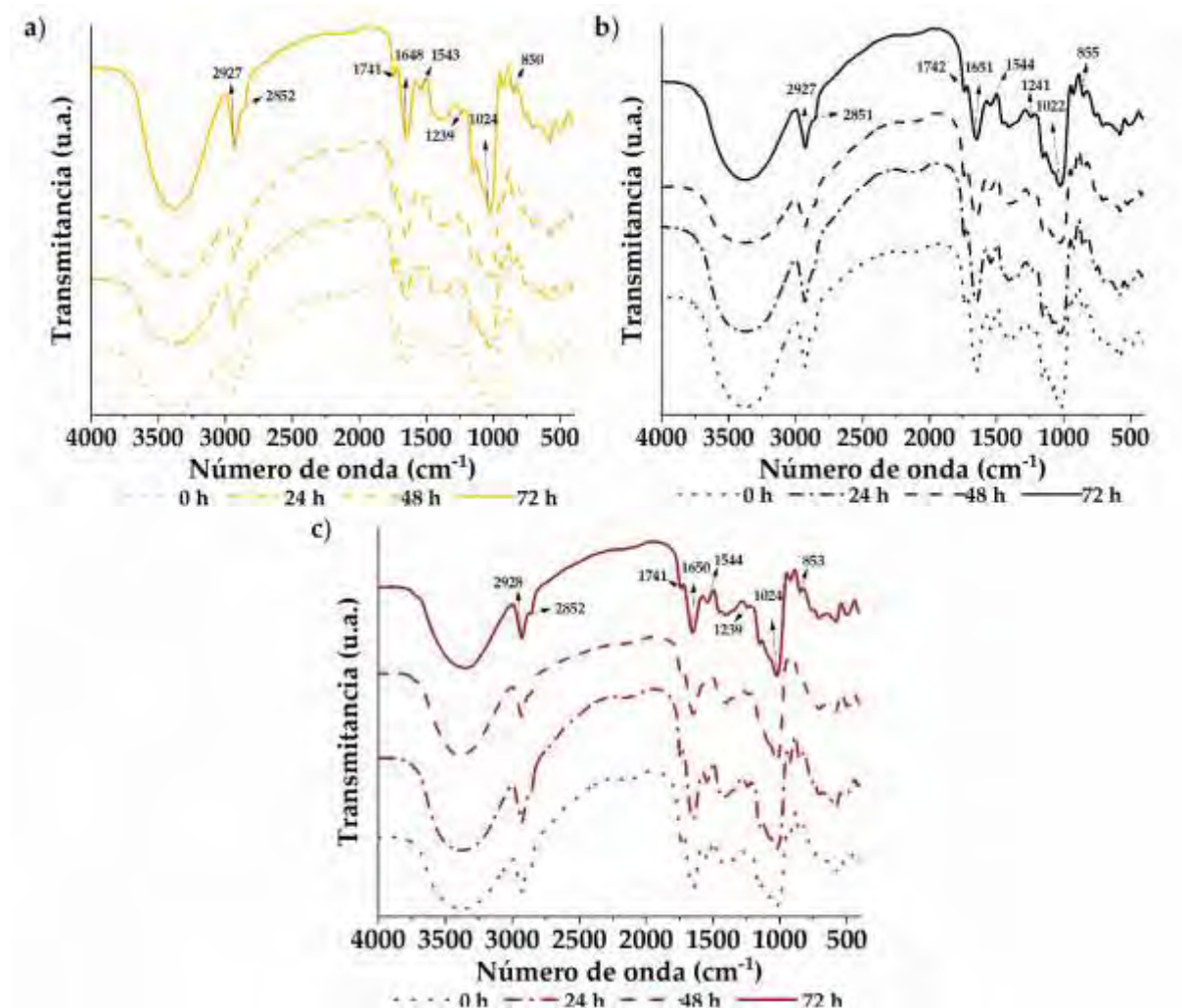


#### 5.4. Propiedades estructurales: Grupos funcionales

Los espectros infrarrojos de las variedades de quinuas germinadas a 0 h, 24 h, 48 h y 72 h, se muestran en la Figura 9, se realizó un análisis vibracional a través de módulo de transmisión, para estudiar los grupos funcionales de las muestras. Los espectros fueron similares para las variedades y tiempos de germinación, se encontraron grupos característicos para las muestras, compuestas por  $-CH$ ,  $-CH_2$ ,  $C-OH$  y  $-OH$  en las longitudes de onda de 2927, 2851, 1023, 852  $cm^{-1}$  respectivamente, asimismo, el grupo  $-C=O$  se ubicó en la longitud de onda de 1741, la cual podría ser un aporte de ácidos carboxílicos o grasas presentes dentro de la harina. Las bandas a 1649 y 1543  $cm^{-1}$  pueden atribuirse a la amida I y a la amida II, respectivamente. Estas dos bandas se encuentran asociadas a combinaciones de modos de vibración de los grupos

amino de los aminoácidos en las estructuras proteicas y son particularmente importantes porque reflejan las modificaciones de la estructura de la proteína secundaria (Contreras-Jiménez et al., 2019). Además, las muestras mostraron una banda de señal a  $1239\text{ cm}^{-1}$  (modo vibracional de C-N), asociado a aminoácidos. Resultados similares fueron reportados por Contreras-Jiménez *et al.*, (2019) para harina de quinua, del mismo modo por García-Salcedo *et al.*, (2018) para harina de quinua, chía y kiwicha.

**Figura 10.** Grupos funcionales quinua a) Blanca, b) Negra, c) Roja



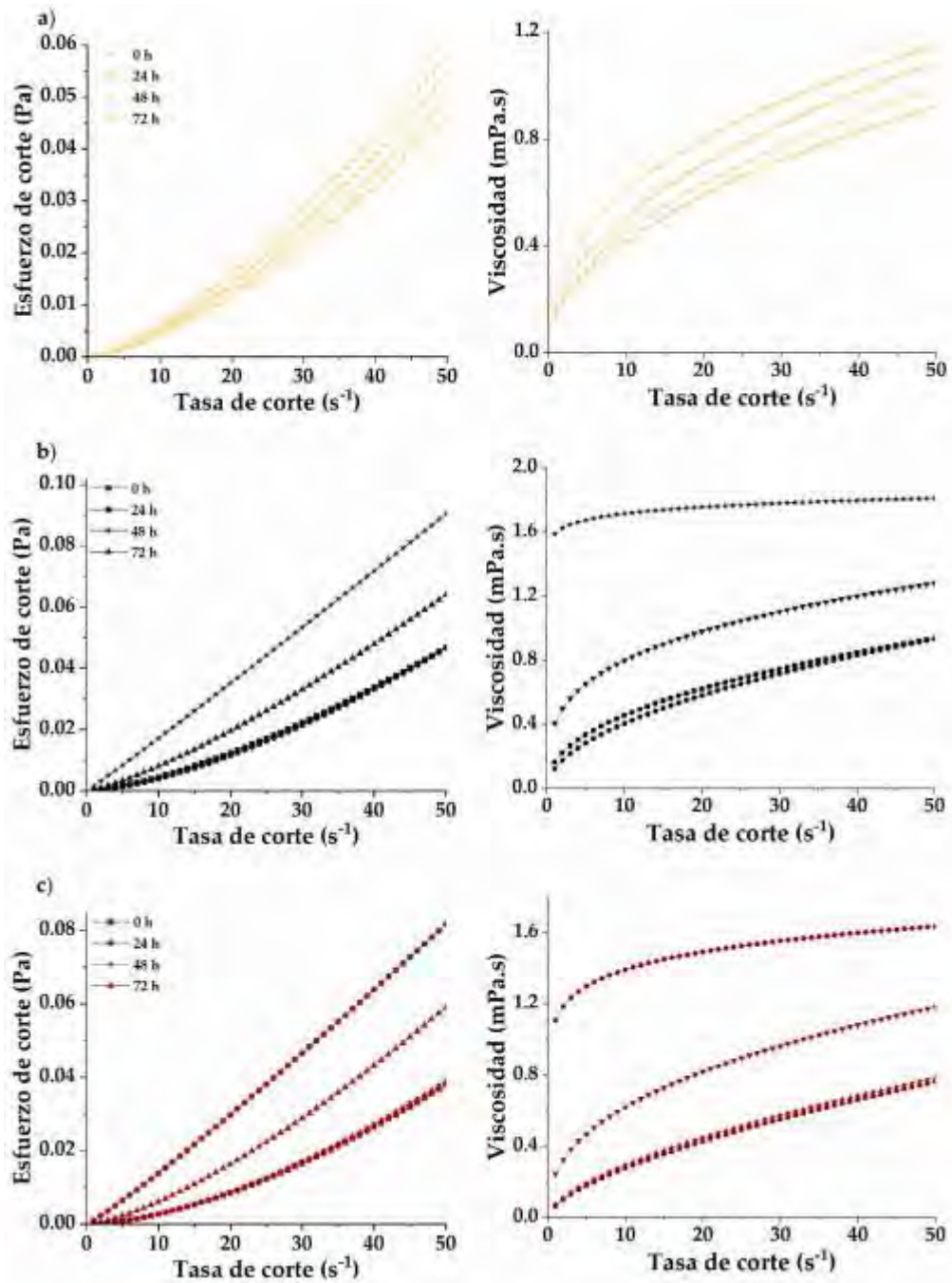
Por otro lado, realizando un análisis de los espectrogramas, es posible apreciar la diferencia de intensidades en todo el espectro de las muestras, especialmente en las bandas características de

500 a 2000  $\text{cm}^{-1}$ . La muestra nativa presentó mayores intensidades, pero, no se notó la formación de nuevos grupos funcionales con la aplicación del tiempo de germinación.

### **5.5. Propiedades reológicas**

El comportamiento experimental de esfuerzo cortante y viscosidad aparente de las variedades de quinua blanca, negra y roja germinadas se muestran en las Figura 10. Las suspensiones de harina al 5% fueron colocadas en la taza del cilindro del reómetro, se acciono el desplazamiento del cono superior hacia la muestra hasta alcanzar la distancia de medición, las muestras fueron sometidas a un ciclo de deformación. El estudio mostró que la viscosidad de las quinuas germinadas blanca, roja y negra, bajo el mismo esfuerzo de corte aumento con el incremento de la tasa de corte, además exhibiendo una tendencia de espesamiento por cizallamiento (dilatante,  $n > 1$ ), este tipo de comportamiento se ha observado en muchos materiales alimenticios especialmente harinas y almidones, los cuales estarían atribuido a la ruptura de unidades estructurales del producto por fuerzas hidrodinámicas (Jan *et al.*, 2018), por lo tanto, las características reológicas de las muestras dependen del cambio de temperatura, velocidad de corte, además de la estructura, cantidad, variedad y otros componentes presentes en las muestras de variedades de quinuas.

