



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**CINÉTICA DE DIFUSIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES DURANTE  
EL GERMINADO Y SECADO DE TRES VARIEDADES DE  
QUINUA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**BRIGITTE JOSSIE ESCOBEDO GALINDO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CINÉTICA DE DIFUSIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES DURANTE EL GERMINADO Y SECADO DE TRES VARIEDADES DE QUINUA**

AUTOR

**Brigitte Jossie Escobedo Galindo**

RECUENTO DE PALABRAS

**17906 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**99102 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**97 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 11, 2024 7:58 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 11, 2024 8:00 AM GMT-5**

● **16% de similitud general**

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

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
MARIELA CALSIN CORTI  
DNI: 40449478

  
Ulises Alvarado Manani



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Dios,  
fuente de sabiduría y fortaleza.*

*A mis padres Edwin y Leticia, mis  
hermanas Michelle y Karol, y a mis  
abuelos quienes han compartido  
conmigo este camino lleno de desafíos y  
logros.*

*A todos ellos,  
mi gratitud eterna por su amor,  
comprensión y aliento constante.*

*Brigitte Jossie Escobedo Galinda*



## AGRADECIMIENTOS

*Mi profunda gratitud a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y a mis docentes por su apoyo y comprensión, factores clave que hicieron posible llevar a cabo y culminar esta investigación.*

*Agradezco profundamente a mi asesora, Marianela Calsin Cutimbo, por sus conocimientos y orientación, iluminando mi camino en esta travesía académica.*

*Expreso mi sincero agradecimiento a mis entrañables amigos, Sandra, Esperanza y Mirian, por su constante ánimo y por compartir conmigo las alegrías y desafíos de este viaje. Al equipo de laboratorio conformado por Pablito, Rufino, Mary y Roxana, les agradezco su valioso apoyo durante los momentos más difíciles.*

*Por último, reconozco y agradezco a todos aquellos que, de alguna manera, dejaron una huella en mi camino hacia la culminación de este proyecto.*

*Brigitte Jossie Escobedo Galindo*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. CINÉTICA DE DIFUSIÓN APLICANDO MODELO DE PELEG .....</b>	<b>19</b>
2.1.1. Modelo de Peleg.....	19
2.1.2. Aportes de Peleg para la difusión .....	20
<b>2.2. ANTIOXIDANTES.....</b>	<b>21</b>
2.2.1. Compuestos fenólicos .....	21
2.2.2. Capacidad antioxidante .....	22
<b>2.3. GERMINACIÓN DE GRANOS Y SEMILLAS .....</b>	<b>22</b>
2.3.1. Parámetros de germinación.....	23



<b>2.4.</b>	<b>SECADO .....</b>	<b>24</b>
2.4.1.	Secado convencional.....	25
2.4.2.	Secado por microondas .....	25
<b>2.5.</b>	<b>GENERALIDADES DE LA QUINUA .....</b>	<b>25</b>
2.5.1.	Variedad Salcedo INIA.....	26
2.5.2.	Variedad Chullpi Anaranjada.....	27
2.5.3.	Variedad Negra Collana.....	27
2.5.4.	Antioxidantes en el germinado de la quinua.....	28
2.5.5.	Antioxidantes en el secado de la quinua .....	29
<b>2.6.</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
<b>3.1.</b>	<b>UBICACIÓN DEL LUGAR DE EJECUCIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>35</b>
3.2.1.	Materia prima.....	35
3.2.2.	Materiales.....	35
3.2.3.	Equipos.....	36
3.2.4.	Reactivos.....	38
<b>3.3.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>38</b>
3.3.1.	Germinación de las tres variedades de quinua .....	38
3.3.2.	Desarrollo de los parámetros de germinación.....	42
3.3.3.	Obtención de los extractos de quinua germinada.....	42
3.3.4.	Secado convencional y por microondas de tres variedades de quinua germinada.....	43
<b>3.4.</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISIS.....</b>	<b>44</b>



3.4.1. Contenido de humedad.....	44
3.4.2. Parámetros de germinación.....	45
3.4.3. Cinética de difusión con el modelo de Peleg .....	46
3.4.4. Determinación de capacidad antioxidante .....	47
3.4.5. Determinación de compuestos fenólicos totales .....	47
<b>3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>48</b>
3.5.1. Diseño experimental para la evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos durante la germinación de quinua.....	48
3.5.2. Diseño experimental para la evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en el secado de quinua germinada. ....	49
<b>3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO .....</b>	<b>50</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE DIFUSIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES DURANTE LA GERMINACIÓN DE TRES VARIEDADES DE QUINUA (SALCEDO INIA, CHULLPI ANARANJADA Y NEGRA COLLANA) A DOS TEMPERATURAS (22 Y 28 °C) .....</b>	<b>51</b>
4.1.1. Parámetros de germinación de tres variedades de quinua a dos temperaturas .....	51
4.1.2. Cinética de difusión de los compuestos fenólicos (Peleg).....	55
4.1.3. Cinética de difusión de la capacidad antioxidante (Peleg) .....	58
<b>4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS TIPOS DE SECADO SOBRE LOS ANTIOXIDANTES DE TRES VARIEDADES DE QUINUA GERMINADA .....</b>	<b>63</b>
4.2.1. Efecto del tipo de secado sobre los compuestos fenólicos totales .....	63



4.2.2. Efecto del tipo de secado sobre la capacidad antioxidante .....	65
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>76</b>

**ÁREA:** Ingeniería y tecnología

**TEMA:** Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 12 de abril del 2024





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Análisis físico/químico de la variedad Salcedo INIA (g/100g, de muestra)	26
<b>Tabla 2</b> Análisis físico/químico de la variedad Chullpi Anaranjada (g/100g, de muestra).....	27
<b>Tabla 3</b> Análisis físico/químico de la variedad Negra Collana (g/100g, de muestra).....	28
<b>Tabla 4</b> Ecuaciones para los parámetros de germinación .....	45
<b>Tabla 5</b> Diseño experimental para el primer objetivo específico .....	49
<b>Tabla 6</b> Diseño experimental para el segundo objetivo específico.....	49



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Diagrama de flujo para la germinación de quinua - primera etapa .....	39
<b>Figura 2</b> Diagrama de flujo para el tipo de secado de quinua germinada - segunda etapa.....	43
<b>Figura 3</b> Parámetros de germinación de tres variedades de quinua: a) Tasa de germinación, b) Tiempo medio de germinación, c) Energía de germinación y d) Índice de germinación .....	52
<b>Figura 4</b> Difusión de los compuestos fenólicos en muestras de quinuas germinadas a dos temperaturas .....	55
<b>Figura 5</b> Cinética de difusión de los compuestos fenólicos totales en quinua germinada con el modelo de Peleg.....	57
<b>Figura 6</b> Difusión de capacidad antioxidante en muestras de quinuas germinadas a dos temperaturas .....	59
<b>Figura 7</b> Cinética de difusión de la actividad antioxidante en quinua germinada con el modelo de Peleg.....	61
<b>Figura 8</b> Comparación entre el tipo de secado sobre los compuestos fenólicos totales de quinua germinada.....	64
<b>Figura 9</b> Comparación entre el tipo de secado sobre la capacidad antioxidante de quinua germinada .....	65



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Primera etapa.....	76
<b>ANEXO 2</b> Segunda etapa.....	82
<b>ANEXO 3</b> Parámetros de germinación de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C.....	84
<b>ANEXO 4</b> Difusión de los compuestos fenólicos durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C .....	87
<b>ANEXO 7</b> Constantes de Peleg en la difusión de capacidad antioxidante durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C ....	91
<b>ANEXO 8</b> Compuestos fenólicos de tres variedades de quinua germinada secadas por estufa y microondas.....	93
<b>ANEXO 9</b> Capacidad antioxidante de tres variedades de quinua germinada secadas por estufa y microondas .....	94



## ACRÓNIMOS

°C:	Grados Celsius
ABTS:	2,2 -azino-bis 3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfónico
ADN:	Ácido desoxirribonucleico
ANOVA:	Análisis de varianza
AOAC:	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
AR:	Análisis Reactivo
CH <sub>3</sub> OH:	Metanol
DCA:	Diseño Completo al Azar
DPPH:	2,2'-Difenil-1-Picrilhidrazil
DW:	Drying Weight, peso seco
ELN:	Extracto Libre de Nitrógeno
FRAP:	Poder Antioxidante Reductor Férrico
g:	Gramo
h:	Hora, horas
HAT:	Transferencia de átomos de hidrógeno
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria
ISTA:	Asociación Internacional de Análisis de Semillas
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> :	Persulfato de potasio
Kcal:	Kilo caloría
Kg:	Kilogramo
mg:	Miligramos
MIDAGRI:	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
min:	Minuto, minutos



ml:	Mililitros
mm:	Milímetros
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> :	Carbonato de sodio
NaClO:	Hipoclorito de sodio
NaClO:	Hipoclorito de sodio
nm:	Nanómetros
P.A.:	Para Análisis
rpm:	Revoluciones por minuto
SET:	Transferencia de un solo electrón
TFC:	Contenido Total de Polifenoles y Flavonoides
TPC:	Contenido Total de Polifenoles y Flavonoides
uL:	Microlitros
v/v:	Volumen sobre volumen
W:	Watt



## RESUMEN

La cinética de difusión de los antioxidantes utilizando el modelo de Peleg es importante para predecir el comportamiento de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante la germinación que podría atribuirse a sus parámetros como tiempo y temperatura de las diferentes variedades de quinua. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la cinética de difusión de los antioxidantes durante el germinado y secado de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Wild*), Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana. En una primera etapa se realizó el germinado de las variedades considerando temperaturas de 22 y 28 °C durante 24, 48 y 72 horas. Las muestras obtenidas fueron evaluadas en parámetros de germinación, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. En la segunda etapa se evaluó el tipo de secado en microondas a 2, 3.5 y 5 minutos, y secado convencional a 50 °C durante 8 horas en donde se analizaron los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a las muestras obtenidas. De los resultados durante el germinado de las variedades nativas Negra Collana y Chullpi Anaranjada muestran parámetros cinéticos  $k_1$  y  $k_2$  con valores más bajos que la variedad convencional Salcedo INIA, indicando que las variedades nativas tienen mayor velocidad inicial de difusión de los antioxidantes y mayor capacidad de difusión de los antioxidantes. Así también el secado por microondas por 5 minutos es mayor la cantidad de compuestos fenólicos en las variedades nativas. En conclusión, durante el germinado y secado en microonda aumenta el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las variedades nativas.

**Palabras clave:** Antioxidantes en quinua, Cinética de difusión, Compuestos fenólicos, Parámetros de Germinación, Modelo de Peleg, Secado convencional y microondas.



## ABSTRACT

The diffusion kinetics of antioxidants using the Peleg model is essential for predicting the behavior of phenolic compounds and antioxidant capacity during germination, which could be attributed to parameters such as time and temperature of different quinoa varieties. This research aims to evaluate the diffusion kinetics of antioxidants during the germination and drying of three quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Wild): Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada, and Negra Collana. In the first stage, germination was performed at temperatures of 22 and 28 °C for 24, 48, and 72 hours. The obtained samples were assessed for germination parameters, total phenolic compounds, and antioxidant capacity. In the second stage, drying was evaluated using microwave drying for 2, 3.5, and 5 minutes, and conventional drying at 50 °C for 8 hours, analyzing phenolic compounds and antioxidant capacity in the obtained samples. Results from germination indicate that the native varieties Negra Collana and Chullpi Anaranjada show lower kinetic parameters  $k_1$  and  $k_2$  than the conventional variety Salcedo INIA, suggesting that native varieties have a higher initial diffusion rate and greater diffusion capacity of antioxidants. Microwave drying for 5 minutes also results in a higher amount of phenolic compounds in native varieties. In conclusion, germination and microwave drying increase the content of phenolic compounds and antioxidant capacity in native varieties.

**Keywords:** Antioxidants in quinoa, Conventional and microwave drying, Diffusion kinetics, Germination parameters, Peleg model, Phenolic compounds.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa Wild*), originaria de los Andes Sudamericanos y cultivada en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia, cuenta con alrededor de 3 000 variedades que se adaptan a diversas zonas agroecológicas y presentan propiedades nutricionales propias (Campos-Rodriguez et al., 2022). Las variedades de quinua, con tonos blanco, amarillo, rojo y negro, se diferencian en convencionales o mejoradas genéticamente y en nativas o no mejoradas, que conservan sus características naturales (Apaza et al., 2013). Diversas investigaciones resaltan sus propiedades nutricionales y funcionales, siendo reconocida entre los pseudocereales por su alto contenido de aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos que brindan propiedades antioxidantes por lo que su consumo regular puede reducir el riesgo de padecer enfermedades degenerativas y es apto para personas celiacas o alérgicas al gluten (Campos-Rodriguez et al., 2022; Garcia-Mazcorro et al., 2016). La preferencia del mercado por las variedades de quinua de tonos claros y de gran tamaño han dejado de lado a las variedades de quinua roja y negra las cuales destacan por su alto contenido antioxidante por la presencia de polifenoles que contribuyen a neutralizar y eliminar radicales libres, protegiendo las células del envejecimiento y alteraciones en el ADN (Repo de Carrasco & Encina Zelada, 2008).