**Figura 11.** Curvas de viscosidad y esfuerzo de corte para a) Quinua blanca, b) Quinua negra, y c) Quinua roja



Los modelos reológicos de las variedades de quinuas se muestran en las Tablas 12, los resultados mostraron coeficiente  $R^2$  superiores a 0.9761 para la Ley de Potencia,  $R^2$  mayor a 0.8422 para modelo de Bingham plastic y  $R^2$  por encima de 0.9822 para el modelo de Herschel-Bulkley El modelo de Herschel – Bullkey, empleado se ajustó muy bien a los datos experimentales con valores de  $R^2$  superiores a 0.9884 para quinua blanca, 0.9842 para quinua

negra, 0.9822 para quinua roja, asimismo, los estadígrafos SRC fueron menores para el modelo Herschel - Bulkye.

**Tabla 12.** Parámetros reológicos y estadígrafos para quinua blanca

Variedad	Modelo	Parámetros	0 h	24 h	48 h	72 h
Quinua blanca	Ley de potencia	$k (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0136	0.0173	0.0148	0.0242
		$n$	1.4901	1.4695	1.4851	1.3987
		$R^2$	0.9866	0.9908	0.9877	0.9798
		SRC	0.0325	0.0288	0.0324	0.0543
	Bingham plastic	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.0000	0.0000	0.3860	0.0000
		$nB (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.1780	0.2040	0.1870	0.1910
		$R^2$	0.8806	0.8897	0.8927	0.9220
		SRC	0.2882	0.3451	0.2822	0.2099
	Herschel – Bulkley	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.3160	0.2460	1.2120	2.9970
		$kH (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0113	0.0153	0.0073	0.0040
		$n$	1.5230	1.4917	1.6150	1.7291
		$R^2$	0.9999	0.9999	0.9999	0.9884
Quinua negra	Ley de potencia	$k (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0163	0.0124	0.1590	0.0407
		$n$	1.4475	1.5158	1.0335	1.2933
		$R^2$	0.9854	0.9866	0.9785	0.9841
		SRC	0.0322	0.0347	0.0500	0.0401
	Bingham plastic	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.0000	0.0000	0.3860	0.0000
		$nB (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.1710	0.1840	0.1850	0.1870
		$R^2$	0.8915	0.8849	0.9784	0.9461
		SRC	0.2396	0.2967	0.0503	0.1358
	Herschel – Bulkley	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.2300	1.3650	3.0010	2.2100
		$kH (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0143	0.0054	0.0441	0.0128
		$n$	1.4716	1.6702	1.2651	1.5046
		$R^2$	0.9999	0.9999	0.9842	0.9884
Quinua roja	Ley de potencia	$k (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0066	0.1110	0.0073	0.0247
		$n$	1.6261	1.0991	1.6071	1.4008
		$R^2$	0.9864	0.9761	0.9866	0.9852
		SRC	0.0326	0.0554	0.0316	0.0430
	Bingham plastic	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		$nB (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.1750	0.1820	0.1740	0.1980
		$R^2$	0.8422	0.9725	0.8541	0.9217
		SRC	0.3773	0.0637	0.3447	0.2277
	Herschel – Bulkley	$\tau_y (x10^{-2} Pa)$	0.4840	2.9430	0.8940	2.3700
		$kH (x10^{-2} Pa.s^n)$	0.0048	0.0278	0.0040	0.0069
		$n$	1.6838	1.3506	1.7171	1.6354
		$R^2$	0.9999	0.9822	0.9999	0.9902
		SRC	0.0318	0.0412	0.0292	0.0284

Nota:  $\tau$  es esfuerzo de corte,  $\dot{\gamma}$  es tasa de corte,  $n$  es índice de comportamiento de flujo,  $k$  es índice de consistencia,  $\tau_y$  es el límite elástico,  $\eta_B$  es la viscosidad plástica,  $k_H$  es índice de consistencia. Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Apéndice 6.

## CONCLUSIONES

1. La germinación mejoró la disponibilidad de los componentes químicos (proteína, fibra y micronutrientes minerales) con un mayor tiempo de germinación, especialmente durante las 72 h, con aumentos relativos de hasta 12.97% de proteínas para quinua negra, 20.63% de fibra para quinua blanca.
2. La germinación redujo la luminosidad y aumentó el croma a y b de la quinua. La quinua negra tuvo la menor luminosidad (74.56) y la mayor intensidad de color rojizo (croma a 3.00). La quinua roja alcanzó el mayor croma b (20.09), indicando intensificación del color amarillo. Los índices de blancura y color mostraron que todas las muestras adquirieron tonalidad amarillenta. La quinua negra germinada presentó la menor actividad de agua (0.12).
3. Los termogramas mostraron similitud de la temperatura de gelatinización respecto al tiempo de germinación, mientras que la entalpía de gelatinización fue menor para las quinuas germinadas, por otro lado, la quinua blanca fue la variedad que presentó una menor estabilidad térmica.
4. El análisis FTIR, reporto presencia de grupos  $-\text{CH}-$ ,  $-\text{CH}_2-$ ,  $\text{C}-\text{OH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{C}=\text{O}$ , amida I, amida II y  $-\text{C}-\text{N}$ . La quinua sin germinar presentó mayores intensidades, pero, no se notó la formación de nuevos grupos funcionales con la aplicación del tiempo de germinación.
5. Las harinas de quinua germinada en pasta mostro comportamiento no Newtoniano del tipo dilatante ( $n > 1.0$ ), exhibiendo una tendencia de espesamiento por cizallamiento.
6. La germinación produce cambios favorables en las propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y reológicas de variedades de quinua, lo cual permite mejorar su calidad nutricional y funcional relevantes para aplicaciones alimentarias, sin embargo, la magnitud de los efectos depende de la variedad y el tiempo de germinación



## **RECOMENDACIONES**

1. Promover el consumo de productos germinados procedentes de variedades de quinua.
2. Evaluar los compuestos bioactivos de semillas germinados.
3. Optimizar el proceso de germinado para diferentes semillas.
4. Realizar estudios con otras variedades de quinua y granos andinos.
5. Realizar un estudio de empastamiento de las harinas de quina germinada.
6. Realizar un estudio de la estabilidad en anaquel a través de isothermas de adsorción.
7. Aplicar los germinados en la producción y elaboración de alimentos con base a quinua.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abbas, K. A., Mohammed, A., Saleh, A. M., & Ebrahimian, M. (2010). Suitability of viscosity measurement methods for liquid food variety and applicability in food industry - A review. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 100-107.
- Abugoch James, L. E. (2009). Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 58, pp. 1-31). Academic Press.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., & O'Donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500-507.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026>
- Aguilar, J., Miano, A. C., Obregón, J., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2019). Malting process as an alternative to obtain high nutritional quality quinoa flour. *Journal of Cereal Science*, 90, 102858.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102858>
- Ai, Y. & Jane, J.-l. (2015), Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch - Stärke*, 67: 213-224. <https://doi.org/10.1002/star.201400201>
- Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- AOAC. (Association of Oficial Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia, p1000-1050.
- Apaza, V. Cáceres, G. Estrada, R. y Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Lima: INIA

- Atudorei, D., & Codină, G. G. (2020). Perspectives on the Use of Germinated Legumes in the Bread Making Process, A Review. *Applied Sciences*, 10(18).
- Awatif, S. A., & Alaaeldin, A. E. (2017). Metabolic Processes During Seed Germination. In C. J.-L. Jose (Ed.), *Seed Biology* (pp. Ch. 8). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70653>
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición PEARSON EDUCACIÓN, México.
- Ballester-Sánchez, J., Gil, J. V., Fernández-Espinar, M. T., & Haros, C. M. (2019). Quinoa wet-milling: Effect of steeping conditions on starch recovery and quality. *Food Hydrocolloids*, 89, 837-843. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.053>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 11(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
- Biswas, P. S., Rashid, M. M., Khatun, H., Yasmeen, R., & Biswas, J. K. (2019). Chapter 11 - Scope and Progress of Rice Research Harnessing Cold Tolerance. In M. Hasanuzzaman, M. Fujita, K. Nahar, & J. K. Biswas (Eds.), *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance* (pp. 225-264). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814332-2.00011-3>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación %J Scientia

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>

- Capuano, E., & van Ruth, S. M. (2016). Infrared Spectroscopy: Applications. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 424-431). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00644-9>
- Cardoso, R. V. C., Fernandes, Â., González-Paramás, A. M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Flour fortification for nutritional and health improvement: A review. *Food Research International*, 125, 108576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108576>
- Chaparro, D. C., Pismag, R. Y., Elizalde, A., Vivas, N. J., & Erazo, C. A. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1), 35-42.
- Cheetangdee, N. (2019). Chapter 14 - Rice Phenolics: Extraction, Characterization, and Utilization in Foods. In R. R. Watson (Ed.), *Polyphenols in Plants (Second Edition)* (pp. 217-242). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00015-3>
- Chiu, M., & Prener, E. (2011). Differential scanning calorimetry: An invaluable tool for a detailed thermodynamic characterization of macromolecules and their interactions [Symposium]. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 3(1), 39-59. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.76463>
- Choque-Quispe, D., Mojo-Quisani, A., Ligarda-Samanez, C. A., Calla-Florez, M., Ramos-Pacheco, B. S., Zamalloa-Puma, L. M., Peralta-Guevara, D.E., Solano-Reynoso, A.M., Choque-Quispe, Y., Zamalloa-Puma, A., Palomino-Malpartida, Y.G., Medina-

- Quiquin, L.D. & Kari-Ferro, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*). *Foods*, *11*(11).
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, *298*, 124982. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>
- Consumi, M., Tamasi, G., Pepi, S., Leone, G., Bonechi, C., Magnani, A., Donati, A., Rossi, C. (2022). Analytical composition of flours through thermogravimetric and rheological combined methods. *Thermochimica Acta*, *711*, 179204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tca.2022.179204>
- Cornejo, F., Caceres, P. J., Martínez-Villaluenga, C., Rosell, C. M., & Frias, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, *173*, 298-304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.037>
- Cornejo, F., & Rosell, C. M. (2015). Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(10), 6591-6598. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1720-8>
- D'ambrosio, T., Amodio, M. L., Pastore, D., De Santis, G., & Colelli, G. (2017). Chemical, physical and sensorial characterization of fresh quinoa sprouts (*Chenopodium quinoa* Willd.) and effects of modified atmosphere packaging on quality during cold storage. *Food Packaging and Shelf Life*, *14*, 52-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.08.003>
- Darwish, A. M., Al-Jumayi, H. A., & Elhendy, H. A. (2021). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic

- potential in Sprague–Dawley male albino rats. *Cereal Chemistry*, 98(2), 315-327.  
<https://doi.org/10.1002/cche.10366>
- Demir, B., & Bilgiçli, N. (2020). Changes in chemical and anti-nutritional properties of pasta enriched with raw and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3884-3892.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04420-7>
- Devi, C. B., Kushwaha, A., & Kumar, A. (2015). Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *J Food Sci Technol*, 52(10), 6821-6827. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1832-1>
- Dueñas, M., Sarmiento, T., Aguilera, Y., Benitez, V., Mollá, E., Esteban, R. M., & Martín-Cabrejas, M. A. (2016). Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 66, 72-78.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.025>
- Fasoyiro, S., Hovingh, R., Gourama, H., & Cutter, C. (2016). Change in Water Activity and Fungal Counts of Maize-pigeon Pea Flour During Storage Utilizing Various Packaging Materials. *Procedia Engineering*, 159, 72-76.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.066>
- Fellows, P. J. (2009). 1 - Properties of food processing. In P. J. Fellows (Ed.), *Food Processing Technology (Third Edition)* (pp. 11-95). Woodhead Publishing.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845696344.1.11>
- Fontana, A. J. (2000). Understanding the importance of water activity in food. *Cereal Foods Worl.* 45(1), 7-10.

- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2021). Biodiversidad de la Quinoa. Clasificación científica de la quinoa. <http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/biodiversidad-de-la-quinoa/es/>
- García-Salcedo, Á. J., Torres-Vargas, O. L., & Ariza-Calderón, H. (2018). Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispanica* L.) flours and seeds %J Acta Agronómica. 67, 215-222. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122018000200215&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122018000200215&nrm=iso)
- Gharanjig, H., Gharanjig, K., Hosseinnezhad, M., & Jafari, S. M. (2020). Chapter Ten - Differential scanning calorimetry (DSC) of nanoencapsulated food ingredients. In S. M. Jafari (Ed.), *Characterization of Nanoencapsulated Food Ingredients* (Vol. 4, pp. 295-346). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815667-4.00010-9>
- Guardianelli, L. M., Salinas, M. V., Brites, C., & Puppo, M. C. (2022). Germination of White and Red Quinoa Seeds: Improvement of Nutritional and Functional Quality of Flours. *Foods*, 11(20).
- Gutiérrez, H. P., & De La Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. *Editorial McGraw Hill*.
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). El mercado y la producción de quinoa en el Perú. Lima, Perú.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2018). Comparative study of raw and germinated *Chenopodium* (*Chenopodium album*) flour on the basis of thermal, rheological, minerals, fatty acid profile and phytochemicals. *Food Chemistry*, 269, 173-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.003>

- Jiménez, M. D., Lobo, M., & Sammán, N. (2019). 12th IFDC 2017 Special Issue – Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103290>
- Kaur, H., & Gill, B. S. (2021). Changes in physicochemical, nutritional characteristics and ATR-FTIR molecular interactions of cereal grains during germination. *J Food Sci Technol*, 58(6), 2313-2324. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04742-6>
- LeCorre, D., Bras, J., & Dufresne, A. (2012). Influence of native starch's properties on starch nanocrystals thermal properties. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 658-666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.042>
- Leguía, S. (2018). Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de tres variedades de quinua germinada (*Chenopodium quinua* Willd) (tesis de pregrado Ingeniería Agroindustrial). Universidad Nacional José María Arguedas, Apurímac.
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Lê, K.-A., Van den Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., De Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review [<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305-328. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>
- Li, C., Jeong, D., Lee, J. H., & Chung, H. J. (2020). Influence of germination on physicochemical properties of flours from brown rice, oat, sorghum, and millet. *Food Sci Biotechnol*, 29(9), 1223-1231. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00770-2>
- Li, L., Lietz, G., & Seal, C. J. (2021). Phenolic, apparent antioxidant and nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds



- [<https://doi.org/10.1111/ijfs.14962>]. *International Journal of Food Science & Technology*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.14962>
- Ma, Z., Bykova, N. V., & Igamberdiev, A. U. (2017). Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. *The Crop Journal*, 5(6), 459-477. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.08.007>
- Maldonado-Alvarado, P., Pavón-Vargas, D. J., Abarca-Robles, J., Valencia-Chamorro, S., & Haros, C. M. (2023). Effect of Germination on the Nutritional Properties, Phytic Acid Content, and Phytase Activity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Foods*, 12(2).
- Manals-Cutiño, E., Penedo-Medina, M. & Giralt-Ortega, G. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, 31(2), 180-190.
- Moongnarm, A., & Saetung, N. (2010). Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chemistry*, 122(3), 782-788. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.053>
- Nguyen, Q.-H., & Nguyen, N.-D. (2012). Incompressible non-Newtonian fluid flows. *Continuum Mechanics-Progress in fundamentals and Engineering applications*, 47-72.
- Nowak, V., Du, J., & Charrondière, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Parameshwaran, R., Sari, A., Jalaiah, N., & Karunakaran, R. (2018). Chapter 13 - Applications of Thermal Analysis to the Study of Phase-Change Materials. In S. Vyazovkin, N. Koga, & C. Schick (Eds.), *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry* (Vol. 6, pp. 519-572). Elsevier Science B.V. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64062-8.00005-X>

- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, *14*(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu14030558>
- Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, *111*, 38-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.006>
- Perdon, A. A., & Holopainen-Mantila, U. (2020). Cereal grains and other ingredients. In A. A. Perdon, S. L. Schonauer, & K. S. Poutanen (Eds.), *Breakfast Cereals and How They Are Made (Third Edition)* (pp. 73-96). AACC International Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812043-9.00004-7>
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & Ferreira, I. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry*, *280*, 110-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco, R., & Suomela, J.-P. (2020). Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, *94*, 102996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Ponce de León Saavedra, P., & Valdez-Arana, J. d. C. (2021). Evaluación nutricional y funcional de 17 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivadas en la zona andina del Perú. *Scientia Agropecuaria*, *12*, 15-23.
- Rahman, M. S., & McCarthy, O. J. (1999). A classification of food properties. *International Journal of Food Properties*, *2*(2), 93-99. <https://doi.org/10.1080/10942919909524593>

- Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2008). Chapter 5 Starch Gelatinization. In *Adv Food Nutr Res* (Vol. 55, pp. 221-268). Academic Press.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)00405-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)00405-1)
- Reyes, M. M., Gómez-Sánchez P. I., & Espinoza, C. M. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud.
- Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1380-1389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>
- Sarmiento-Aguilar, W., & Pachari-Vera, E. (2022). Impacto de la germinación en los compuestos bioactivos de dos ecotipos de kiwicha de grano color negro y rosado (*Amaranthus caudatus* L.). *Revista chilena de nutrición*. 49, 723-733.  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182022000700723&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182022000700723&nrm=iso)
- Sharma, K. D., Sharma, B., & Saini, H. K. (2021). Chapter 10 - Processing, value addition and health benefits. In M. Singh & S. Sood (Eds.), *Millets and Pseudo Cereals* (pp. 169-184). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820089-6.00010-0>
- Syamaladevi, R. M., Tadapaneni, R. K., Xu, J., Villa-Rojas, R., Tang, J., Carter, B., Sablani, S., Marks, B. (2016). Water activity change at elevated temperatures and thermal resistance of Salmonella in all purpose wheat flour and peanut butter. *Food Research International*, 81, 163-170.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.008>
- Suárez-Estrella, D., Borgonovo, G., Buratti, S., Ferranti, P., Accardo, F., Pagani, M. A., & Marti, A. (2021a). Sprouting of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Effect on

- saponin content and relation to the taste and astringency assessed by electronic tongue. *LWT*, *144*, 111234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111234>
- Subramanian, A., Prabhakar, V., & Rodriguez-Saona, L. (2016). Analytical Methods: Infrared Spectroscopy in Dairy Analysis. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00602-8>
- Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review [<https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>]. *Molecular Nutrition & Food Research*, *61*(7), 1600767. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T.-N., Park, S., & Ayele, B. T. (2019). 1 - Molecular mechanisms of seed germination. In H. Feng, B. Nemzer, & J. W. DeVries (Eds.), *Sprouted Grains* (pp. 1-24). AACC International Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00001-4>
- Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P. A., Muñoz, J. M., & Ronda, F. (2023). Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour. *Food Hydrocolloids*, *137*, 108328. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108328>
- Wolny, E., Betekhtin, A., Rojek, M., Braszewska-Zalewska, A., Lusinska, J., & Hasterok, R. (2018). Germination and the Early Stages of Seedling Development in *Brachypodium distachyon*. *International journal of molecular sciences*, *19*(10), 2916. <https://doi.org/10.3390/ijms19102916>
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. *Trends in Food Science & Technology*, *29*(1), 5-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>

Xing, B., Teng, C., Sun, M., Zhang, Q., Zhou, B., Cui, H., Ren, G., Yang, X., & Qin, P. (2021).