La quinua puede mejorar su calidad aplicando métodos como la germinación y el secado para potenciar sus nutrientes, reducir anti nutrientes, aumentar la biodisponibilidad y mejorar la textura como también el sabor (Acosta-Estrada et al., 2014; FAO, 2014; Thakur et al., 2021) El germinado involucra la absorción de agua en las semillas, seguido por la activación de enzimas que descomponen las reservas de almidón y proteínas con el fin de suministrar energía y nutrientes para el crecimiento de la plántula





(Alvarez-Jubete et al., 2010). La aplicación de este método conduce a un aumento significativo en la actividad antioxidante que puede estar relacionado con la liberación de componentes fenólicos de las paredes celulares o la interacción entre componentes de proteína y almidón (Thakur et al., 2021; Urbano et al., 2005). Este aumento permite que la quinua germinada pueda incluirse en productos funcionales como opción en dietas vegetarianas o libre de gluten (Campos-Rodriguez et al., 2022; Repo-Carrasco-Valencia & Encina-Zelada, 2008).

Investigaciones sobre los efectos de tratamientos térmicos a bajas temperaturas en la quinua también han evidenciado mejoras en sus compuestos bioactivos (Repo-Carrasco-Valencia & Vidaurre Ruiz, 2019). El secado convencional en la quinua germinada se realiza con el fin de detener el proceso enzimático pero también puede aumentar el contenido fenólico y antioxidante (Aguilar et al., 2019; Carciochi et al., 2015). Por otra parte; el uso del microondas ofrece mayor control, ahorro de tiempo y eficiencia energética mejorando la actividad antioxidante y contenido fenólico de la quinua (Schiffmann, 1995; Sharma et al., 2022).

Para conocer el comportamiento de la capacidad antioxidante y compuesto fenólico de la quinua durante la germinación y el efecto que tiene el tipo de secado sobre estos bio compuestos, es necesario comprender la velocidad de difusión durante un determinado periodo para así poder profundizar en la aplicación y alcance que se pueda obtener (Lachi-Silva et al., 2020). En este contexto, el presente estudio hace uso de la cinética de difusión para comprender la distribución de antioxidantes y fenoles a medida que los granos de quinua germinan o se secan (Ganjloo et al., 2012). Además, el Modelo de Peleg, basado en la teoría de difusión, se puede ajustar para este estudio proporcionando una interpretación cuantitativa y precisa de cómo se dispersan los antioxidantes en los granos de quinua (Abu-Ghannam & McKenna, 1997).



## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la cinética de difusión de los antioxidantes durante el germinado y secado de tres variedades de quinua.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la cinética de difusión de los antioxidantes durante la germinación de tres variedades de quinua (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) a dos temperaturas (22 y 28 °C) en tres tiempos (24, 48 y 72 h).
- Evaluar el efecto de dos tipos de secado (convencional y microondas) sobre los antioxidantes de tres variedades de quinua germinada (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana).



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. CINÉTICA DE DIFUSIÓN APLICANDO MODELO DE PELEG

##### 2.1.1. Modelo de Peleg

El modelo de Peleg se utiliza para representar la cinética de absorción de agua en alimentos durante procesos como la rehidratación (Ganjloo et al., 2012). Es una herramienta útil para entender la velocidad de absorción de agua y el equilibrio de humedad en productos como frutas deshidratadas y granos, ofreciendo información sobre la estructura del producto estudiado (Maldonado et al., 2008). Sus parámetros cinéticos  $k_1$  y  $k_2$  son constantes de la ecuación, en donde  $k_1$  representa la tasa de transferencia de masa, indica que a menor valor es mayor la tasa inicial de absorción de agua esto va a depender de la temperatura del agua, y  $k_2$  se relaciona con la máxima capacidad de absorción de agua mostrando que entre más bajo sea su valor es más alta la capacidad de absorción de agua y suele ser independiente de la temperatura del agua de remojo (Paredes et al., 2012). Para ajustar el modelo a las necesidades que se desean estudiar, es importante tomar en cuenta que la capacidad de rehidratación que se ve afectada por factores como la composición inicial del producto, las condiciones del proceso y la preparación, magnitud del desorden químico y estructural que se genera durante el proceso del alimento, que regularmente suele ser un proceso de secado (Abu-Ghannam & McKenna, 1997).



### 2.1.2. Aportes de Peleg para la difusión

El modelo de Peleg es muy utilizado en el estudio de la cinética de absorción de agua en productos agrícolas y se destaca por su capacidad para predecir el contenido de humedad en equilibrio utilizando datos experimentales a corto plazo (Jideani & Mpotokwana, 2009). Su elección se basa en la confiabilidad y aplicabilidad que ha demostrado previamente en investigaciones sobre fenómenos de absorción de humedad en numerosos estudios que abarcan una amplia gama de alimentos incluyendo garbanzos, lentejas, frijoles blancos, avellanas y hojas (Paredes et al., 2012). La utilidad práctica de este modelo en alimentos radica en la capacidad de prever cambios en el contenido de humedad durante la rehidratación a lo largo del tiempo (Peleg, 1988). Esto es esencial para la industria alimentaria, ya que ayuda en el diseño de procesos y la optimización de la calidad de productos rehidratados (Moreira Azoubel & Xidieh Murr, 2004).

Asimismo, facilita la determinación del tiempo necesario para alcanzar niveles específicos de humedad, previniendo problemas como la descomposición o pérdida de calidad durante la rehidratación (Cubillo et al., 2020). En el contexto de granos con almidón y aceitosos, se aplica principalmente por debajo de la temperatura de gelatinización (etapa de acondicionamiento) en lugar de por encima de ella (etapa de cocción) (Abu-Ghannam & McKenna, 1997). La ecuación es ajustable para poder analizar la cinética de difusión de compuestos como polifenoles y antocianinas si se tiene como estudio un sólido que entra en contacto con un líquido, lo que facilita la comprensión y cuantificación de cómo ciertos factores afectan la difusión de compuestos específicos (Calsin-Cutimbo et al., 2023).



## 2.2. ANTIOXIDANTES

Los antioxidantes son moléculas de origen natural o artificial que poseen la función de inhibir o reducir la oxidación de bio macro moléculas que se encuentran en pequeñas concentraciones dentro del cuerpo humano y desempeñan varios roles fisiológicos incluida la prevención del estrés oxidativo que lo protege contra el daño causado por radicales libres en lípidos celulares y ADN (Elsayed Azab et al., 2019). En resumen, se puede describir que un antioxidante tiene la habilidad de contrarrestar un sistema biológico contra radicales libres como los derivados del oxígeno, nitrógeno y lípidos (Cano & Arnao, 2004). En los últimos años, las sustancias antioxidantes, que incluyen vitaminas y otras, han ganado importancia, ya que se ha comprobado su contribución en la prevención de enfermedades degenerativas y diversos tipos de cánceres (Russo, A.; Palumbo, M.; Aliano, C.; Lempereur & G.; Renis, 2003).

### 2.2.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos conforman un conjunto variado de fitoquímicos que engloba desde fenoles simples hasta polifenoles complejos, compartiendo en sus estructuras químicas la presencia de uno o más grupos hidroxilo (Melini & Melini, 2021). Se hallan de manera generalizada en todas las plantas e incluyen derivados de ácido hidroxibenzoico y ácido cinámico, flavonoides, agumamarinas y taninos (Naczk & Shahidi, 2004). En cereales y pseudocereales, estos compuestos regularmente están presentes en las capas visibles de los granos (Koch et al., 2019).

Los métodos químicos que determinan el contenido de compuestos fenólicos más conocidas son las técnicas cromatográficas y espectro métricas que se emplean para identificar y cuantificar compuestos individuales (Naczk &



Shahidi, 2004). Los métodos de enfoques colorimétricos redox están centrados en las propiedades reductoras de los grupos fenólicos, entre tanto el método Folin-Ciocalteu se basa en la disminución de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico en un medio alcalino (Chen et al., 2015). Las metodologías oficiales están determinadas por la AOAC y estas son la reacción DPPH, determinación TPC y TFC (Dorantes-Salazar et al., 2023).

### **2.2.2. Capacidad antioxidante**

La capacidad antioxidante se relaciona con la habilidad que posee un compuesto o matriz alimentaria para contrarrestar los radicales libres mediante mecanismos HAT y SET (Sirivibulkovit et al., 2018). Los métodos químicos más conocidos que determinan la capacidad antioxidante son el método DPPH que utiliza el radical que cambia de morado a amarillo pálido al ser reducido por antioxidantes, se mide el descenso de la absorbancia por espectrofotometría; otro método es el ABTS que implica la preformación del radical ABTS y su reducción por antioxidantes, se mide la absorbancia por espectrofotometría a 734 nm; Y por último, el método FRAP que se basa en la reducción del ion férrico a ferroso mediante el mecanismo HAT en un medio ácido, se determina con absorbancia a 593 nm (Dorantes-Salazar et al., 2023; Sirivibulkovit et al., 2018).

## **2.3. GERMINACIÓN DE GRANOS Y SEMILLAS**

La germinación es un proceso elemental en el ciclo de vida de las plantas, donde una semilla absorbe agua, se rompe y da origen al crecimiento de una nueva planta con raíces, tallo y hojas (Campos-Rodriguez et al., 2022). Este fenómeno, es esencial para el desarrollo vegetal, implica una serie de eventos después de la absorción de agua por parte de la semilla hasta la elongación del eje del embrión influenciado por la activación de



enzimas, como las amilasas, proteasas y lipasas, que descomponen almidones, proteínas y grasas almacenadas en componentes más simples (Pilco-Quesada et al., 2020). El desplazamiento de las principales reservas de almacenamiento está asociada al incremento del brote siendo un factor muy importante en este proceso (Benincasa et al., 2019). Además de ser económico y factible, la germinación se practica ampliamente para optimizar el valor nutricional y disminuir los factores anti nutricionales de los cereales y pseudocereales (Padmashree et al., 2023).

Durante la germinación, se desencadenan cambios bioquímicos que movilizan, acumulan, metabolizan nutrientes y otros fitoquímicos reduciendo los componentes anti nutricionales y mejorando así la calidad nutricional del grano (Gawlik-Dziki et al., 2013). Las reacciones en el grano provocan modificaciones estructurales y la síntesis de nuevos compuestos (Diez, 2021). La composición química y el valor nutricional de los granos se ven fuertemente influenciados por el proceso de germinación, convirtiendo a los germinados en alimentos funcionales que facilitan la asimilación y aprovechamiento de nutrientes en el organismo (Aguilar et al., 2019).

### **2.3.1. Parámetros de germinación**

Los parámetros de germinación son medidas utilizadas para evaluar y describir el proceso de germinación de semillas (Kibar et al., 2021). Ofrecen detalles sobre la rapidez, uniformidad y eficacia del proceso, siendo cruciales en investigaciones agrícolas y para determinar el impacto de ciertos factores en la germinación de las semillas (ISTA, 1985). La tasa de germinación, el tiempo medio de germinación, el índice de germinación y la energía de germinación se determinan según el método de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA, por sus siglas en inglés) (Kataria et al., 2017; Pilco Quesada,



2020). La evaluación de los parámetros de germinación es importante para la producción de cultivos, la conservación de semillas y la investigación agrícola, así como también para la comprensión de la cinética de los parámetros de germinación que puede ayudar a prevenir pérdidas de calidad y predecir cambios en la composición durante el procesamiento de semillas o granos (Kibar et al., 2021). Para obtener semillas de alta calidad, es esencial implementar una gestión de calidad eficaz basada en materiales de semillas vigorosas, lo que implica determinar las condiciones de almacenamiento óptimas para genotipos específicos (Kamjijam et al., 2020).

#### **2.4. SECADO**

El secado es un proceso que sigue a la germinación y que involucra tratamiento térmico para detener los procesos metabólicos y desarrollar sabor y aroma (Pilco Quesada, 2020). Los granos o semillas deben pasar por ciertos tratamientos térmicos de preprocesamiento antes del consumo doméstico o durante los protocolos de producción industriales, en los que ocurren muchos cambios según el tratamiento, la duración del procesamiento y los granos que se evalúan (Kataria et al., 2017; Sharma et al., 2022). Algunos tratamientos térmicos, como la cocción, el horneado o el secado pueden afectar los componentes nutricionales y contribuir a la oxidación de proteínas, la degradación del triptófano y la carbonilación de proteínas (Popoola, 2022).

El secado tiene diversos efectos sobre el contenido fenólico y los carotenoides (Lan et al., 2023). Puede mejorar las propiedades funcionales que influyen principalmente en la textura y propiedades organolépticas (Thakur et al., 2021). En este proceso ocurren muchas variaciones según el tratamiento, la duración y los tipos de granos que se procesan (Sharma et al., 2022).





#### **2.4.1. Secado convencional**

El secado convencional realizado comúnmente por estufa, es una operación muy usada en diversos procesos alimentarios, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de agua (Olawoye & Gbadamosi, 2020a). La eliminación del agua permite al sólido conservarse ante posibles deterioros en su composición por efecto de reacciones químicas y microbiológicas (Bhinder et al., 2021). Implica la transferencia continua de calor y masa en condiciones transitorias que induce a cambios en el producto seco (Popoola, 2022).

#### **2.4.2. Secado por microondas**

El microondas se presenta como una opción para secar rápidamente los alimentos y mejorar sus cualidades, al mismo tiempo que ofrece ahorro de energía (Schiffmann, 1995). Sin embargo, se ha señalado que puede causar daños al producto debido a la falta de control en la transferencia de calor y masa durante el proceso de secado (Gu et al., 2021; Popoola, 2022).

### **2.5. GENERALIDADES DE LA QUINUA**

La quinua, con alrededor de 3000 variedades registradas en los bancos de germoplasma del Perú, destaca por su diversidad biológica (Repo-Carrasco-Valencia & Vidurre Ruiz, 2019). Su composición incluye todos los aminoácidos esenciales, especialmente lisina y metionina, en proporciones significativas (Pilco-Quesada et al., 2020). Además, al ser libre de gluten, la quinua es apta para personas celíacas, proporcionando propiedades terapéuticas valiosas como mejorar la función inmunológica y contribuir a la absorción y el transporte de calcio (He et al., 2022). Sus semillas tienen aproximadamente 1,8 mm de diámetro de forma plana y esférica, se presentan en

variedades de colores como amarillo, crema, negro, rojizo, translúcido o blanco (Castro et al., 2017).