Effect of germination treatment on the structural and physicochemical properties of

quinoa starch. *Food Hydrocolloids*, *115*, 106604.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106604>

Zhang, H., Wang, H., Cao, X., & Wang, J. (2018). Preparation and modification of high

dietary fiber flour: A review. *Food Research International*, *113*, 24-35.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068>

## Apéndice 1: Datos y ANOVA de proteínas

### Datos de proteínas

Variedad	Tiempo	Humedad	Materia seca	Proteína (Base húmeda)	Proteína (Base seca)
QB	0h	5.22	94.78	8.55	9.02
QB	0h	5.25	94.75	8.55	9.02
QB	0h	5.26	94.74	8.51	8.98
QB	24h	4.69	95.31	9.28	9.74
QB	24h	4.77	95.23	9.27	9.73
QB	24h	4.71	95.29	9.28	9.74
QB	48h	5.14	94.86	9.28	9.78
QB	48h	5.13	94.87	9.26	9.76
QB	48h	5.14	94.86	9.26	9.76
QB	72h	5.37	94.63	9.44	9.98
QB	72h	5.35	94.65	9.46	9.99
QB	72h	5.38	94.62	9.41	9.95
QR	0h	5.27	94.73	11.67	12.32
QR	0h	5.33	94.67	11.50	12.15
QR	0h	5.35	94.65	11.62	12.28
QR	24h	3.20	96.80	12.18	12.58
QR	24h	3.21	96.79	12.20	12.60
QR	24h	3.12	96.88	12.30	12.70
QR	48h	5.30	94.70	12.57	13.27
QR	48h	5.23	94.77	12.69	13.39
QR	48h	5.19	94.81	12.70	13.40
QR	72h	5.98	94.02	12.76	13.57
QR	72h	6.07	93.93	12.74	13.56
QR	72h	6.00	94.00	12.97	13.80
QN	0h	3.59	96.41	11.93	12.37
QN	0h	3.67	96.33	12.00	12.46
QN	0h	3.63	96.37	11.96	12.41
QN	24h	3.92	96.08	11.91	12.40
QN	24h	3.71	96.29	11.98	12.44
QN	24h	3.82	96.18	12.05	12.53
QN	48h	2.37	97.63	12.27	12.57
QN	48h	2.42	97.58	12.26	12.56
QN	48h	2.34	97.66	12.11	12.40
QN	72h	2.97	97.03	13.59	14.01
QN	72h	3.12	96.88	13.58	14.02
QN	72h	3.08	96.92	13.59	14.02

### ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para proteínas

#### Análisis de Varianza para Proteína - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					

A: Variedad	89.6287	2	44.8144	397.75	0.0000
B: Tiempo de germinación	8.88241	3	2.9608	26.28	0.0000
RESIDUOS	3.38012	30	0.112671		
TOTAL (CORREGIDO)	101.891	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

**Tabla ANOVA para Proteínas-QB por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.63783	3	0.545942	1926.85	0.0000
Intra grupos	0.00226667	8	0.000283333		
Total (Corr.)	1.64009	11			

**Tabla ANOVA para Proteínas-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.70977	3	1.23659	138.55	0.0000
Intra grupos	0.0714	8	0.008925		
Total (Corr.)	3.78117	11			

**Tabla ANOVA para Proteínas-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6.81007	3	2.27002	582.06	0.0000
Intra grupos	0.0312	8	0.0039		
Total (Corr.)	6.84127	11			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Proteínas-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	9.00667	X
48h	3	9.34667	X
24h	3	9.73667	X
72h	3	9.97333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.73	0.0439964
0h - 48h	*	-0.34	0.0439964
0h - 72h	*	-0.966667	0.0439964
24h - 48h	*	0.39	0.0439964
24h - 72h	*	-0.236667	0.0439964
48h - 72h	*	-0.626667	0.0439964

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Proteínas-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	12.25	X
24h	3	12.6267	X
48h	3	13.3533	X
72h	3	13.6433	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.376667	0.246929
0h - 48h	*	-1.10333	0.246929
0h - 72h	*	-1.39333	0.246929
24h - 48h	*	-0.726667	0.246929
24h - 72h	*	-1.01667	0.246929

48h - 72h	*	-0.29	0.246929
-----------	---	-------	----------

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Proteínas-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	3	12.0467	X
0h	3	12.4133	X
48h	3	12.51	X
72h	3	14.0167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.366667	0.16323
0h - 48h		-0.0966667	0.16323
0h - 72h	*	-1.60333	0.16323
24h - 48h	*	-0.463333	0.16323
24h - 72h	*	-1.97	0.16323
48h - 72h	*	-1.50667	0.16323

\* indica una diferencia significativa.



## Apéndice 2: Datos y ANOVA de fibras

### Datos de fibras

Variedad	Tiempo	Humedad	Materia seca	Fibra (Base húmeda)	Fibra (Base seca)
QB	0h	5.22	94.78	3.00	3.16
QB	0h	5.25	94.75	2.98	3.15
QB	0h	5.26	94.74	2.98	3.15
QB	24h	4.69	95.31	3.04	3.19
QB	24h	4.77	95.23	3.06	3.21
QB	24h	4.71	95.29	3.05	3.20
QB	48h	5.14	94.86	3.18	3.35
QB	48h	5.13	94.87	3.19	3.36
QB	48h	5.14	94.86	3.21	3.38
QB	72h	5.37	94.63	3.60	3.80
QB	72h	5.35	94.65	3.62	3.82
QB	72h	5.38	94.62	3.59	3.79
QR	0h	5.27	94.73	2.58	2.72
QR	0h	5.33	94.67	2.54	2.68
QR	0h	5.35	94.65	2.55	2.69
QR	24h	3.20	96.80	2.76	2.85
QR	24h	3.21	96.79	2.76	2.85
QR	24h	3.12	96.88	2.68	2.77
QR	48h	5.30	94.70	2.73	2.88
QR	48h	5.23	94.77	2.73	2.88
QR	48h	5.19	94.81	2.72	2.87
QR	72h	5.98	94.02	2.76	2.94
QR	72h	6.07	93.93	2.79	2.97
QR	72h	6.00	94.00	2.75	2.93
QN	0h	3.59	96.41	3.41	3.54
QN	0h	3.67	96.33	3.49	3.62
QN	0h	3.63	96.37	3.50	3.63
QN	24h	3.92	96.08	3.51	3.65
QN	24h	3.71	96.29	3.50	3.64
QN	24h	3.82	96.18	3.51	3.65
QN	48h	2.37	97.63	3.69	3.78
QN	48h	2.42	97.58	3.57	3.66
QN	48h	2.34	97.66	3.56	3.65
QN	72h	2.97	97.03	3.70	3.81
QN	72h	3.12	96.88	3.70	3.82
QN	72h	3.08	96.92	3.72	3.84

### ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para fibras

#### Análisis de Varianza para Fibra - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					

A: Variedad	4.49504	2	2.24752	236.06	0.0000
B: Tiempo de germinación	0.712956	3	0.237652	24.96	0.0000
RESIDUOS	0.285628	30	0.00952093		
TOTAL (CORREGIDO)	5.49362	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

**Tabla ANOVA para Fibra-QB por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.7898	3	0.263267	1755.11	0.0000
Intra grupos	0.0012	8	0.00015		
Total (Corr.)	0.791	11			

**Tabla ANOVA para Fibra-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.100425	3	0.033475	44.14	0.0000
Intra grupos	0.00606667	8	0.000758333		
Total (Corr.)	0.106492	11			

**Tabla ANOVA para Fibra-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.085225	3	0.0284083	14.32	0.0014
Intra grupos	0.0158667	8	0.00198333		
Total (Corr.)	0.101092	11			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	3.15333	X
24h	3	3.2	X
48h	3	3.36333	X
72h	3	3.80333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.0466667	0.0320121
0h - 48h	*	-0.21	0.0320121
0h - 72h	*	-0.65	0.0320121
24h - 48h	*	-0.163333	0.0320121
24h - 72h	*	-0.603333	0.0320121
48h - 72h	*	-0.44	0.0320121

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	2.69667	X
24h	3	2.82333	X
48h	3	2.87667	XX
72h	3	2.94667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.126667	0.0719778
0h - 48h	*	-0.18	0.0719778
0h - 72h	*	-0.25	0.0719778
24h - 48h		-0.0533333	0.0719778
24h - 72h	*	-0.123333	0.0719778
48h - 72h		-0.07	0.0719778

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	3.59667	X
24h	3	3.64667	X
48h	3	3.69667	X
72h	3	3.82333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h		-0.05	0.116404
0h - 48h		-0.1	0.116404
0h - 72h	*	-0.226667	0.116404
24h - 48h		-0.05	0.116404
24h - 72h	*	-0.176667	0.116404
48h - 72h	*	-0.126667	0.116404

\* indica una diferencia significativa.

### Apéndice 3: Datos y ANOVA de micronutrientes minerales

#### Datos de micronutrientes minerales

Variedad	Tiempo	Calcio	Fósforo	Hierro	Magnesio	Potasio
QB	0h	92.20	170.52	4.80	120.50	432.00
QB	0h	92.18	169.99	4.70	122.00	433.00
QB	0h	92.22	170.69	4.90	119.00	431.00
QB	24h	91.70	177.23	4.20	142.00	436.82
QB	24h	91.67	177.96	4.15	140.99	437.09
QB	24h	91.74	177.32	4.25	143.00	437.50
QB	48h	92.00	175.95	4.50	128.00	441.30
QB	48h	93.39	177.25	4.55	128.30	441.60
QB	48h	93.00	176.00	4.60	128.60	441.90
QB	72h	93.30	178.40	4.67	131.50	447.91
QB	72h	93.40	179.00	4.72	131.60	448.00
QB	72h	93.80	177.50	4.55	131.40	449.00
QR	0h	88.40	327.00	5.01	190.40	512.00
QR	0h	88.50	329.00	5.29	190.38	509.00
QR	0h	88.60	328.60	4.99	190.43	510.50
QR	24h	87.00	335.80	5.00	197.00	519.70
QR	24h	85.90	333.00	5.30	196.00	517.10
QR	24h	86.31	335.00	6.20	196.00	516.00
QR	48h	90.00	338.40	5.80	190.00	521.70
QR	48h	92.00	339.00	5.17	190.00	520.00
QR	48h	91.90	337.80	5.30	187.00	520.10
QR	72h	93.00	348.00	6.00	193.35	524.00
QR	72h	92.60	345.30	5.00	193.10	526.00
QR	72h	91.00	348.00	5.91	193.15	524.70
QN	0h	52.40	360.10	4.09	132.00	391.10
QN	0h	53.00	361.00	4.00	131.80	389.20
QN	0h	53.00	360.10	4.05	134.00	390.00
QN	24h	56.00	369.50	4.60	140.30	398.80
QN	24h	55.80	371.00	5.00	140.00	398.00
QN	24h	55.00	370.00	4.80	140.00	398.40
QN	48h	60.00	367.00	4.68	143.60	407.00
QN	48h	57.00	365.00	4.76	140.70	407.00
QN	48h	58.50	366.00	4.72	142.30	406.10
QN	72h	60.00	368.20	5.14	155.80	401.00
QN	72h	60.60	367.90	5.20	155.00	404.00
QN	72h	60.00	370.30	5.00	157.20	402.50

#### ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para micronutrientes minerales

##### Análisis de Varianza para Calcio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	9464.33	2	4732.17	2462.85	0.0000
B: Tiempo de germinación	118.793	3	39.5978	20.61	0.0000
RESIDUOS	57.6426	30	1.92142		

TOTAL (CORREGIDO)	9640.77	35			
-------------------	---------	----	--	--	--

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Análisis de Varianza para Fósforo - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	253109.	2	126555.	17068.72	0.0000
B: Tiempo de germinación	644.955	3	214.985	29.00	0.0000
RESIDUOS	222.432	30	7.41442		
TOTAL (CORREGIDO)	253977.	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Análisis de Varianza para Hierro - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	5.26644	2	2.63322	21.87	0.0000
B: Tiempo de germinación	1.08016	3	0.360052	2.99	0.0466
RESIDUOS	3.61283	30	0.120428		
TOTAL (CORREGIDO)	9.95942	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Análisis de Varianza para Magnesio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	25603.0	2	12801.5	497.85	0.0000
B: Tiempo de germinación	918.074	3	306.025	11.90	0.0000
RESIDUOS	771.409	30	25.7136		
TOTAL (CORREGIDO)	27292.5	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Análisis de Varianza para Potasio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	87864.8	2	43932.4	9579.07	0.0000
B: Tiempo de germinación	1100.34	3	366.78	79.97	0.0000
RESIDUOS	137.589	30	4.58629		
TOTAL (CORREGIDO)	89102.8	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

#### Tabla ANOVA para Calcio-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5.40807	3	1.80269	12.31	0.0023
Intra grupos	1.17133	8	0.146417		
Total (Corr.)	6.5794	11			

#### Tabla ANOVA para Fósforo-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	115.747	3	38.5823	109.90	0.0000
Intra grupos	2.80847	8	0.351058		
Total (Corr.)	118.555	11			

#### Tabla ANOVA para Hierro-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.583025	3	0.194342	34.35	0.0001
Intra grupos	0.0452667	8	0.00565833		
Total (Corr.)	0.628292	11			

#### Tabla ANOVA para Magnesio-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	713.974	3	237.991	283.32	0.0000
Intra grupos	6.72007	8	0.840008		

Total (Corr.)	720.694	11			
---------------	---------	----	--	--	--

**Tabla ANOVA para Potasio-QB por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	430.421	3	143.474	364.78	0.0000
Intra grupos	3.14653	8	0.393317		
Total (Corr.)	433.567	11			

**Tabla ANOVA para Calcio-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	63.236	3	21.0787	31.12	0.0001
Intra grupos	5.41807	8	0.677258		
Total (Corr.)	68.6541	11			

**Tabla ANOVA para Fósforo-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	561.442	3	187.147	124.97	0.0000
Intra grupos	11.98	8	1.4975		
Total (Corr.)	573.422	11			

**Tabla ANOVA para Hierro-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.473292	3	0.157764	0.76	0.5493
Intra grupos	1.6696	8	0.2087		
Total (Corr.)	2.14289	11			

**Tabla ANOVA para Magnesio-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	94.6434	3	31.5478	37.65	0.0000
Intra grupos	6.70293	8	0.837867		
Total (Corr.)	101.346	11			

**Tabla ANOVA para Potasio-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	330.42	3	110.14	56.48	0.0000
Intra grupos	15.6	8	1.95		
Total (Corr.)	346.02	11			

**Tabla ANOVA para Calcio-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	95.6625	3	31.8875	46.05	0.0000
Intra grupos	5.54	8	0.6925		
Total (Corr.)	101.203	11			

**Tabla ANOVA para Fósforo-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	168.282	3	56.0942	62.97	0.0000
Intra grupos	7.12667	8	0.890833		
Total (Corr.)	175.409	11			

**Tabla ANOVA para Hierro-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.81347	3	0.604489	44.64	0.0000
Intra grupos	0.108333	8	0.0135417		
Total (Corr.)	1.9218	11			

**Tabla ANOVA para Magnesio-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	857.722	3	285.907	235.31	0.0000
Intra grupos	9.72	8	1.215		
Total (Corr.)	867.442	11			

**Tabla ANOVA para Potasio-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	451.163	3	150.388	167.56	0.0000
Intra grupos	7.18	8	0.8975		
Total (Corr.)	458.343	11			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Calcio-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	3	91.7033	X
0h	3	92.2	XX
48h	3	92.7967	XX
72h	3	93.5	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h		0.496667	1.00015
0h - 48h		-0.596667	1.00015
0h - 72h	*	-1.3	1.00015
24h - 48h	*	-1.09333	1.00015
24h - 72h	*	-1.79667	1.00015
48h - 72h		-0.703333	1.00015

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	170.4	X
48h	3	176.4	X
24h	3	177.503	XX
72h	3	178.3	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-7.10333	1.54867
0h - 48h	*	-6.0	1.54867
0h - 72h	*	-7.9	1.54867
24h - 48h		1.10333	1.54867
24h - 72h		-0.796667	1.54867
48h - 72h	*	-1.9	1.54867

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Hierro-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	3	4.2	X
48h	3	4.55	X
72h	3	4.64667	XX
0h	3	4.8	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.6	0.196613
0h - 48h	*	0.25	0.196613
0h - 72h		0.153333	0.196613
24h - 48h	*	-0.35	0.196613
24h - 72h	*	-0.446667	0.196613
48h - 72h		-0.0966667	0.196613

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Magnesio-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	120.5	X
48h	3	128.3	X
72h	3	131.5	X
24h	3	141.997	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-21.4967	2.39558
0h - 48h	*	-7.8	2.39558
0h - 72h	*	-11.0	2.39558
24h - 48h	*	13.6967	2.39558
24h - 72h	*	10.4967	2.39558
48h - 72h	*	-3.2	2.39558

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	432.0	X
24h	3	437.137	X
48h	3	441.6	X
72h	3	448.303	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-5.13667	1.63923
0h - 48h	*	-9.6	1.63923
0h - 72h	*	-16.3033	1.63923
24h - 48h	*	-4.46333	1.63923
24h - 72h	*	-11.1667	1.63923
48h - 72h	*	-6.70333	1.63923

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Calcio-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	3	86.4033	X
0h	3	88.5	X
48h	3	91.3	X
72h	3	92.2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h		2.09667	2.15103
0h - 48h	*	-2.8	2.15103
0h - 72h	*	-3.7	2.15103
24h - 48h	*	-4.89667	2.15103
24h - 72h	*	-5.79667	2.15103
48h - 72h		-0.9	2.15103

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	328.2	X
24h	3	334.6	X
48h	3	338.4	X
72h	3	347.1	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
-----------	------	------------	-------------



0h - 24h	*	-6.4	3.19854
0h - 48h	*	-10.2	3.19854
0h - 72h	*	-18.9	3.19854
24h - 48h	*	-3.8	3.19854
24h - 72h	*	-12.5	3.19854
48h - 72h	*	-8.7	3.19854

\* indica una diferencia significativa.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Hierro-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	5.09667	X
48h	3	5.42333	X
24h	3	5.5	X
72h	3	5.63667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h		-0.403333	1.19407
0h - 48h		-0.326667	1.19407
0h - 72h		-0.54	1.19407
24h - 48h		0.0766667	1.19407
24h - 72h		-0.136667	1.19407
48h - 72h		-0.213333	1.19407

\* indica una diferencia significativa.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Magnesio-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
48h	3	189.0	X
0h	3	190.403	X
72h	3	193.2	X
24h	3	196.333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-5.93	2.39252
0h - 48h		1.40333	2.39252
0h - 72h	*	-2.79667	2.39252
24h - 48h	*	7.33333	2.39252
24h - 72h	*	3.13333	2.39252
48h - 72h	*	-4.2	2.39252

\* indica una diferencia significativa.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	510.5	X
24h	3	517.6	X
48h	3	520.6	X
72h	3	524.9	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-7.1	3.64994
0h - 48h	*	-10.1	3.64994
0h - 72h	*	-14.4	3.64994
24h - 48h		-3.0	3.64994
24h - 72h	*	-7.3	3.64994
48h - 72h	*	-4.3	3.64994

\* indica una diferencia significativa.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Calcio-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	52.8	X
24h	3	55.6	X
48h	3	58.5	X
72h	3	60.2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-2.8	2.1751
0h - 48h	*	-5.7	2.1751
0h - 72h	*	-7.4	2.1751
24h - 48h	*	-2.9	2.1751
24h - 72h	*	-4.6	2.1751
48h - 72h		-1.7	2.1751

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	360.4	X
48h	3	366.0	X
72h	3	368.8	X
24h	3	370.167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-9.76667	2.46699
0h - 48h	*	-5.6	2.46699
0h - 72h	*	-8.4	2.46699
24h - 48h	*	4.16667	2.46699
24h - 72h		1.36667	2.46699
48h - 72h	*	-2.8	2.46699

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Hierro-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	4.04667	X
48h	3	4.72	X
24h	3	4.8	X
72h	3	5.11333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.753333	0.304162
0h - 48h	*	-0.673333	0.304162
0h - 72h	*	-1.06667	0.304162
24h - 48h		0.08	0.304162
24h - 72h	*	-0.313333	0.304162
48h - 72h	*	-0.393333	0.304162

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Magnesio-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	132.6	X
24h	3	140.1	X
48h	3	142.2	X
72h	3	156.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
-----------	------	------------	-------------

0h - 24h	*	-7.5	2.88109
0h - 48h	*	-9.6	2.88109
0h - 72h	*	-23.4	2.88109
24h - 48h		-2.1	2.88109
24h - 72h	*	-15.9	2.88109
48h - 72h	*	-13.8	2.88109

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	3	390.1	X
24h	3	398.4	X
72h	3	402.5	X
48h	3	406.7	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-8.3	2.4762
0h - 48h	*	-16.6	2.4762
0h - 72h	*	-12.4	2.4762
24h - 48h	*	-8.3	2.4762
24h - 72h	*	-4.1	2.4762
48h - 72h	*	4.2	2.4762

\* indica una diferencia significativa.