Las variedades de quinua, adaptadas a diversas condiciones, ofrecen beneficios específicos en términos de rendimiento agrícola y preferencias del consumidor, permitiendo a agricultores y consumidores elegir la variedad más adecuada para sus necesidades y condiciones de cultivo (Apaza et al., 2013; Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). Hoy en día, la producción de quinua se ha diversificado en varios países, convirtiéndola en un superalimento vegetal con alto contenido de proteínas y un excelente perfil de aminoácidos (Diez, 2021).

### 2.5.1. Variedad Salcedo INIA

Apaza et al., (2013) nos indican que la variedad Salcedo INIA es resultado de un cruce entre las variedades Real Boliviana y Sajama en Puno. La selección del material segregante se realizó en 1983 en la Estación Experimental Agraria Illpa, utilizando el método masal genealógico. Se adapta mejor a un clima semi seco frío con suelos franco y arenosos. También se adapta en valles interandinos y la costa. En la Tabla 1. se muestra un análisis físico químico de la variedad.

**Tabla 1**

*Análisis físico/químico de la variedad Salcedo INIA (g/100g, de muestra)*

<b>VARIEDAD SALCEDO INIA</b>	
<b>Valor nutricional</b>	
Humedad (%)	8,66
Proteínas (%)	16,23
Fibra (%)	1,84
Cenizas (%)	2,00
Grasa (%)	5,20
ELN (%)	66,07
Energía (Kcal/100 g)	372,19

Fuente: Apaza et al., (2013)

### 2.5.2. Variedad Chullpi Anaranjada

Bazile et al., (2014) exponen que la variedad Chullpi anaranjada tiene un color anaranjado medio amarillento transparente, es nativa del altiplano y se cultiva comúnmente en Puno. Se adapta mejor en climas fríos pues pertenece a las variedades que destacan por su capacidad para tolerar condiciones climáticas y suelos desfavorables. El análisis físico químico de Chullpi Anaranjada se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Análisis físico/químico de la variedad Chullpi Anaranjada (g/100g, de muestra)*

<b>VARIEDAD CHULLPI ANARANJADA</b>	
<b>Valor nutricional</b>	
Humedad (%)	7,69
Proteínas (%)	8,60
Fibra (%)	1,99
Cenizas (%)	1,20
Grasa (%)	1,50
ELN (%)	84,13
Energía (Kcal/100 g)	382,9

Fuente: Apaza et al., (2005) citado por Yana Condori, (2023)

### 2.5.3. Variedad Negra Collana

(Apaza et al., 2013) mencionan que la variedad Negra Collana (INIA 420) es un resultado de pruebas desarrolladas por la Estación Experimental Agraria Illpa de la INIA. Está conformada por 13 accesiones que fueron recolectadas en 1978 en las localidades de Caritamaya, ubicadas en el distrito de Acora, provincia de Puno. Se adapta mejor en un clima frío y seco con suelos franco y arenoso, pero también se adapta a valles interandinos y a la costa peruana. El análisis físico químico se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Análisis físico/químico de la variedad Negra Collana (g/100g, de muestra)*

<b>VARIEDAD NEGRA COLLANA</b>	
<b>Valor nutricional</b>	
Humedad (%)	9,88
Proteínas (%)	17,62
Fibra (%)	2,10
Cenizas (%)	2,13
Grasa (%)	5,94
ELN (%)	62,33
Energía (Kcal/100 g)	368,61

Fuente: Apaza et al., (2013)

#### **2.5.4. Antioxidantes en el germinado de la quinua**

La quinua, con al menos 193 metabolitos secundarios, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, esteroides y compuestos nitrogenados, exhibe diversas funciones fisiológicas y actividades biológicas, como antioxidantes, citotóxicas, antidiabéticas y antiinflamatorias (Alvarez-Jubete et al., 2010; Nickel et al., 2016). La variación en los perfiles fenólicos y la actividad antioxidante se relaciona con el color de la quinua, siendo las semillas oscuras, como la quinua negra, las más ricas en fenoles y actividad antioxidante (He et al., 2022).

El procesamiento de granos desempeña un papel clave en la mejora de los componentes nutricionales, especialmente los compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante. Este procesamiento puede reducir, aumentar o mantener estas propiedades (Nickel et al., 2016). Además, la germinación incrementa significativamente el contenido fenólico total en la quinua, mejorando su calidad nutricional. La quinua roja y amarilla experimenta un aumento del 200% en el contenido fenólico total después de 6 días de germinación (Carciochi et al., 2015). Campos-Rodriguez et al., (2022) destacan que el tiempo y la temperatura de



germinación son factores clave que afectan a la bioactividad de los brotes. La germinación en condiciones óptimas aumenta el contenido fenólico total y la actividad antioxidante, así como la concentración de flavonoides y compuestos no flavonoides (Pilco-Quesada et al., 2020). Los germinados de quinua, libres de prolaminas, son aptos para dietas sin gluten, aunque la acumulación de nutrientes y compuestos bioactivos en los brotes varía según las condiciones de germinación (Campos-Rodriguez et al., 2022).

### **2.5.5. Antioxidantes en el secado de la quinua**

Los compuestos fenólicos son altamente susceptibles a la degradación, siendo afectados por factores como el pH, la temperatura de almacenamiento, la luz UV y el tiempo (Alvarez-Jubete et al., 2010). La sensibilidad al calor también contribuye a la pérdida de actividad antioxidante, ya que el aumento de la temperatura provoca la degradación de estos compuestos (Bhinder et al., 2021). Se ha observado que la actividad antioxidante disminuye significativamente después del tostado, afectando los nutrientes y antioxidantes fenólicos en alimentos como la quinua (Popoola, 2022). Aunque el tostado puede reducir los compuestos fenólicos, un mayor tiempo de tostado puede aumentar la actividad antioxidante (Maghsoudlou et al., 2019).

## **2.6. ANTECEDENTES**

Ganjloo et al. (2012) estudiaron la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica haciendo uso de la ecuación de Peleg para analizar el efecto de los parámetros del proceso en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica. Emplearon una solución de sacarosa al 30-50% a temperaturas de 30, 40 y 50 °C. Así mismo, ajustaron los datos experimentales a la ecuación de Peleg obteniendo



como resultado un ajuste afectivo para los datos experimentales, mostrando una disminución significativa del parámetro de velocidad de transferencia de masa inicial ( $k_1$ ) al aumentar la concentración y temperatura de la solución. El parámetro de transferencia de masa en equilibrio ( $k_2$ ) disminuyó con el aumento de la concentración de la solución. Concluyeron en que el estudio permite estimar la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica para obtener productos con contenidos de sólidos y agua específicos.

Olawoye & Gbadamosi (2020), investigaron la influencia de los diferentes métodos de procesamiento en las propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales y consistencia de harina de semillas nigerianas de *Amaranthus viridis* (Tete). Se encontró que la germinación aumentó principalmente las propiedades nutricionales y funcionales de la harina de amaranto, mientras que la autoclave mejoró sus propiedades físicas, de consistencia y fluidez en comparación con otros métodos. Además, la germinación y la fermentación redujeron el brillo y el tono rojizo de la harina. En conclusión, la fermentación y la germinación mejoraron las propiedades nutricionales y funcionales de la harina de amaranto, lo que sugiere su potencial uso en productos sin gluten y como ingredientes funcionales en alimentos.

Pilco-Quesada et al. (2020) investigaron los efectos de la germinación y el horneado en los compuestos fenólicos y la composición próxima de dos pseudocereales como la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la kiwicha (*Amaranto caudatus*) originarios de la zona andina. Seleccionaron variedades peruanas específicas de quinua como la "Chullpi" y en kiwicha la variedad "Oscar Blanco" para llevar a cabo el estudio. El proceso de germinación se llevó a cabo durante 24, 48 y 72 horas a una temperatura de 22°C y el horneado fue realizado en muestras germinadas durante 72 horas previamente secadas a 90°C por 5 min. Como resultado ambos procesos incrementaron las proteínas



y la concentración de compuestos fenólicos totales, en cambio la germinación redujo el contenido de lípidos en los pseudocereales. En conclusión, la aplicación de tratamientos aumentó significativamente ( $p < 0.05$ ) el contenido de fenoles y mejoraron su propiedad nutricional a diferencia de la quinua y kiwicha no tratadas.

Diez (2021) investigó sobre el efecto del germinado sobre la capacidad antioxidante de la quinua roja y quinua blanca (*Chenopodium quinoa Willd*) que la germinación incrementó la capacidad antioxidante de las semillas de dos quinuas de diferente tonalidad. Además, observó que la capacidad antioxidante del germinado varió ligeramente dependiendo de la variedad de quinua. En el caso de la quinua blanca, la capacidad antioxidante disminuyó levemente con el aumento de la concentración, mientras que, en la quinua roja, la capacidad antioxidante aumentó ligeramente con la concentración. Al comparar los resultados se concluyó que ambas quinua roja y blanca germinadas exhiben un alto poder antioxidante.

Kibar et al. (2021) investigaron sobre el modelado cinético y análisis multivariado sobre parámetros de germinación de variedades de quinua con efectos de las temperaturas y tiempos de almacenamiento. Buscaron comprobar el vigor de las semillas de quinua en diferentes periodos de almacenamiento (60, 120, 180, 240, 300 y 360 días) y temperaturas (4, 10 y 25 °C) para las variedades Mint Vanilla y Titicaca. Por lo que se cosecharon y almacenaron en bolsas de tela aproximadamente 13,5% (Mint Vanilla) y 13,8% (Titicaca). Se aplicó un modelado cinético para examinar los cambios en los parámetros de germinación de las semillas después del almacenamiento. En la investigación se encontró que la temperatura más efectiva que se puede utilizar en el almacenamiento para una mayor durabilidad de las semillas de quinua es de 4 °C y 10 °C. Se concluyó que la temperatura y la duración del almacenamiento muestran el cambio de los parámetros de



germinación y pueden utilizarse como referencia para la calidad y la seguridad de consumo de la quinua.

Thakur et al. (2021) demostraron el efecto de los tratamientos de remojo y germinación sobre las propiedades nutricionales, antinutricionales y bioactivas del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*), la quinua (*Chenopodium quinoa L.*) y el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum L.*), indicaron que los tratamientos de remojo y germinación sobre las características nutricionales, bioactivas y antinutricionales de los pseudocereales. Los resultados demostraron que hubo un aumento significativo ( $p \leq 0.05$ ) de componentes nutricionales y bioactivos como fibra cruda, proteína cruda, componentes fenólicos, actividad antioxidante y contenido de minerales, pero redujo los antinutrientes como el tanino y el ácido fítico. Se observaron cambios similares en los valores de proteínas, contenido fenólico y actividad antioxidante en el trigo sarraceno y quinua. Mientras que los componentes antinutricionales como el tanino y el ácido fítico disminuyeron. Por lo tanto, el remojo y la germinación demostraron ser excelentes técnicas para minimizar el componente antinutricional y mejorar el potencial nutricional, bioactivo y antioxidante de estos granos subutilizados.

He et al. (2022) estudiaron el efecto de la germinación sobre los compuestos químicos de en seis variedades de semillas y brotes de quinua, donde se enfocaron en determinar el contenido de macronutrientes y micronutrientes para investigar el valor nutricional y los beneficios para la salud. La germinación incrementó significativamente los contenidos de proteínas, azúcares reductores, aminoácidos libres, vitaminas y fitoquímicos como compuestos fenólicos y carotenoides, aunque se notaron variaciones entre las diferentes variedades de quinua. En resumen, se concluyó que los brotes de 6 días se recomiendan como un alimento funcional con valor nutricional.





Popoola (2022) en su trabajo sobre la composición de compuestos fenólicos y actividad antioxidante *in vitro* de la semilla nigeriana de *amaranthus viridis* afectada por la autoclave y la germinación cuyo objetivo fue analizar las consecuencias de diferentes métodos de procesamiento sobre el valor flavonoide, fenólico y antioxidante, evaluar las actividades antioxidantes a través de un ensayo antioxidante *in vitro* discreto; aislar y caracterizar los fenoles y flavonoides. Los granos húmedos se esparcieron en un saco de yute y se colocaron dentro de una cámara de germinación durante 72 h a  $28 \pm 2$  °C. Después de la germinación, los granos se secaron a 50 °C durante 8 h. Seguidamente, las raicillas del grano geminado se retiraron manualmente, se molieron en harina fina y se almacenó a 4 °C. Como resultado se obtuvo que las propiedades antioxidantes *in vitro* del extracto de semilla aumentaron significativamente después de someterse al proceso de germinación. Sin embargo, la autoclave causó una disminución significativa en las actividades antioxidantes del extracto de semilla con la excepción de la actividad de eliminación de radicales DPPH.