## Apéndice 4: Datos y ANOVA de color

### Datos de luminosidad, croma a, croma b, IB e IC

Variedad	Tiempo de germinación	L	a	b	IB	IC	AE
QB	0h	87.48	0.22	13.87	81.31	0.18	0.00
QB	0h	87.48	0.22	13.86	81.32	0.18	0.00
QB	0h	87.47	0.22	13.89	81.29	0.18	0.00
QB	0h	87.47	0.23	13.89	81.29	0.19	0.00
QB	0h	87.47	0.23	13.89	81.29	0.19	0.00
QB	24h	87.57	0.57	17.71	78.36	0.37	3.86
QB	24h	87.58	0.58	17.70	78.37	0.37	3.86
QB	24h	87.57	0.59	17.68	78.38	0.38	3.81
QB	24h	87.57	0.59	17.69	78.37	0.38	3.82
QB	24h	87.57	0.59	17.67	78.39	0.38	3.80
QB	48h	87.03	0.91	19.02	76.96	0.55	5.22
QB	48h	87.13	0.89	19.10	76.95	0.53	5.29
QB	48h	87.13	0.88	19.10	76.95	0.53	5.26
QB	48h	87.14	0.88	19.11	76.95	0.53	5.27
QB	48h	87.14	0.88	19.11	76.95	0.53	5.27
QB	72h	85.72	1.70	20.09	75.29	0.99	6.63
QB	72h	85.71	1.70	20.09	75.29	0.99	6.64
QB	72h	85.71	1.70	20.09	75.29	0.99	6.61
QB	72h	85.80	1.69	20.09	75.34	0.98	6.58
QB	72h	85.80	1.70	20.08	75.35	0.99	6.58
QR	0h	76.00	3.24	12.09	72.93	3.53	0.00
QR	0h	76.00	3.24	12.08	72.94	3.53	0.00
QR	0h	76.00	3.24	12.07	72.94	3.53	0.00
QR	0h	76.01	3.24	12.07	72.95	3.53	0.00
QR	0h	76.05	3.22	12.06	72.99	3.51	0.00
QR	24h	79.34	2.36	13.51	75.20	2.20	3.73
QR	24h	79.34	2.35	13.50	75.21	2.19	3.74
QR	24h	79.33	2.36	13.50	75.20	2.20	3.73
QR	24h	79.33	2.36	13.50	75.20	2.20	3.72
QR	24h	78.34	2.53	13.56	74.32	2.38	2.82
QR	48h	78.26	2.55	17.22	72.15	1.89	5.65
QR	48h	78.26	2.55	17.22	72.15	1.89	5.66
QR	48h	78.20	2.54	17.18	72.13	1.89	5.61
QR	48h	78.20	2.53	17.18	72.13	1.88	5.60
QR	48h	78.20	2.54	17.17	72.13	1.89	5.59
QR	72h	77.63	2.74	17.60	71.40	2.01	5.77
QR	72h	77.64	2.74	17.59	71.42	2.01	5.77
QR	72h	77.64	2.75	17.58	71.42	2.01	5.77
QR	72h	77.64	2.74	17.57	71.43	2.01	5.76
QR	72h	77.64	2.74	17.54	71.45	2.01	5.73
QN	0h	73.82	1.47	9.15	72.23	2.18	0.00

QN	0h	73.83	1.48	9.13	72.24	2.20	0.00
QN	0h	73.82	1.47	9.14	72.23	2.18	0.00
QN	0h	73.83	1.47	9.15	72.24	2.18	0.00
QN	0h	73.36	1.48	9.15	71.79	2.20	0.00
QN	24h	78.12	0.98	9.52	76.12	1.32	4.34
QN	24h	78.12	0.97	9.53	76.11	1.30	4.34
QN	24h	78.11	0.97	9.53	76.11	1.30	4.34
QN	24h	78.11	0.98	9.53	76.11	1.32	4.32
QN	24h	78.21	0.98	9.52	76.20	1.32	4.89
QN	48h	77.60	1.13	11.23	74.92	1.30	4.33
QN	48h	77.60	1.14	11.23	74.92	1.31	4.33
QN	48h	77.61	1.14	11.22	74.93	1.31	4.34
QN	48h	76.13	1.25	11.26	73.58	1.46	3.13
QN	48h	76.13	1.26	11.25	73.58	1.47	3.48
QN	72h	74.66	2.99	16.61	69.55	2.41	7.66
QN	72h	74.66	3.00	16.59	69.56	2.42	7.66
QN	72h	74.66	3.00	16.59	69.56	2.42	7.65
QN	72h	74.41	3.00	16.59	69.36	2.43	7.62
QN	72h	74.40	3.01	16.61	69.34	2.44	7.69

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para luminosidad

### Análisis de Varianza para Luminosidad - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	1415.16	2	707.579	1007.34	0.0000
B: Tiempo de germinación	65.9264	3	21.9755	31.29	0.0000
RESIDUOS	37.9309	54	0.702424		
TOTAL (CORREGIDO)	1519.01	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación para luminosidad

### Tabla ANOVA para Luminosidad-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10.6512	3	3.55041	3121.24	0.0000
Intra grupos	0.0182	16	0.0011375		
Total (Corr.)	10.6694	19			

### Tabla ANOVA para Luminosidad-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.8942	3	8.63139	172.97	0.0000
Intra grupos	0.7984	16	0.0499		
Total (Corr.)	26.6926	19			

### Tabla ANOVA para Luminosidad-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	63.6319	3	21.2106	118.52	0.0000
Intra grupos	2.8634	16	0.178962		
Total (Corr.)	66.4953	19			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
72h	5	85.748	X
48h	5	87.114	X
0h	5	87.474	X
24h	5	87.572	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.098	0.0610556
0h - 48h	*	0.36	0.0610556
0h - 72h	*	1.726	0.0610556
24h - 48h	*	0.458	0.0610556
24h - 72h	*	1.824	0.0610556
48h - 72h	*	1.366	0.0610556

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	76.012	X
72h	5	77.638	X
48h	5	78.224	X
24h	5	79.136	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-3.124	0.40439
0h - 48h	*	-2.212	0.40439
0h - 72h	*	-1.626	0.40439
24h - 48h	*	0.912	0.40439
24h - 72h	*	1.498	0.40439
48h - 72h	*	0.586	0.40439

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	73.732	X
72h	5	74.558	X
48h	5	77.014	X
24h	5	78.134	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-4.402	0.765828
0h - 48h	*	-3.282	0.765828
0h - 72h	*	-0.826	0.765828
24h - 48h	*	1.12	0.765828
24h - 72h	*	3.576	0.765828
48h - 72h	*	2.456	0.765828

\* indica una diferencia significativa.

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para croma a

### Análisis de Varianza para Croma a - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	35.5497	2	17.7748	107.00	0.0000
B: Tiempo de germinación	11.6406	3	3.8802	23.36	0.0000
RESIDUOS	8.97024	54	0.166115		
TOTAL (CORREGIDO)	56.1605	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

**Tabla ANOVA para Cromo a-QB por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5.91585	3	1.97195	26292.69	0.0000
Intra grupos	0.0012	16	0.000075		
Total (Corr.)	5.91705	19			

**Tabla ANOVA para Cromo a-QR por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.02876	3	0.676253	440.56	0.0000
Intra grupos	0.02456	16	0.001535		
Total (Corr.)	2.05332	19			

**Tabla ANOVA para Cromo a-QN por Tiempo de germinación**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.6231	3	4.2077	3878.06	0.0000
Intra grupos	0.01736	16	0.001085		
Total (Corr.)	12.6405	19			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo a-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	0.224	X
24h	5	0.584	X
48h	5	0.888	X
72h	5	1.698	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.36	0.0156776
0h - 48h	*	-0.664	0.0156776
0h - 72h	*	-1.474	0.0156776
24h - 48h	*	-0.304	0.0156776
24h - 72h	*	-1.114	0.0156776
48h - 72h	*	-0.81	0.0156776

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo a-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	5	2.392	X
48h	5	2.542	X
72h	5	2.742	X
0h	5	3.236	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.844	0.0709258
0h - 48h	*	0.694	0.0709258
0h - 72h	*	0.494	0.0709258
24h - 48h	*	-0.15	0.0709258
24h - 72h	*	-0.35	0.0709258
48h - 72h	*	-0.2	0.0709258

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo a-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
-------	-------	-------	-------------------

24h	5	0.976	X
48h	5	1.184	X
0h	5	1.474	X
72h	5	3.0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.498	0.05963
0h - 48h	*	0.29	0.05963
0h - 72h	*	-1.526	0.05963
24h - 48h	*	-0.208	0.05963
24h - 72h	*	-2.024	0.05963
48h - 72h	*	-1.816	0.05963

\* indica una diferencia significativa.

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para croma b

### Análisis de Varianza para Croma b - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	369.736	2	184.868	183.91	0.0000
B: Tiempo de germinación	344.983	3	114.994	114.40	0.0000
RESIDUOS	54.2827	54	1.00523		
TOTAL (CORREGIDO)	769.001	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

### Tabla ANOVA para Croma b-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	111.104	3	37.0348	76360.34	0.0000
Intra grupos	0.00776	16	0.000485		
Total (Corr.)	111.112	19			

### Tabla ANOVA para Croma b-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	110.935	3	36.9784	77038.34	0.0000
Intra grupos	0.00768	16	0.00048		
Total (Corr.)	110.943	19			

### Tabla ANOVA para Croma b-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	177.208	3	59.0694	472555.35	0.0000
Intra grupos	0.002	16	0.000125		
Total (Corr.)	177.21	19			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Croma b-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	13.88	X
24h	5	17.69	X
48h	5	19.088	X
72h	5	20.088	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-3.81	0.0398677
0h - 48h	*	-5.208	0.0398677
0h - 72h	*	-6.208	0.0398677
24h - 48h	*	-1.398	0.0398677



24h - 72h	*	-2.398	0.0398677
48h - 72h	*	-1.0	0.0398677

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo b-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	12.074	X
24h	5	13.514	X
48h	5	17.194	X
72h	5	17.576	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-1.44	0.0396616
0h - 48h	*	-5.12	0.0396616
0h - 72h	*	-5.502	0.0396616
24h - 48h	*	-3.68	0.0396616
24h - 72h	*	-4.062	0.0396616
48h - 72h	*	-0.382	0.0396616

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo b-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	9.144	X
24h	5	9.526	X
48h	5	11.238	X
72h	5	16.598	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.382	0.0202397
0h - 48h	*	-2.094	0.0202397
0h - 72h	*	-7.454	0.0202397
24h - 48h	*	-1.712	0.0202397
24h - 72h	*	-7.072	0.0202397
48h - 72h	*	-5.36	0.0202397

\* indica una diferencia significativa.