Sharma et al. (2022) en la investigación sobre el efecto del procesamiento térmico sobre los compuestos bioactivos, características antioxidantes, antinutricionales y funcionales de la quinua (*Chenopodium quinoa*) indican que los procesos trajeron cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en las características de calidad de la quinua. Los procesamientos térmicos se realizaron en ebullición, cocción, por microondas y autoclave. La ebullición redujo el TPC en un 10,74 %, mientras que otros procesos mejoraron el TPC y el TFC entre un 29,68 y un 105,4 % y entre un 5,12 y un 26,45 %, respectivamente. El calentamiento húmedo redujo los contenidos de saponina entre un 14 y un 64 %, mientras que el calentamiento en seco los aumentó entre un 9 y un 25 %. Se encontró que estos componentes antinutricionales en granos crudos y procesados están dentro de los límites seguros. Las capacidades de absorción de agua mejoraron entre un



12,16% y un 60,39%. Por lo tanto, el procesamiento térmico se puede utilizar para mejorar la potencialidad de la quinua como ingrediente alimentario funcional para proporcionar beneficios tecnológicos y de salud.

Calsin-Cutimbo et al. (2023) realizaron el estudio del efecto de la presencia de residuos antibióticos en el agua potable que puede ser una fuente de contaminación la cual podría afectar en la difusión de los polifenoles en el mosto de vino durante el proceso tradicional de fermentación. Se tomaron muestras diferentes en diferentes períodos (0, 48, 96 y 168 horas) para analizar los polifenoles totales, el contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante, que se correlacionaron con la ecuación de Peleg para establecer la cinética de difusión de estos compuestos. Los resultados indicaron que la presencia de antibióticos redujo entre un 40 y un 50% la difusión de los polifenoles totales en el vino tinto. Además, el uso de ivermectina mostró el parámetro cinético  $k_1$  más alto en comparación con el uso de otros antibióticos. En conclusión, los parámetros cinéticos de Peleg permitieron la linealización de la difusión de polifenoles y antocianinas.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de post cosecha y biotecnología de alimentos pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno a una altura de 3 800 m.s.n.m. con una latitud de -15.82 y longitud de -70.02, Perú.

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1. Materia prima

Se trabajaron con un total de 6 kg de quinua, de los cuales fueron 2 kg de cada variedad nativa (Chullpi Anaranjada y Negra Collana) obtenidas de productores del distrito de Cabana con el seguimiento del MIDAGRI y 2 kg de la variedad convencional (Salcedo INIA) entregado por el INIA ubicado en el departamento de Puno.

##### 3.2.2. Materiales

- Bandejas de plástico (marca REY, 27.5 x 30.4 x 3 cm)
- Bolsa de polietileno de baja densidad (marca PLASTICENTRO, 8 x 15 cm)
- Botellas de vidrio color ámbar (10 ml, 30 ml y 60 ml)
- Embudo de plástico (marca REY)
- Embudo de vidrio (marca PYREX)
- Fiolas (10 ml, 25 ml y 500 ml)



- Gradilla metálica (capacidad para 18 tubos de ensayo)
- Gradilla plástica (capacidad para 60 tubos de ensayo)
- Matraces Erlenmeyer (30 ml)
- Micropipetas (100 ul y 1000 ul)
- Papel filtro (marca ALBET LabScience de 125mm)
- Papel toalla (marca SUPER doble hoja de 19 m)
- Parafilm marca (PLASTIC WRAP de 62.3 m x 29.8 cm)
- Pipetas volumétricas (1 ml, 5 ml y 10 ml)
- Probeta (10 ml, 50 ml y 100 ml)
- Placas Petri de vidrio (marca PYREX)
- Soporte universal estándar (metálica varilla, 70 cm)
- Tubos de ensayo (8 ml y 15 ml)
- Vasos precipitados (10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml y 250 ml)
- Vernier (marca UYUSTOOLS medida de 0.02 mm)

### 3.2.3. Equipos

- Agitador magnético (marca CAT, modelo M6, serie 122271, hecho en Alemania, alimentación eléctrica de 220V)
- Balanza analítica (marca KERN, modelo ABS, serie WO1310335, hecho en Alemania, capacidad de 120g, legibilidad de 0.1mg)
- Balanza de precisión (marca ADAM, modelo HCB 602H, serie AE76406206, hecho en Inglaterra, capacidad de 600g, legibilidad de 0.01g)



- Balanza medidora de humedad (marca RADWAG, modelo PMC 50, serie 366388, hecho en Estados Unidos, capacidad de 50g, legibilidad de 0.1mg)
- Centrifuga (marca HETTICH, modelo EBA 20, serie 0112076, hecho en Alemania, velocidad de 500 a 6000 rpm, temporizador de 1 a 99 min, capacidad de 8 tubos de 15 ml)
- Empacadora al vacío (marca HENKELMAN, modelo JUMBO 42, serie J301404820, hecho en Holanda, dimensiones de la cámara 370 x 420 x 180 mm)
- Espectrofotómetro (marca THERMO SPECTRO, modelo GENESYS 20, hecho en Estados Unidos, longitud de onda 325 a 1100 nm)
- Estereomicroscopio (marca NOVEL, modelo SE2200, serie 20054342, hecho en China, zoom óptico paralelo de 5X a 10X, iluminación LED)
- Estufa de convección (marca MEMMERT, modelo UN 55, serie 1560529, hecho en Alemania, temperatura de 20 a 300°C, reloj temporizador de 1 min a 99 días, capacidad de 20kg)
- Horno microondas (marca SAMSUNG, modelo AMW831K, serie J6E47WETB01638W, hecho en Malasia, potencia de salida de 800W)
- Pulverizador (marca FRISTCH, modelo PULVERISETTE 14, serie 145020, hecho en Alemania, voltaje 230V ac)
- Refrigeradora (marca SAMSUNG modelo ACL8, serie MK172HL2A, hecho en Malasia)
- Selladora de bolsas (marca SAFARI, modelo SF-P-20, hecho en China, grosor de sellado de 2ml, longitud de sellado de 20cm, alimentación eléctrica de 220V)



- Termo higrómetro portátil digital (marca TAYLOR, modelo 1455, serie P2307, hecho en Estados Unidos)

#### **3.2.4. Reactivos**

- 2,2 Azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (marca SIGMA)
- Agua destilada
- Carbonato de sodio P.A. a 99.5% (marca SPECTRUM)
- Folin-Ciocalteu (marca MERK)
- Hipoclorito de sodio a 4% p/p (marca CLOROX)
- Metanol a 99.8% (marca J.T. BAKER)
- Persulfato de potasio AR (marca CDH)

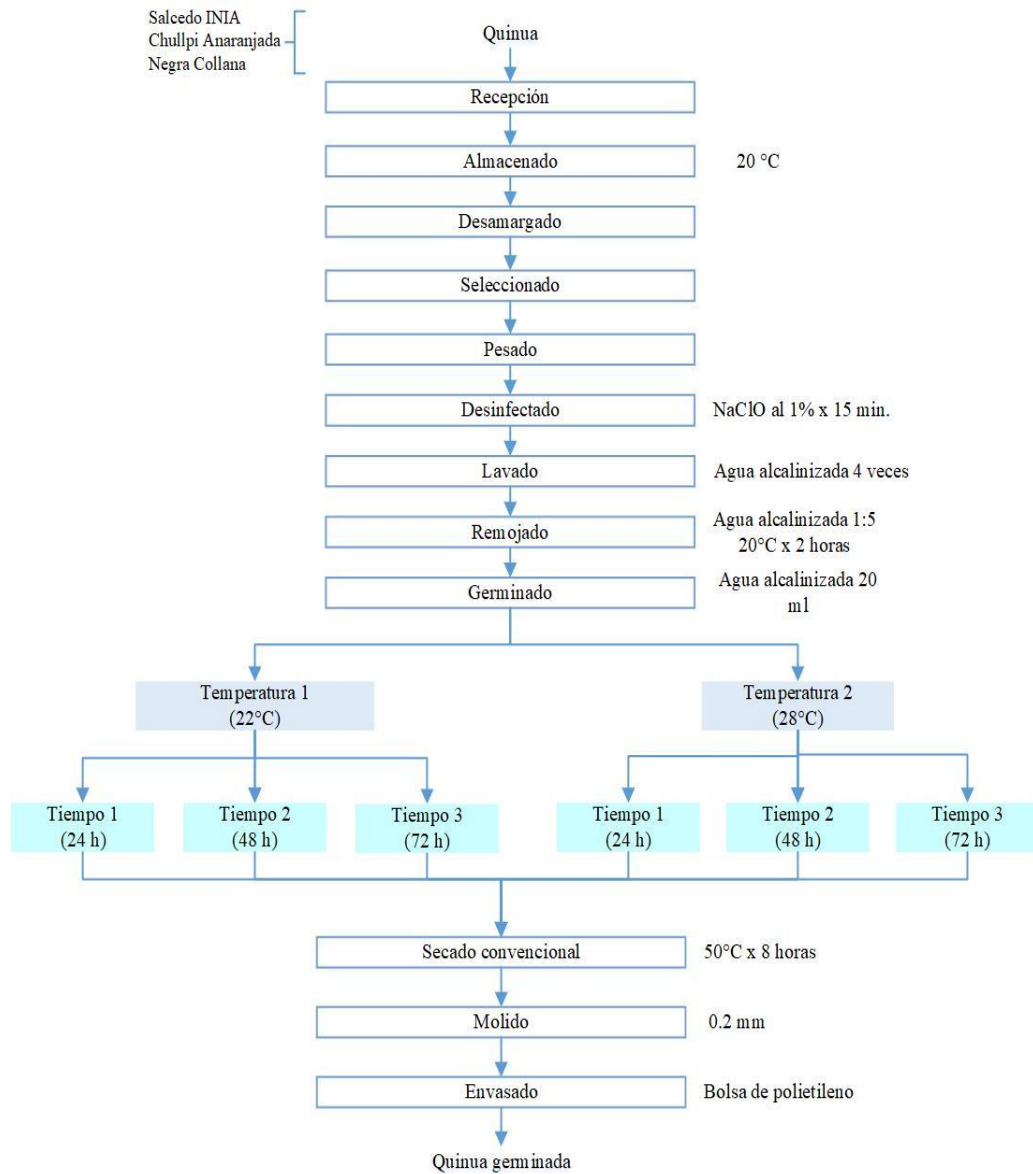
### **3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.3.1. Germinación de las tres variedades de quinua**

Para la evaluación de la cinética de difusión de los antioxidantes durante la germinación de tres variedades de quinua (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) a dos temperaturas (22 y 28 °C) se realizó en una primera etapa como se muestra en la Figura 1. donde se describen los procedimientos para lo cual se utilizaron los métodos reportados por He et al., (2022), Pilco Quesada (2020) y Popoola (2022). Las muestras de quinuas germinadas secas y molidas de se utilizaron para evaluar la cinética de difusión de los antioxidantes mediante el modelo de Peleg.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo para la germinación de quinua - primera etapa*



- **Descripción del procedimiento:**

- a) **Recepción:** Se obtuvieron 2 kg de cada una de las tres variedades de quinua procedentes de Cabana y del INIA. Las variedades se diferenciaron durante el presente estudio por una convencional (Salcedo INIA) de tono blanco y dos nativas (Chullpi Anaranjada y Negra Collana) de tono naranja-amarillo y negro respectivamente.



- b) **Almacenado:** Cada una de las tres variedades de quinua fueron almacenadas en bolsas plásticas blancas, con sus respectivos nombres, dentro de una bolsa de yute a una temperatura ambiente de 20°C y 50% de humedad relativa registrado en el termo higrómetro del laboratorio de post cosecha.
- c) **Desamargado:** Se realizó el desamargado por fricción utilizando una tela Notex en donde se introdujeron las quinuas para poder quitar la saponina que fueron finalmente separadas de los granos al pasar las cascarillas molidas de una bandeja plástica a otra dejando caer los granos desde una altura considerable para evitar el desperdicio de quinua para finalmente volver a embolsar las quinuas libres de saponina, el proceso fue ejecutado por variedad.
- d) **Selecionado:** Los granos de quinua desamargadas se sometieron a limpieza y selección para eliminar los granos que presentaban daños físicos, así como también partículas extrañas como pajillas y piedritas con la finalidad de trabajar en condiciones de pureza y calidad.
- e) **Pesado:** Se pesaron 30 g de quinua en una balanza de precisión para luego ser colocadas en un vasito de polipropileno, este proceso se realizó 5 veces en total se registraron 150 g pesados para cada variedad.
- f) **Desinfectado:** La desinfección de los 30 g de quinua contenidas en los vasos se realizó en solución de NaClO al 1% (v/v) con una proporción de 1:2 durante 15 minutos para evitar invasiones de hongos y bacterias.
- g) **Lavado:** Utilizando agua alcalina, en un recipiente de plástico se procedió a lavar las quinuas desinfectadas frotándolas en un colador durante 15 minutos para eliminar el olor del producto químico y los pocos restos de saponina que quedaron impregnados en los granos después del proceso de desamargado, finalmente se enjuagaron 4 veces las quinuas con ayuda del colador.





- h) Remojado:** En un vaso de polipropileno se remojaron los 30 g de quinua en agua alcalina con una proporción de 1:5 durante dos horas a temperatura ambiente, este proceso se realizó para cada variedad.
- i) Germinado:** Se colocó un trozo de papel toalla que cubrió la base de una bandeja rectangular de polipropileno el cual estaba previamente rotulado (nombre de la variedad, cantidad pesada y hora de germinado) con plumón permanente, seguidamente se añadieron las quinuas remojadas dentro de la bandeja esparciendo con ayuda de una cuchara de acero inoxidable para luego ser cubiertas con papel toalla en donde se rociaron 20 ml de agua destilada para proceder a germinar en una estufa de convección a temperaturas de 22 y 28 °C durante 24, 48 y 72 horas con humedad relativa de 80%, el proceso se realizó para las tres variedades de quinua registrando previamente la humedad de la quinua antes del germinado.
- j) Secado:** Una vez terminado el proceso de germinado indicado para cada evaluación, se retiraron los trozos de papel toalla de las quinuas germinadas para ser pesadas y luego colocarlas en bandejas limpias y rotuladas (nombre de la variedad, tiempo de germinado, peso) con plumón permanente para proceder a realizar el secado convencional en una estufa a 50°C durante 8 horas, se registra la medición de humedad de 3 g de quinua para cada muestra no se le quitaron las raíces a las quinuas.
- k) Molido:** Al finalizar el proceso de secado se pesaron las quinuas secas en una balanza de precisión, después fueron sometidas a un proceso de molienda en donde se utilizó un pulverizador con una malla de 0.2 mm con la finalidad de obtener harina tamizada de quinua germinada.



- l) **Envasado:** Las muestras molidas se envasaron en bolsas de polietileno de baja densidad las cuales fueron rotuladas (nombre de la variedad, tiempo de germinado y temperatura) con plumón permanente y selladas en una empacadora al vacío para luego ser pesadas en una balanza de precisión.

### 3.3.2. Desarrollo de los parámetros de germinación

El procedimiento de los parámetros de germinación se realizó de acuerdo al método de Kibar et al., (2021), donde se simuló el germinado de las tres variedades de quinua en bandeja utilizando placas ovaladas de vidrio rotuladas de la misma manera que las bandejas, pero estas placas solo contenían 18 granos de quinua cubiertas con dos trozos circulares de papel toalla del tamaño de la placa empapadas con 2 ml de agua destilada para registrar datos de los parámetros de germinación.

### 3.3.3. Obtención de los extractos de quinua germinada

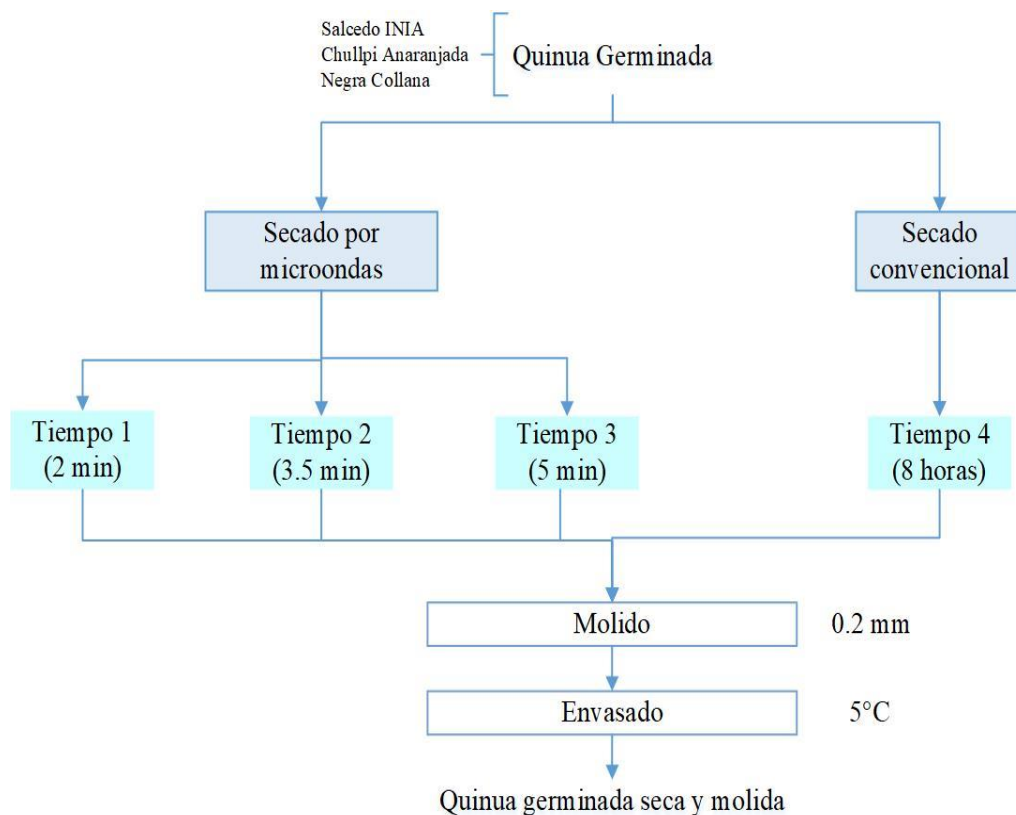
El proceso de extracción se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Nickel et al., (2016). Las muestras de quinua germinada fueron colocadas en una refrigeradora que mantenía una temperatura de 5°C. Luego se adicionó 1 g de muestra seca molida a 20 ml de metanol al 80%. Luego, las muestras se homogeneizaron durante 30 minutos utilizando un agitador magnético, una vez terminado se centrifugaron durante 10 minutos a 2000 rpm. El extracto final se obtuvo filtrando el sobrenadante en un matraz aforado de 25 ml, que se completó con metanol al 80% y se colocaron en botellas ámbar de 30 ml. Finalmente, las botellas ámbar se llevaron al congelador de la refrigeradora que registra una temperatura de -18°C ya que los antioxidantes son fotosensibles y susceptibles a la oxidación, hasta su análisis de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

### 3.3.4. Secado convencional y por microondas de tres variedades de quinua germinada

Para la evaluación del efecto de dos tipos de secado (convencional y microondas) sobre los antioxidantes de tres variedades de quinua germinada (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) se realizó en una segunda etapa como se observa en la Figura 2. Los procesos fueron similares a lo realizado en la primera etapa con cambios en el germinado y el secado. El proceso de germinado se realizó a 25°C durante 48 horas para las tres variedades de quinua. En este sentido, se ejecutó el secado por microondas y secado convencional en estufa.

**Figura 2**

*Diagrama de flujo para el tipo de secado de quinua germinada - segunda etapa*





- **Descripción del procedimiento:**

- a) **Secado por microondas:** Se realizó el secado por microondas con una potencia de 800 W y las tres variedades de quinua germinada se secaron a 2, 3.5, 5 minutos.
- b) **Secado convencional:** Se realizó el secado en una estufa de aire caliente a 50°C durante 8 horas.
- c) **Molido:** Las muestras secadas por microondas y convencionalmente se pesaron en una balanza de precisión, después fueron molidas en un pulverizador con una malla de 0.2 mm para obtener harina tamizada de quinua germinada.
- d) **Envasado:** Las muestras se envasaron en bolsas de polietileno de baja densidad las cuales fueron rotuladas con plumón permanente y selladas en una empacadora al vacío.

### 3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.4.1. Contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad inicial y final en las condiciones de almacenamiento se utilizó el método estándar (14.004) desarrollado por la AOAC, (1990) mediante secado a 120 °C en una balanza medidora de humedad estufa con la siguiente ecuación aplicado por Kibar et al., (2021).

$$\Delta W = W_i \times \frac{100 - MC_i}{100 - MC_f}$$

Dónde:

$\Delta W$  = peso de la semilla de quinua después del secado (g);

$W_i$  = peso inicial de la semilla de quinua (g);

$MC_i$  = contenido inicial de humedad de la semilla (%);

$MC_f$  = contenido final de humedad de la semilla (%).

### 3.4.2. Parámetros de germinación

La determinación de los parámetros de germinación se realizó según el método ISTA (1985) descrito por Kibar et al., (2021) con modificaciones en la cantidad de semillas utilizadas para esta evaluación. Las ecuaciones de los parámetros se describen en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Ecuaciones para los parámetros de germinación*

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
$GR = \frac{\sum n_i}{N} \times 100$	Índice de germinación (GR), que se expresa como la tasa de germinación en porcentaje (%), representa el número de semillas germinadas en el i-ésimo día ( $n_i$ ) en relación con el número total de semillas (N).
$MGT = \frac{\sum(T_i \times n_i)}{\sum n_i}$	El tiempo medio de germinación por día (MGT) se calcula considerando el número de días hasta el i-ésimo día ( $T_i$ ) por el número de semillas germinadas en el i-ésimo día ( $n_i$ ).

$GI/IG = \sum \frac{G_i}{T_i}$	El índice de germinación (GI o IG) representa la cantidad de semillas germinadas específicamente en el i-ésimo día.
$GE = \frac{\text{número de semillas germinadas (del último día)}}{N}$	La energía de germinación (GE) que indica el número de semillas germinadas el último día en relación con el número total de semillas (N).

### 3.4.3. Cinética de difusión con el modelo de Peleg

Para determinar la cinética se utilizó el modelo de Peleg reportado por Ganjloo et al., (2012), donde los parámetros fueron ajustados para describir la difusión de los antioxidantes durante los procesos de germinación y secado de las tres variedades de quinua.

$$\frac{t}{C_t - C_0} = k_1 + k_2 t$$

Donde:

t = corresponde al tiempo;

C<sub>t</sub> = concentración de antioxidantes en el tiempo t;

C<sub>0</sub> = concentración de antioxidantes en el tiempo cero;

k<sub>1</sub> = constante de velocidad de la tasa de difusión antioxidantes de Peleg;

k<sub>2</sub> = constante de capacidad de difusión de antioxidantes de Peleg.



Esta ecuación es un modelo no exponencial de dos parámetros. En la ecuación, la constante  $k_1$  indicaría la rapidez con la que los antioxidantes se difunden a lo largo del tiempo al comienzo del proceso y la constante  $k_2$  demostraría la capacidad máxima para retener antioxidantes (Ganjloo et al., 2012).

#### **3.4.4. Determinación de capacidad antioxidante**

El análisis de la capacidad antioxidantes de las variedades de quinua se realizó según el método descrito por Gu et al., (2021) con modificaciones en el tiempo de reposo antes de la medida de absorbancia.

La evaluación de la capacidad antioxidante se llevó a cabo mediante el método del ABTS+. En este proceso, se combinaron volúmenes iguales de una solución acuosa con 78,4 mg de ABTS y otra con 13,2 mg de persulfato de potasio, permitiendo su reacción durante 12 horas en la oscuridad. La solución resultante se diluyó con metanol hasta alcanzar una absorbancia de  $1,01 \pm 1,212$  a 734 nm, obteniendo así una solución de ABTS. Posteriormente, se mezclaron 150  $\mu$ L de extracto de muestra con 2850  $\mu$ L de la solución de ABTS, permitiendo la reacción durante 1 hora y 30 minutos en condiciones oscuras. La absorbancia a 734 nm se midió mediante un espectrofotómetro, y los resultados se expresaron en micromoles de equivalentes de Trolox (TE) por cada 100 gramos de peso seco (DW).

#### **3.4.5. Determinación de compuestos fenólicos totales**

El análisis de los TPC de las tres variedades de quinua se realizó por el método descrito por Gu et al., (2021) con algunas modificaciones en las cantidades de dilución.



Se realizaron las siguientes etapas para la evaluación del contenido fenólico total: se diluyeron 0.125 ml del extracto de la muestra con 0.125 ml de reactivo Folin-Ciocalteu, recién preparado y diluido con 1.25 ml de agua destilada. Después de un reposo de 6 minutos, se añadieron 1.25 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7% en solución acuosa y, finalmente, se incorporó 1 ml de agua destilada. Tras una mezcla adecuada, se permitió que la solución reposara durante 30 minutos antes de medir la absorbancia a 760 nm mediante un espectrofotómetro. Se utilizó ácido gálico como estándar de referencia, y el contenido fenólico total se expresó como miligramos de ácido gálico equivalente (GAE) por cada 100 gramos de peso seco (DW) de la muestra.

### **3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **3.5.1. Diseño experimental para la evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos durante la germinación de quinua.**

Para evaluar la cinética de difusión de los antioxidantes durante la germinación de las tres variedades de quinua, el presente trabajo de investigación se condujo bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) teniendo como variables de estudio: las variedades de quinua, la temperatura y el tiempo de germinación.

Se cuenta con un arreglo factorial de  $3 \times 2 \times 3$  con 3 repeticiones como se muestra en la Tabla 5.



**Tabla 5**

*Diseño experimental para el primer objetivo específico*

Variables de estudio			Variables de respuesta
Variedad (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada, Negra Collana)	Temperatura (22 y 28 °C)	Tiempo (24,48 y 72 h)	- Parámetros de Germinación - Cinética de difusión de compuestos fenólicos (Peleg) - Cinética de difusión de capacidad antioxidante (Peleg)

### 3.5.2. Diseño experimental para la evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en el secado de quinua germinada.

Para la evaluación del efecto de dos tipos de secado sobre los antioxidantes de tres variedades de quinua germinada, el presente trabajo de investigación se condujo bajo un DCA teniendo como variables de estudio las variedades de quinua y el tipo de secado por estufa (50°C por 8 h) y microondas (800W por 2, 3.5 y 5 min).