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para índice de blancura

### Análisis de Varianza para Índice de blancura - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	336.932	2	168.466	92.37	0.0000
B: Tiempo de germinación	162.071	3	54.0238	29.62	0.0000
RESIDUOS	98.485	54	1.8238		
TOTAL (CORREGIDO)	597.488	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

### Tabla ANOVA para Índice de blancura-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	96.7628	3	32.2543	101588.26	0.0000
Intra grupos	0.00508	16	0.0003175		
Total (Corr.)	96.7679	19			

### Tabla ANOVA para Índice de blancura-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	36.4032	3	12.1344	309.59	0.0000

Intra grupos	0.62712	16	0.039195		
Total (Corr.)	37.0303	19			

### Tabla ANOVA para Índice de blancura-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	124.376	3	41.4588	278.51	0.0000
Intra grupos	2.38176	16	0.14886		
Total (Corr.)	126.758	19			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de blancura-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
72h	5	75.312	X
48h	5	76.952	X
24h	5	78.374	X
0h	5	81.3	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	2.926	0.0322568
0h - 48h	*	4.348	0.0322568
0h - 72h	*	5.988	0.0322568
24h - 48h	*	1.422	0.0322568
24h - 72h	*	3.062	0.0322568
48h - 72h	*	1.64	0.0322568

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de blancura-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
72h	5	71.424	X
48h	5	72.138	X
0h	5	72.95	X
24h	5	75.026	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-2.076	0.358398
0h - 48h	*	0.812	0.358398
0h - 72h	*	1.526	0.358398
24h - 48h	*	2.888	0.358398
24h - 72h	*	3.602	0.358398
48h - 72h	*	0.714	0.358398

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de blancura-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
72h	5	69.474	X
0h	5	72.146	X
48h	5	74.386	X
24h	5	76.13	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-3.984	0.698456
0h - 48h	*	-2.24	0.698456
0h - 72h	*	2.672	0.698456
24h - 48h	*	1.744	0.698456
24h - 72h	*	6.656	0.698456
48h - 72h	*	4.912	0.698456

\* indica una diferencia significativa.

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para índice de color

### Análisis de Varianza para Índice de color - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	37.5622	2	18.7811	106.19	0.0000
B: Tiempo de germinación	5.62091	3	1.87364	10.59	0.0000
RESIDUOS	9.55073	54	0.176865		
TOTAL (CORREGIDO)	52.7338	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

### Tabla ANOVA para Índice de color-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.76425	3	0.588085	14702.12	0.0000
Intra grupos	0.00064	16	0.00004		
Total (Corr.)	1.76489	19			

### Tabla ANOVA para Índice de color-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.54417	3	2.84806	1680.27	0.0000
Intra grupos	0.02712	16	0.001695		
Total (Corr.)	8.57129	19			

### Tabla ANOVA para Índice de color-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.80378	3	1.60126	808.72	0.0000
Intra grupos	0.03168	16	0.00198		
Total (Corr.)	4.83546	19			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de color-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	0.184	X
24h	5	0.376	X
48h	5	0.534	X
72h	5	0.988	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-0.192	0.0114493
0h - 48h	*	-0.35	0.0114493
0h - 72h	*	-0.804	0.0114493
24h - 48h	*	-0.158	0.0114493
24h - 72h	*	-0.612	0.0114493
48h - 72h	*	-0.454	0.0114493

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de color-qr por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
48h	5	1.888	X
72h	5	2.01	X
24h	5	2.234	X
0h	5	3.526	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	1.292	0.0745307
0h - 48h	*	1.638	0.0745307
0h - 72h	*	1.516	0.0745307
24h - 48h	*	0.346	0.0745307
24h - 72h	*	0.224	0.0745307
48h - 72h	*	-0.122	0.0745307

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de color-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	5	1.312	X
48h	5	1.37	X
0h	5	2.188	X
72h	5	2.424	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.876	0.0805532
0h - 48h	*	0.818	0.0805532
0h - 72h	*	-0.236	0.0805532
24h - 48h		-0.058	0.0805532
24h - 72h	*	-1.112	0.0805532
48h - 72h	*	-1.054	0.0805532

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para variación de color

#### Análisis de Varianza para Variación de color - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	0.789463	2	0.394732	1.03	0.3626
B: Tiempo de germinación	359.727	3	119.909	314.00	0.0000
RESIDUOS	20.6215	54	0.381879		
TOTAL (CORREGIDO)	381.138	59			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### ANOVA DCA tiempo de germinación

#### Tabla ANOVA para Variación de color-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	122.004	3	40.6678	72621.15	0.0000
Intra grupos	0.00896	16	0.00056		
Total (Corr.)	122.012	19			

#### Tabla ANOVA para Variación de color-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	108.233	3	36.0776	864.44	0.0000
Intra grupos	0.66776	16	0.041735		
Total (Corr.)	108.901	19			

#### Tabla ANOVA para Variación de color-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	147.856	3	49.2853	499.24	0.0000
Intra grupos	1.57952	16	0.09872		
Total (Corr.)	149.435	19			

### Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Variación de color-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	0	X
24h	5	3.83	X
48h	5	5.262	X
72h	5	6.608	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-3.83	0.0428395
0h - 48h	*	-5.262	0.0428395
0h - 72h	*	-6.608	0.0428395
24h - 48h	*	-1.432	0.0428395
24h - 72h	*	-2.778	0.0428395
48h - 72h	*	-1.346	0.0428395

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Variación de color-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	0	X
24h	5	3.548	X
48h	5	5.622	X
72h	5	5.76	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-3.548	0.369828
0h - 48h	*	-5.622	0.369828
0h - 72h	*	-5.76	0.369828
24h - 48h	*	-2.074	0.369828
24h - 72h	*	-2.212	0.369828
48h - 72h		-0.138	0.369828

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Variación de color-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0h	5	0	X
48h	5	3.922	X
24h	5	4.446	X
72h	5	7.656	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	-4.446	0.568791
0h - 48h	*	-3.922	0.568791
0h - 72h	*	-7.656	0.568791
24h - 48h		0.524	0.568791
24h - 72h	*	-3.21	0.568791
48h - 72h	*	-3.734	0.568791

\* indica una diferencia significativa.

## Apéndice 5: Datos y ANOVA de actividad de agua

### Datos de actividad de agua

Variedad	Tiempo de germinación	Actividad de agua	Temperatura
QB	0h	0.218	20.18
QB	0h	0.222	20.76
QB	0h	0.223	20.85
QB	0h	0.221	20.93
QB	24h	0.100	21.12
QB	24h	0.100	21.36
QB	24h	0.101	21.47
QB	24h	0.100	21.43
QB	48h	0.242	21.87
QB	48h	0.243	21.84
QB	48h	0.243	21.87
QB	48h	0.243	21.88
QB	72h	0.246	21.93
QB	72h	0.252	21.97
QB	72h	0.253	22.00
QB	72h	0.253	21.99
QR	0h	0.223	22.04
QR	0h	0.227	22.05
QR	0h	0.227	22.09
QR	0h	0.226	22.14
QR	24h	0.104	22.18
QR	24h	0.107	22.28
QR	24h	0.108	22.28
QR	24h	0.107	22.26
QR	48h	0.246	22.35
QR	48h	0.247	22.34
QR	48h	0.248	22.39
QR	48h	0.247	22.40
QR	72h	0.242	22.40
QR	72h	0.246	22.33
QR	72h	0.246	22.41
QR	72h	0.245	22.45
QN	0h	0.106	22.47
QN	0h	0.113	22.55
QN	0h	0.112	22.57
QN	0h	0.111	22.58
QN	24h	0.100	22.61
QN	24h	0.104	22.59
QN	24h	0.103	22.61
QN	24h	0.102	22.63
QN	48h	0.116	22.67

QN	48h	0.115	22.70
QN	48h	0.115	22.76
QN	48h	0.115	22.75
QN	72h	0.122	22.74
QN	72h	0.126	22.70
QN	72h	0.126	22.71
QN	72h	0.125	22.71

## ANOVA DBCA tiempos de germinación y variedades para actividad de agua

### Análisis de Varianza para Aw - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	0.0897109	2	0.0448554	63.07	0.0000
B: Tiempo de germinación	0.0842657	3	0.0280886	39.50	0.0000
RESIDUOS	0.0298697	42	0.000711184		
TOTAL (CORREGIDO)	0.203846	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANOVA DCA tiempo de germinación

### Tabla ANOVA para Aw-QB por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0590535	3	0.0196845	4772.00	0.0000
Intra grupos	0.0000495	12	0.000004125		
Total (Corr.)	0.059103	15			

### Tabla ANOVA para Aw-QR por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00105919	3	0.000353063	86.03	0.0000
Intra grupos	0.00004925	12	0.00000410417		
Total (Corr.)	0.00110844	15			

### Tabla ANOVA para Aw-QN por Tiempo de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0538915	3	0.0179638	6632.80	0.0000
Intra grupos	0.0000325	12	0.00000270833		
Total (Corr.)	0.053924	15			

## Prueba de rangos múltiples tiempo de germinación

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aw-QB por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	4	0.10025	X
0h	4	0.221	X
48h	4	0.24275	X
72h	4	0.251	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.12075	0.00427676
0h - 48h	*	-0.02175	0.00427676
0h - 72h	*	-0.03	0.00427676
24h - 48h	*	-0.1425	0.00427676
24h - 72h	*	-0.15075	0.00427676
48h - 72h	*	-0.00825	0.00427676

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aw-QR por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	4	0.10225	X
0h	4	0.1105	X
48h	4	0.11525	X
72h	4	0.12475	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.00825	0.00426594
0h - 48h	*	-0.00475	0.00426594
0h - 72h	*	-0.01425	0.00426594
24h - 48h	*	-0.013	0.00426594
24h - 72h	*	-0.0225	0.00426594
48h - 72h	*	-0.0095	0.00426594

\* indica una diferencia significativa.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Aw-QN por Tiempo de germinación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
24h	4	0.1065	X
0h	4	0.22575	X
72h	4	0.24475	X
48h	4	0.247	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0h - 24h	*	0.11925	0.0034654
0h - 48h	*	-0.02125	0.0034654
0h - 72h	*	-0.019	0.0034654
24h - 48h	*	-0.1405	0.0034654
24h - 72h	*	-0.13825	0.0034654
48h - 72h		0.00225	0.0034654

\* indica una diferencia significativa.