Se cuenta con un arreglo factorial de 3\*2 con 3 repeticiones como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Diseño experimental para el segundo objetivo específico*

Variables de estudio		Variables de respuesta
Variedad (Salcedo INIA Chullpi Anaranjada Negra Collana)	Tipo de secado (Estufa y Microondas)	- Compuestos Fenólicos - Capacidad Antioxidante



### **3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO**

Durante la investigación se empleó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas entre las medias de los factores de estudio. Además, se utilizó el método Duncan para realizar las comparaciones múltiples entre todos los pares de factores de estudio con una significancia estadística del 95%. El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.I versión de 32 bits compatible con Windows 10.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

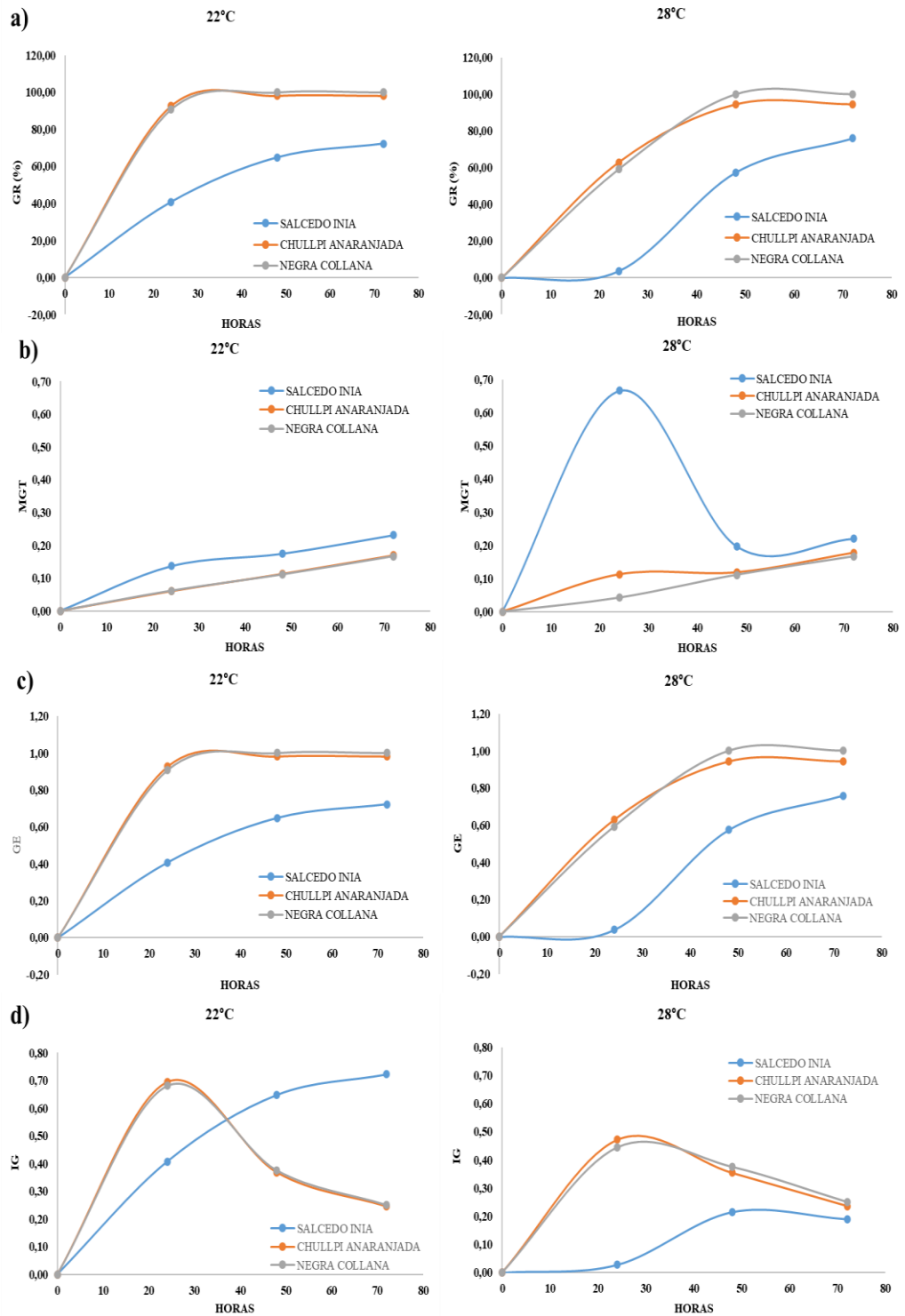
#### 4.1. EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE DIFUSIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES DURANTE LA GERMINACIÓN DE TRES VARIEDADES DE QUINUA (SALCEDO INIA, CHULLPI ANARANJADA Y NEGRA COLLANA) A DOS TEMPERATURAS (22 Y 28 °C)

##### 4.1.1. Parámetros de germinación de tres variedades de quinua a dos temperaturas

Durante el proceso de germinación se realizaron pruebas para las evaluaciones de parámetros germinativos, como la tasa de germinación (a), el tiempo medio de germinación (b), la energía de germinación (c) y el índice de germinación (d), tal como se muestra en la Figura 3. Los resultados indican que las muestras germinadas presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en la tasa de germinación, energía de germinación e índice de germinación, considerando las variables de variedad de quinua, temperatura y tiempo de germinación. Sin embargo, en el tiempo medio de germinación indica que no existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre temperaturas, como se detalla en el Anexo 3.

**Figura 3**

*Parámetros de germinación de tres variedades de quinua: a) Tasa de germinación, b) Tiempo medio de germinación, c) Energía de germinación y d) Índice de germinación*





En la Figura 3a) la tasa de germinación a una temperatura de 22°C aumentó con el tiempo para todas las variedades, siendo la variedad Chullpi Anaranjada la que muestra la tasa de germinación más alta, seguida por Negra Collana y Salcedo INIA. A 28°C las tasas de germinación también aumentaron con el tiempo y nuevamente la variedad Chullpi Anaranjada muestra la tasa de germinación más alta, seguida por Negra Collana y Salcedo INIA. Las muestras germinadas presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en variedad, temperatura y tiempo como se detalla en el Anexo 3A.

En cuanto a la Figura 3b) que indica el tiempo medio de germinación, según los resultados obtenidos a una temperatura de 22°C disminuye en la variedad Chullpi Anaranjada en comparación con Salcedo INIA y Negra Collana. En cambio, la temperatura de 28°C demostró que en la variedad Negra Collana el tiempo medio de germinación es menor seguido de Chullpi Anaranjada y finalmente Salcedo INIA. Las muestras germinadas presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en variedad, temperatura y tiempo como se detalla en el Anexo 3B.

Los resultados de la Figura 3c) para la energía de germinación ya sea para 22°C como para 28°C aumentan con el tiempo para las tres variedades mostrando mayor energía de germinación en variedades nativas (Chullpi Anaranjada y Negra Collana) que en la variedad convencional (Salcedo INIA). Las muestras germinadas presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en variedad como se detalla en el Anexo 3C.



Por último, la Figura 3d) indica que el índice de germinación a 22°C aumenta a las 24 h en las variedades nativas (Chullpi Anaranjada y negra Collana) para luego disminuir durante las 48 y 72 h a diferencia de la Salcedo INIA que va aumentando con el tiempo. Para una temperatura de 28°C el índice de germinación para las tres variedades muestra un pico y luego comienzan a disminuir, las variedades nativas alcanzan su valor mas alto a las 24 h y la variedad convencional a las 48 h. Las muestras germinadas presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en variedad, temperatura y tiempo como se detalla en el Anexo 3D.

Los diferentes resultados de los parámetros de germinación de las tres variedades de quinua podría atribuirse a la activación de genes específicos relacionados con la germinación en respuesta a estímulos como factores ambientales, la temperatura, la humedad, la luz, el tiempo (Kibar et al., 2021). Aunque el comportamiento de las variedades nativas sean similares en cuanto a los parámetros de germinación, estos pueden llegar a tener diferente cantidad de antioxidantes (Kamjijam et al., 2020). También, durante la germinación las tres variedades de quinua, se evidenció que a las temperaturas de 22°C y 28°C existe una diferencia mínima en la tasa de germinación. En cuanto al tiempo de germinación por día, no se observaron diferencias significativas entre ambas temperaturas. Se destacó diferencia notable en los valores de energía e índice de germinación entre los 22°C y 28°C (Anexo 3C y 3D), estos resultados indican una influencia significativa de la temperatura en los parámetros de germinación de las tres variedades de quinua. Sin embargo, la temperatura es un factor crítico que afecta la germinación de las semillas de quinua a temperaturas más bajas ayudando a mantener la viabilidad de las semillas durante períodos más largos

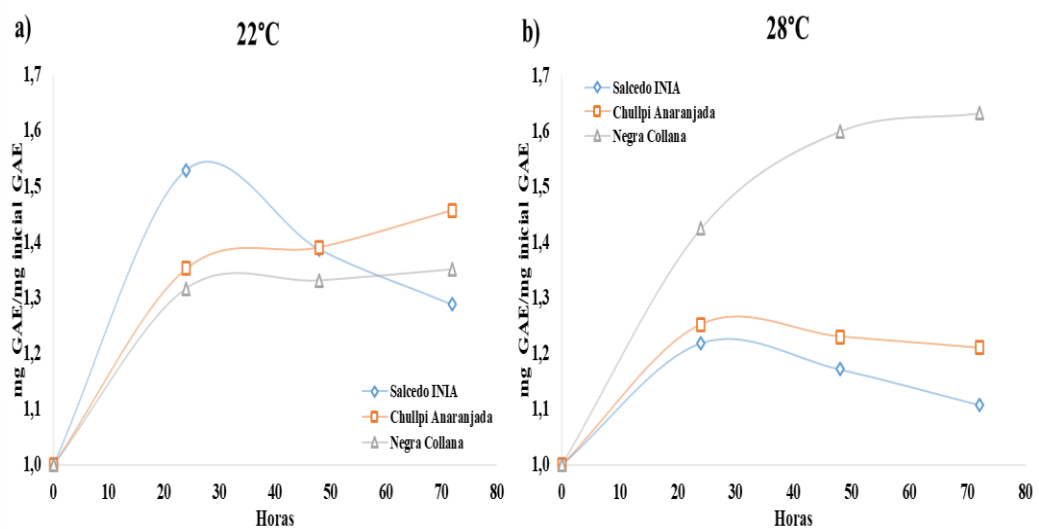
(Kibar et al., 2021). Así también, de acuerdo a los resultados sobre la influencia de la temperatura de 28°C en la variedad Negra Collana y su alto valor en tasa y menor tiempo de germinación, Li & Yang (2020) nos indican que la presencia de genes de resistencia al frío puede facilitar el inicio de la germinación a temperaturas más altas. También se indica que la germinación produce una reducción del almidón, y en la quinua la movilización óptima de las reservas de almidón ocurre desde las 36 horas, especialmente a temperaturas entre 22 y 25 °C (Bhinder et al., 2021; Hager et al., 2014).

#### 4.1.2. Cinética de difusión de los compuestos fenólicos (Peleg)

La difusión de compuestos fenólicos de las muestras de quinuas germinadas (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) durante 24, 48 y 72 horas bajo condiciones de temperatura de 22 y 28°C se muestran en la Figura 4.

**Figura 4**

*Difusión de los compuestos fenólicos en muestras de quinuas germinadas a dos temperaturas*





Se observa en la Figura 4a) que la difusión de los compuestos fenólicos a una temperatura de 22°C aumentó con el tiempo para las dos variedades nativas, sin embargo; la difusión en la variedad Salcedo INIA disminuyó después de las 24 h. La variedad Chullpi Anaranjada muestra mayor tasa de aumento en la difusión de compuestos fenólicos seguido por Negra Collana. Además, en la Figura 4b) se observa que a una temperatura de 28°C el patrón de difusión de compuestos fenólicos es similar al aumentar con respecto al tiempo en las tres variedades de quinua, en donde la Negra Collana exhibe mayor aumento en la difusión de compuestos fenólicos seguido por Chullpi Anaranjada y Salcedo INIA los cuales comenzaron a disminuir luego de las 24 h. Los resultados revelan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las variedades y temperaturas, como se detalla en el Anexo 4. Investigaciones anteriores como la de Lan et al., (2023) sugieren que la germinación a una temperatura moderada de 22°C favorece la difusión de compuestos fenólicos en quinuas. Igualmente, se observa que, durante la germinación aumenta el contenido de los compuestos fenólicos, lo cual coincide con (Demir & Bilgiçli, 2020). Es importante agregar que la quinua germinada de tonalidad negra, roja y amarilla exhibe niveles más elevados de compuestos fenólicos en comparación con otras variedades (Carciochi et al., 2015).

Para la evaluación de la cinética de difusión de los compuestos fenólicos utilizando el modelo de Peleg, es importante destacar que los valores de  $R^2$  debiendo superar el 80% puesto que eso indica un buen ajuste del modelo (Moreira Azoubel & Xidieh Murr, 2004; Peleg, 1988). Los parámetros cinéticos de Peleg son  $k_1$  y  $k_2$ , los cuales se ajustaron para la evaluación adaptando el modelo para describir la difusión en donde  $k_1$  representaría la velocidad de la tasa

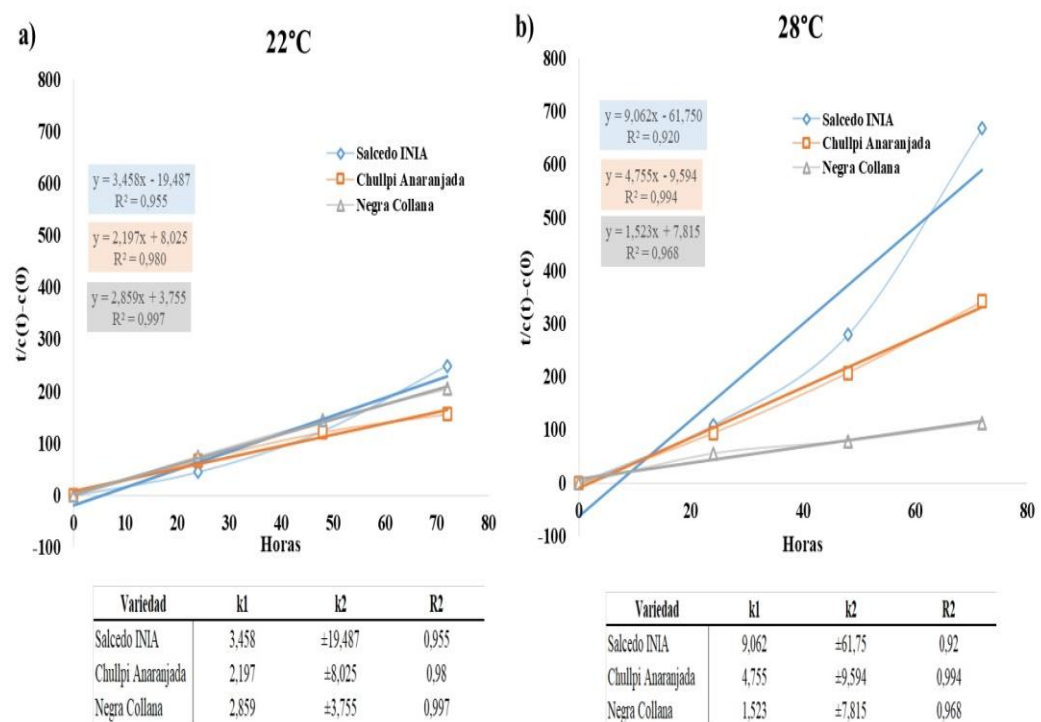


de difusión y  $k_2$  la capacidad máxima de antioxidantes (Calsin-Cutimbo et al., 2023).

La cinética de difusión de los compuestos fenólicos durante la germinación de quinua (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) a temperaturas de 22 y 28°C se ajustó al modelo de Peleg a través de los parámetros cinéticos  $k_1$  y  $k_2$ , como se observa en la Figura 5.

**Figura 5**

*Cinética de difusión de los compuestos fenólicos totales en quinua germinada con el modelo de Peleg*



En la Figura 5a) se observa que la cinética de difusión de compuestos fenólicos va en aumento gradual para las tres variedades a una temperatura de 22°C a lo largo del tiempo. La Figura 5b) muestra una cinética de difusión similar, pero con tasas más altas en quinuas germinadas a 28°C, para ambos casos las variedades nativas presentan mayor cinética de difusión de compuestos fenólicos



a comparación de la variedad convencional y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) son mayores a 0.90 lo que indica un buen ajuste del modelo de Peleg.

En el Anexo 5, se evidencian diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre  $k_1$  que representa las velocidades de difusión inicial de compuestos fenólicos y la constante  $k_2$  en función de las variedades y temperaturas. Los resultados revelan que a menores valores de la constante de velocidad de Peleg ( $k_1$ ), se experimenta una mayor difusión de los compuestos fenólicos, como se detalla en el Anexo 5A. Notablemente, la variedad Negra Collana exhibe un valor más bajo de  $k_1$ , indicando una mayor velocidad de difusión de los compuestos fenólicos en comparación con las otras variedades.

Además, los resultados del el Anexo 5A. sugieren que la cinética de difusión de compuestos fenólicos en quinuas germinadas siguiendo el modelo de Peleg demuestran que la velocidad de tasa de liberación inicial ( $k_1$ ) es más alta a 28°C en la variedad Salcedo INIA en comparación con 28°C en Negra Collana, indicando que a temperaturas más altas en la variedad convencional como la Salcedo INIA, la liberación de antioxidantes es más rápida al principio del proceso de difusión que en variedades nativas. En el Anexo 5B. se presenta la capacidad de difusión de antioxidantes ( $k_2$ ), donde la variedad Negra Collana tiene menor valor indicando que hay mayor capacidad de retención de compuestos fenólicos en la quinua. De la misma manera a una temperatura de 22°C hay mayor capacidad de retención de compuestos fenólicos que a una temperatura de 28°C.

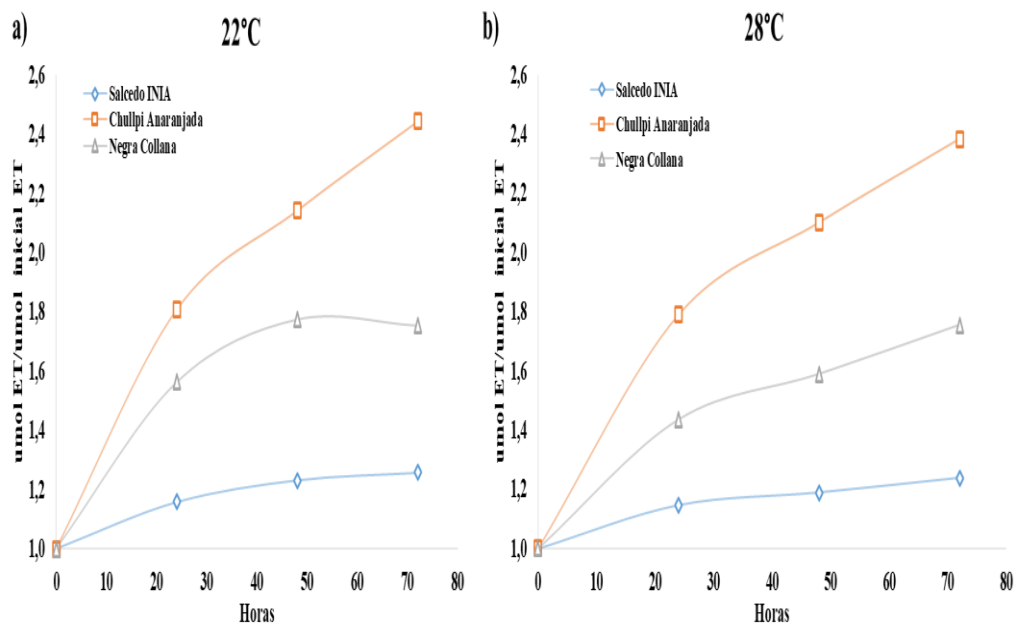
#### **4.1.3. Cinética de difusión de la capacidad antioxidante (Peleg)**

La difusión de la capacidad antioxidante de las muestras de quinuas germinadas (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) durante 24, 48

y 72 horas a temperaturas de 22 y 28°C se observa en la Figura 6. Los resultados revelan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las variedades, temperaturas y tiempos germinación, como se detalla en el Anexo 6. Esta variabilidad refleja la importante influencia de estos factores en el proceso de germinación.

### Figura 6

*Difusión de capacidad antioxidante en muestras de quinuas germinadas a dos temperaturas*



En la figura 6a) se observa que la difusión de capacidad antioxidante a una temperatura de 22°C la variedad Chullpi Anaranjada muestra un aumento a lo largo del tiempo de germinación seguida por Negra Collana. En la figura 6b) la difusión de capacidad antioxidante a una temperatura de 28°C presenta similar aumento para las variedades nativas. Para ambas temperaturas la variedad Salcedo INIA demuestra una difusión menos pronunciada. Los resultados revelan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las variedades y temperaturas, como se detalla en el Anexo 5.



La falta de una cantidad significativa de antioxidantes en la variedad Salcedo INIA se traduce en una menor capacidad de difusión durante el proceso de germinación tal como lo indica Alvarez-Jubete et al., (2010). Estos hallazgos indican que la variedad, la temperatura y el tiempo de germinación influyen en la difusión de la capacidad antioxidante de la quinua. Es importante señalar que la variedad de quinua también puede tener un impacto significativo en la capacidad antioxidante, estas diferencias entre las variedades de quinua pueden atribuirse a la presencia de diversas cepas y composición (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). Asimismo, se ha evidenciado que la germinación y la temperatura pueden influir mucho en la capacidad antioxidante ya que después de las 72 horas ciertos antioxidantes como las vitaminas pueden disminuir pero aumentan los beneficios proporcionados por los ácidos grasos monoinsaturados en la quinua (Lan et al., 2023).

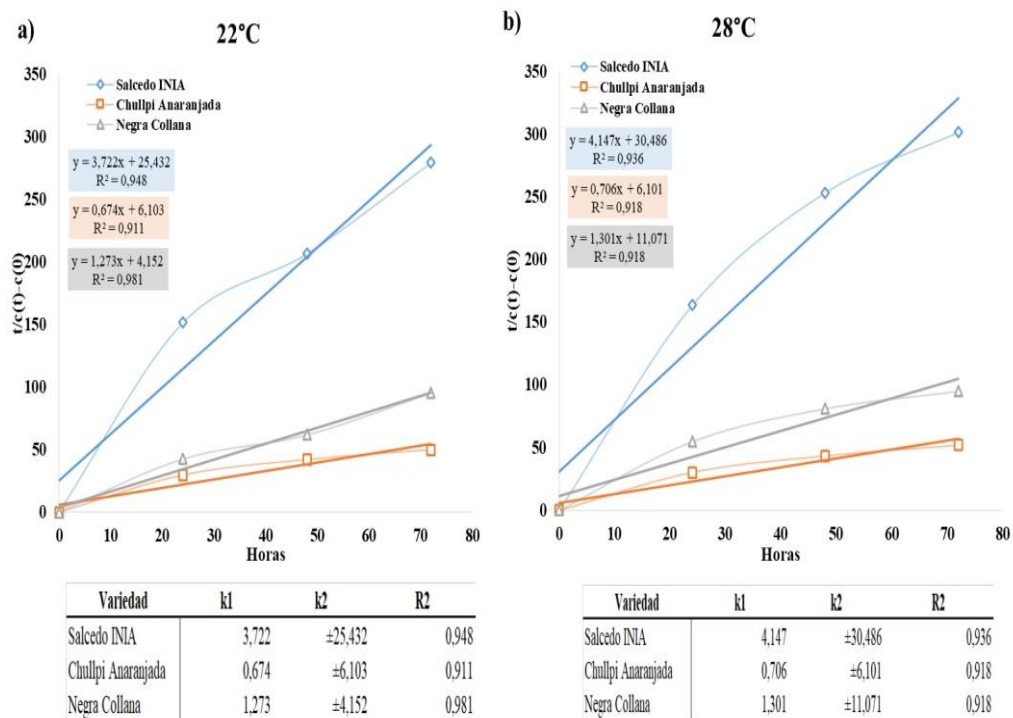
Para la evaluación de la cinética de la capacidad antioxidante utilizando el modelo de Peleg, es fundamental que los valores de  $R^2$  excedan el 80% en la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el modelo de Peleg, lo que indica una buena adaptación del modelo (Moreira Azoubel & Xidieh Murr, 2004; Peleg, 1988). Estos parámetros cinéticos se ajustaron para describir la difusión, donde  $k_1$  representa la velocidad de difusión y  $k_2$  la capacidad máxima de antioxidantes (Calsin-Cutimbo et al., 2023).

La cinética de difusión de la capacidad antioxidante durante la germinación de quinua (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) a temperaturas de 22 y 28°C, utilizando el modelo de Peleg y sus parámetros cinéticos  $k_1$  y  $k_2$  se muestra en la Figura 7. Los resultados entre las velocidades de difusión inicial ( $k_1$ ) y la capacidad de difusión ( $k_2$ ) en función de las variedades

y temperaturas durante la germinación sobre la capacidad antioxidante demuestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) como se observa en el Anexo7.

### Figura 7

*Cinética de difusión de la actividad antioxidante en quinua germinada con el modelo de Peleg*



La cinética de difusión de capacidad antioxidante a una temperatura de 22°C como se muestra en la Figura 7a) va en aumento para las tres variedades, presentando una mayor tasa en Salcedo INIA seguido por Negra Collana y Chullpi Anaranjada. La Figura 7b) muestra una cinética de difusión similar para las tres variedades a una temperatura de 28°C, para ambos casos las variedades nativas presentan mayor cinética de difusión de compuestos fenólicos a comparación de la variedad convencional y los coeficientes de determinación (R2) son mayores a 0.90 respaldando un buen ajuste de los datos respecto al modelo de Peleg.



En el Anexo 7A. se presenta la constante de velocidad de Peleg ( $k_1$ ) indicando que la variedad Chullpi Anaranjada tiene menor valor de  $k_1$ , esto se debe a que la velocidad inicial de difusión de capacidad antioxidante es mayor. Así también a una temperatura de 22°C hay mayor velocidad inicial de difusión de capacidad antioxidante. En el Anexo 7B. indica que la variedad Chullpi Anaranjada tiene menor valor de ( $k_2$ ), esto se debe a que hay una mayor de capacidad de difusión de la capacidad antioxidante durante la germinación. Así mismo a una temperatura de 22°C el valor de  $k_2$  es menor.

En el Anexo 7A, se presenta la constante de velocidad de Peleg ( $k_1$ ), indicando que la variedad Chullpi Anaranjada presenta un valor menor de  $k_1$ . Esto se traduce en una velocidad inicial de difusión de capacidad antioxidante superior en comparación con las otras variedades. Además, a una temperatura de 22°C, se observa una mayor velocidad inicial de difusión de capacidad antioxidante. En el Anexo 7B, se señala que la variedad Chullpi Anaranjada presenta un valor menor de ( $k_2$ ), indicando una mayor capacidad de difusión de la capacidad antioxidante durante la germinación. Del mismo modo, a una temperatura de 22°C, el valor de  $k_2$  es menor, indicando una mayor capacidad de difusión de la capacidad antioxidante en ese rango de temperatura.