## Apéndice 6: Datos del comportamiento reológico

### Datos tasa de corte y esfuerzo de corte quinua blanca

QB-0h		QB-24h		QB-48h		QB-72h	
Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte
$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$
[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]
1	0.0099396	1	0.0015414	1	0.0026795	1	0.01917
2	0.0096302	2	0.0077557	2	0.010807	2	0.022207
3	0.011118	3	0.010241	3	0.013728	3	0.026149
4	0.015785	4	0.015176	4	0.019795	4	0.030999
5	0.021556	5	0.021231	5	0.025361	5	0.036023
6	0.017963	6	0.017602	6	0.021454	6	0.031846
7	0.015738	7	0.015639	7	0.018562	7	0.029345
8	0.0026194	8	0.0026105	8	0.0057485	8	0.017063
9	-0.0066004	9	-0.0065294	9	-0.0035879	9	0.0086039
10	-0.010035	10	-0.0096169	10	-0.0069602	10	0.0062956
11	-0.0060846	11	-0.005533	11	-0.0022607	11	0.011992
12	0.0079608	12	0.0088328	12	0.012097	12	0.024595
13	0.024276	13	0.025374	13	0.028767	13	0.041251
14	0.022797	14	0.023591	14	0.027568	14	0.040532
15	0.0040576	15	0.0051188	15	0.0081416	15	0.021812
16	-0.0060315	16	-0.0051281	16	-0.0016839	16	0.012806
17	0.007655	17	0.0083532	17	0.011861	17	0.026436
18	0.031024	18	0.03165	18	0.035325	18	0.048737
19	0.020623	19	0.020956	19	0.024621	19	0.037547
20	-0.001713	20	-0.0014162	20	0.0018488	20	0.016219
21	0.011451	21	0.011902	21	0.016087	21	0.030767
22	0.03641	22	0.036877	22	0.041556	22	0.055306
23	0.013394	23	0.014686	23	0.01872	23	0.032564
24	0.0030812	24	0.0042345	24	0.0087292	24	0.023231
25	0.035992	25	0.037091	25	0.0412	25	0.055785
26	0.021719	26	0.022798	26	0.026343	26	0.040622
27	0.0070614	27	0.0077367	27	0.011591	27	0.026583
28	0.041722	28	0.043085	28	0.04772	28	0.061701
29	0.01671	29	0.01845	29	0.022434	29	0.036365
30	0.017769	30	0.019764	30	0.024337	30	0.038599
31	0.043315	31	0.045607	31	0.049399	31	0.063957
32	0.0082508	32	0.011141	32	0.014182	32	0.029614
33	0.045934	33	0.048729	33	0.053134	33	0.067258
34	0.018014	34	0.02045	34	0.024066	34	0.038791
35	0.035964	35	0.038298	35	0.042177	35	0.057041
36	0.031756	36	0.033858	36	0.036341	36	0.051386
37	0.030779	37	0.033391	37	0.035336	37	0.051966
38	0.038705	38	0.041646	38	0.044086	38	0.059563

39	0.030593	39	0.033597	39	0.036421	39	0.051968
40	0.040351	40	0.043375	40	0.04503	40	0.06042
41	0.037267	41	0.040995	41	0.043093	41	0.059002
42	0.033765	42	0.037244	42	0.039481	42	0.054366
43	0.05009	43	0.054251	43	0.056655	43	0.072029
44	0.025673	44	0.029784	44	0.031236	44	0.046695
45	0.063117	45	0.067574	45	0.069773	45	0.084092
46	0.025283	46	0.030184	46	0.032003	46	0.046934
47	0.05423	47	0.059467	47	0.061464	47	0.075726
48	0.049575	48	0.055114	48	0.057088	48	0.071658
49	0.030404	49	0.036169	49	0.037711	49	0.051864
50	0.068546	50	0.074834	50	0.076893	50	0.09086

### Datos tasa de corte y esfuerzo de corte quinua negra

QN-0		QN-24h		QN-48h		QN-72h	
Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte
$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$
[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]
1	0.012198	1	0.0034321	1	0.017549	1	0.0075699
2	0.011132	2	0.0092545	2	0.021087	2	0.014455
3	0.012685	3	0.012155	3	0.024545	3	0.019179
4	0.017063	4	0.017048	4	0.031602	4	0.026425
5	0.022468	5	0.02312	5	0.039149	5	0.034007
6	0.018072	6	0.019472	6	0.037447	6	0.032693
7	0.015801	7	0.017367	7	0.036312	7	0.031248
8	0.0024645	8	0.0046437	8	0.024577	8	0.018763
9	-0.006671	9	-0.0045075	9	0.015959	9	0.010933
10	-0.010189	10	-0.0076896	10	0.013409	10	0.0080019
11	-0.0058636	11	-0.0028786	11	0.018602	11	0.012972
12	0.0080024	12	0.011796	12	0.033374	12	0.027696
13	0.024012	13	0.028793	13	0.050433	13	0.044709
14	0.022647	14	0.02704	14	0.049636	14	0.043829
15	0.0039605	15	0.0079589	15	0.03131	15	0.024929
16	-0.0059653	16	-0.001862	16	0.022321	16	0.014558
17	0.0067788	17	0.011968	17	0.036793	17	0.027875
18	0.029914	18	0.035628	18	0.061143	18	0.051368
19	0.018895	19	0.024411	19	0.050574	19	0.040315
20	-0.0028574	20	0.0020283	20	0.029024	20	0.017395
21	0.010284	21	0.015727	21	0.043431	21	0.03086
22	0.035056	22	0.041159	22	0.069018	22	0.056146
23	0.012874	23	0.018289	23	0.046992	23	0.033634
24	0.0032541	24	0.0084604	24	0.03715	24	0.02313
25	0.035227	25	0.041579	25	0.07056	25	0.055916
26	0.020944	26	0.025265	26	0.056812	26	0.041523
27	0.0065484	27	0.011346	27	0.044119	27	0.026416

28	0.040416	28	0.046949	28	0.079592	28	0.061914
29	0.01614	29	0.020918	29	0.054954	29	0.036854
30	0.017809	30	0.023101	30	0.056846	30	0.03791
31	0.042584	31	0.048771	31	0.082785	31	0.064153
32	0.0089049	32	0.01425	32	0.049242	32	0.029084
33	0.045202	33	0.052431	33	0.088027	33	0.06715
34	0.017081	34	0.023497	34	0.059932	34	0.038641
35	0.03416	35	0.042073	35	0.077994	35	0.056472
36	0.029381	36	0.036705	36	0.073039	36	0.051656
37	0.029381	37	0.036662	37	0.074172	37	0.051132
38	0.03753	38	0.044415	38	0.082385	38	0.059519
39	0.029742	39	0.03685	39	0.074459	39	0.051215
40	0.038936	40	0.046004	40	0.083565	40	0.060829
41	0.03626	41	0.044392	41	0.082972	41	0.058325
42	0.032446	42	0.039746	42	0.079179	42	0.05466
43	0.049087	43	0.057322	43	0.095881	43	0.071505
44	0.024759	44	0.032344	44	0.071333	44	0.046839
45	0.061931	45	0.070146	45	0.11043	45	0.084574
46	0.024806	46	0.032743	46	0.072934	46	0.046799
47	0.053254	47	0.061703	47	0.10154	47	0.075824
48	0.049116	48	0.057761	48	0.098632	48	0.071618
49	0.029848	49	0.038071	49	0.080162	49	0.05201
50	0.067307	50	0.076581	50	0.11848	50	0.090711

### Datos tasa de corte y esfuerzo de corte quinua roja

QR-0h		QR-24h		QR-48h		QR-72h	
Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Tasa de corte	Esfuerzo de corte
$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$	$\dot{\gamma}$	$\tau$
[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]	[1/s]	[Pa]
1	1.29E-02	1	0.012924	1	0.0018609	1	0.019458
2	0.007559	2	0.018955	2	0.0095742	2	0.021801
3	0.0097403	3	0.022171	3	0.012404	3	0.025862
4	0.014214	4	0.029154	4	0.01765	4	0.032422
5	0.0202	5	0.035896	5	0.023918	5	0.040051
6	0.01634	6	0.033623	6	0.02022	6	0.036775
7	0.014048	7	0.032472	7	0.017937	7	0.034243
8	0.0010979	8	0.020408	8	0.0044503	8	0.021211
9	-0.0086359	9	0.011101	9	-0.0053962	9	0.01079
10	-0.011993	10	0.009696	10	-0.0088641	10	0.0068227
11	-0.0081086	11	0.015705	11	-0.00514	11	0.010924
12	0.006187	12	0.030931	12	0.009085	12	0.025088
13	0.022972	13	0.048175	13	0.025261	13	0.041201
14	0.021743	14	0.046662	14	0.024265	14	0.039955
15	0.002339	15	0.027834	15	0.0047904	15	0.020689
16	-0.0080717	16	0.01877	16	-0.0055689	16	0.010417

17	0.005234	17	0.0335	17	0.0078066	17	0.023628
18	0.029001	18	0.058079	18	0.03129	18	0.047299
19	0.01795	19	0.046347	19	0.020273	19	0.036507
20	-0.0047371	20	0.025505	20	-0.0026246	20	0.013996
21	0.0082516	21	0.039609	21	0.010665	21	0.02756
22	0.033716	22	0.064916	22	0.035796	22	0.052861
23	0.010914	23	0.042769	23	0.013077	23	0.030515
24	0.00036255	24	0.033284	24	0.0027572	24	0.020111
25	0.033125	25	0.066622	25	0.035104	25	0.052978
26	0.01863	26	0.051818	26	0.020524	26	0.038459
27	0.0031574	27	0.037963	27	0.0054662	28	0.058802
28	0.038632	28	0.074226	28	0.040528	29	0.034526
29	0.013377	29	0.048605	29	0.015491	30	0.03543
30	0.014319	30	0.051209	30	0.01654	31	0.061111
31	0.04031	31	0.076629	31	0.042411	32	0.026164
32	0.0050043	32	0.042536	32	0.0069934	33	0.064193
33	0.042799	33	0.081296	33	0.044711	34	0.035684
34	0.014066	34	0.05197	34	0.016112	36	0.048834
35	0.03173	35	0.071629	35	0.033836	37	0.047936
36	0.027083	36	0.065958	36	0.028883	38	0.056478
37	0.025956	37	0.067281	37	0.028129	39	0.04796
38	0.034128	38	0.074614	38	0.03653	40	0.057742
39	0.025729	39	0.06813	39	0.027864	41	0.055202
40	0.035069	40	0.076692	40	0.03738	42	0.051265
41	0.032423	41	0.076013	41	0.034671	43	0.068263
42	0.028625	42	0.071235	42	0.030837	44	0.04321
43	0.045229	43	0.089649	43	0.04721	45	0.081117
44	0.020258	44	0.0645	44	0.022667	46	0.043081
45	0.058214	45	0.10349	45	0.060066	47	0.072211
46	0.019783	46	0.065985	46	0.022226	48	0.0678
47	0.049103	47	0.094876	47	0.051316	49	0.048508
48	0.044402	48	0.092099	48	0.046358	50	0.087208
49	0.024749	49	0.072534	49	0.026768		
50	0.063635	50	0.11196	50	0.065357		

## Apéndice 7: Panel fotográfico



**Fotografía 1.** Remojo de granos



**Fotografía 2.** Germinado de granos



**Fotografía 3.** Granos germinados



**Fotografía 4.** Medida de color



**Fotografía 5.** Medida de Aw



**Fotografía 5.** Medida de grupos funcionales