Los resultados sobre la cinética de difusión con el modelo de Peleg ajustando sus parámetros cinéticos para evaluar compuestos fenólicos y capacidad antioxidante concuerdan con los datos obtenidos por Ganjloo et al., (2012) quienes utilizaron el modelo de Peleg para analizar cómo cambian los sólidos y el agua durante el proceso de deshidratación utilizando una solución de sacarosa a diferentes concentraciones y temperaturas, los resultados mostraron que la ecuación se ajustó bien a los datos experimentales, indicado por un coeficiente de

determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.88. En términos de los parámetros se observó  $k_1$  disminuyó a medida que aumentaba la concentración de la solución y la temperatura. Adicionalmente, el parámetro  $k_2$  disminuyó a medida que aumentaba la concentración de la solución, indicando que los contenidos de sólidos y agua en equilibrio aumentaron con la concentración de la solución. Además, Calsin-Cutimbo et al., (2023) indican que el uso de Peleg para comprender la cinética de difusión de los compuestos antioxidantes (polifenoles y antocianinas) puede determinar cómo la presencia de factores externos afecta la velocidad y la capacidad de difusión de los antioxidantes contribuyendo a comprender cómo influyen en la calidad de bio compuestos en los alimentos. Se demostró también que el modelo de Peleg es adaptable al estudio de un alimento que es sometido a diferentes temperaturas y nivel de agua ya que los resultados indican que a medida que la temperatura del agua de remojo aumenta, la velocidad de transferencia de agua ( $k_1$ ) disminuye. Lo mismo sucede con ( $k_2$ ) la capacidad de saturación de absorción de agua (Paredes et al., 2012).

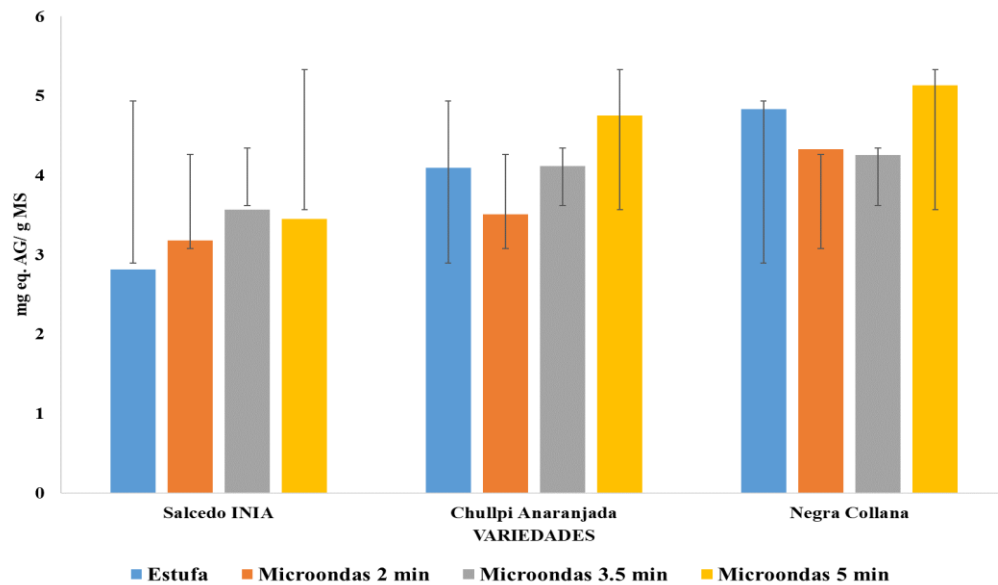
## **4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS TIPOS DE SECADO SOBRE LOS ANTIOXIDANTES DE TRES VARIEDADES DE QUINUA GERMINADA**

### **4.2.1. Efecto del tipo de secado sobre los compuestos fenólicos totales**

La evaluación del efecto de dos tipos de secado (convencional y microondas) sobre los compuestos fenólicos totales en las muestras de quinuas germinadas (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) se muestra en la Figura 8. En donde el secado convencional realizado en estufa (50°C durante 8 horas) los compuestos fenólicos entre todas las variedades hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

**Figura 8**

*Comparación entre el tipo de secado sobre los compuestos fenólicos totales de quinua germinada*



En cuanto al secado de quinuas germinadas por microondas por 5 minutos, presenta mayor contenido de compuestos fenólicos. Sin embargo, en el secado convencional y el secado por microondas a 2 y 3.5 minutos no existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la cantidad de compuestos fenólicos como se muestra en el Anexo 8. El tratamiento térmico, específicamente el proceso de horneado, apenas afecta la estructura del tejido y los componentes activos de la quinua germinada (Gu et al., 2021). Por otro lado, el procesamiento por irradiación u ondas, mostró un aumento en el contenido fenólico total comparado con la quinua no irradiada (Pilco-Quesada et al., 2020). En cuanto al secado por estufa, el estudio realizado por Sharma et al., (2022) encontró que el secado por estufa a 60°C durante 24 horas redujo significativamente el contenido de fenoles totales y flavonoides totales en la quinua.

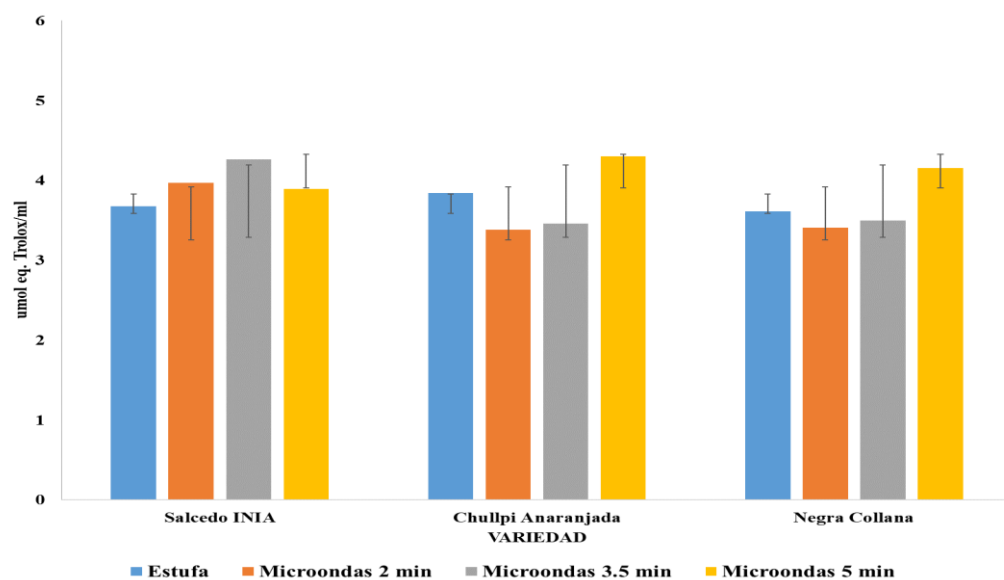


#### 4.2.2. Efecto del tipo de secado sobre la capacidad antioxidante

La evaluación del efecto de dos tipos de secado (convencional y microondas) sobre la capacidad antioxidante en las muestras de quinuas germinadas (Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y Negra Collana) se muestra en la Figura 9.

**Figura 9**

*Comparación entre el tipo de secado sobre la capacidad antioxidante de quinua germinada*



De acuerdo al análisis estadístico de los datos, no se muestran variaciones significativas ( $p < 0.05$ ) entre variedades y tipos de secado sobre la capacidad antioxidante de las muestras de quinua germinada como se muestra en el Anexo 9. Según el estudio realizado por Sharma et al., (2022), el procesamiento con microondas y el tostado mejoraron las actividades antioxidantes de la quinua con un aumento en el tiempo de procesamiento. El procesamiento con microondas exhibió una mejora máxima en el índice compuesto de potencia antioxidante en comparación con otros procesos de tratamiento térmico.



## V. CONCLUSIONES

- Durante la germinación aumentó significativamente la difusión de los compuestos fenólicos antioxidantes así también el secado por microondas aumentó la cantidad de compuestos fenólicos antioxidantes en comparación con el secado convencional.
- Los parámetros de linealización de Peleg ( $k_1$  y  $k_2$ ) para la cinética de difusión de los antioxidantes indican que durante la germinación aumenta significativamente la difusión de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Las variedades nativas (Chullpi Anaranjada y Negra Collana) a temperatura de 22°C presentó mayor velocidad ( $k_1$ ) de difusión y mayor concentración ( $k_2$ ) de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.
- El secado por microondas aumenta los compuestos fenólicos antioxidantes en comparación al secado convencional así también las variedades nativas como la Chullpi Anaranjada y Negra Collana presentaron un aumento significativo en los compuestos fenólicos.



## VI. RECOMENDACIONES

- La investigación realizada ofrece valiosos conocimientos acerca de la quinua germinada y su potencial antioxidante en diferentes variedades, que pueden ser aprovechados tanto en agricultura como en la agroindustria de la quinua. Además, se introduce y aplica el modelo de Peleg en la comprensión de la cinética de difusión de antioxidantes para granos andinos.
- Para investigaciones futuras, se recomienda analizar factores adicionales que podrían influir en la cinética de difusión como la madurez de las semillas y las condiciones óptimas para cada variedad. También es necesario realizar estudios detallados sobre el secado por microondas, ajustando tiempos y potencias, y evaluar los aspectos económicos en comparación con el secado convencional.
- Por último, se recomienda analizar el efecto de la esterilización sobre los compuestos antioxidantes de la quinua germinada. Así mismo, evaluar la cantidad o porcentaje de saponina presente en quinua esterilizada o desinfectada.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Ghannam, N., & McKenna, B. (1997). The application of Peleg's equation to model water absorption during the soaking of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Engineering*, 32(4), 391–401. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00034-4)
- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, 152, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>
- 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(June). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102858>
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437–445. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>
- AOAC, M. (1990). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. *AOAC: Off Methods Anal*, 1, 69–90.
- Apaza, V., Caceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- Bazile, D., Salcedo, S., Santivañez, T., Bertero, D., Nieto, C., Miranda, R., Miranda, M., Granados, S., & Tejada, G. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013.
- Benincasa, J. C., de Freitas Filho, L. H., Carneiro, G. D., Sielski, M. S., Giorgio, S., Werneck, C. C., & Vicente, C. P. (2019). Hyperbaric oxygen affects endothelial progenitor cells proliferation in vitro. *Cell Biology International*, 43(2), 136–146. <https://doi.org/10.1002/cbin.11070>
- Bhinder, S., Kumari, S., Singh, B., Kaur, A., & Singh, N. (2021). Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral



- content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chemistry*, 346(October 2020), 128915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128915>
- Calsin-Cutimbo, M., Huamán-Castilla, N. L., Mayta-Hanco, J., Escobedo-Pacheco, E., & Zirena-Vilca, F. (2023). Study of the Effect of Antibiotics in Drinking Water on the Content of Antioxidant Compounds in Red Wines. *Molecules*, 28(1). <https://doi.org/10.3390/molecules28010206>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209–220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Cano, A., & Arnao, M. B. (2004). Contenido En Vitamina C De Zumos De Naranja Comerciales : Relación con sus características organolépticas. 4, 185–189.
- Carciochi, R. A., Manrique, G. D., & Dimitrov, K. (2015). Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4396–4404. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1514-4>
- Chen, L.-Y., Cheng, C.-W., & Liang, J.-Y. (2015). Effect of esterification condensation on the Folin–Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. *Food Chemistry*, 170, 10–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.038>
- Cubillo, O. V., Vargas Elías, G., & Barboza Barquero, L. (2020). Modelado de la cinética de hidratación del frijol Matambú (*Phaseolus vulgaris*) utilizando un sistema automático basado en análisis de imágenes digitales. *Ingeniería*, 30(2 SE-Artículos), 63–76. <https://doi.org/10.15517/ri.v30i2.39588>
- Demir, B., & Bilgiçli, N. (2020). Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties. *Food Science and Technology International*, 27(3), 242–250. <https://doi.org/10.1177/1082013220940092>
- Diez, Y. (2021). Efecto del germinado sobre la capacidad antioxidante de la quinua roja



- y quinua blanca (*Chenopodium quinoa Willd*). *Universidad Le Cordon Bleu*.
- Dorantes-Salazar, E. L., Báez-González, J. G., Gastelúm-Martínez, É., Morales-Landa, J. L., & García-Marquez, E. (2023). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 643 Dorantes-Salazar*. 8(2023), 643–649.
- Elsayed Azab, A., A Adwas, Almokhtar, Ibrahim Elsayed, A. S., A Adwas, A., Ibrahim Elsayed, Ata Sedik, & Quwaydir, F. A. (2019). Oxidative stress and antioxidant mechanisms in human body. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 6(1), 43–47. <https://doi.org/10.15406/jabb.2019.06.00173>
- FAO. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013 (CIRAD (ed.)).
- Ganjloo, A., Rahman, R. A., Bakar, J., Osman, A., & Bimakr, M. (2012). Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (*Psidium guajava L.*): Effect of Process Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2151–2159. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0546-2>
- Garcia-Mazcorro, J., Mills, D., & Noratto, G. (2016). Molecular exploration of fecal microbiome in quinoa-supplemented obese mice. *FEMS Microbiology Ecology*, 92, fiw089. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw089>
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Dziki, D., Baraniak, B., Tomiło, J., & Czyż, J. (2013). Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa L.*) skin. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1621–1628. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.151>
- Gu, R., Chang, X., Bai, G., Li, X., Di, Y., Liu, X., Sun, L., & Wang, Y. (2021). Effects of household cooking methods on changes of tissue structure, phenolic antioxidant capacity and active component bioaccessibility of quinoa. *Food Chemistry*, 350(January), 129138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129138>
- Hager, A.-S., Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2014). Amylolytic activities and starch reserve mobilization during the germination of quinoa. *European Food Research and Technology*, 239(4), 621–627. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2258-0>



- He, Y., Song, S., Li, C., Zhang, X., & Liu, H. (2022). Effect of germination on the main chemical compounds and 5-methyltetrahydrofolate metabolism of different quinoa varieties. *Food Research International*, 159(February), 111601. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111601>
- ISTA. (1985). Normas Internacionales para el análisis de semillas. Ciencias de Semillas Tecnología.
- Jideani, V. A., & Mpotokwana, S. M. (2009). Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.040>
- Kamjijam, B., Bednarz, H., Suwannaporn, P., Jom, K. N., & Niehaus, K. (2020). Localization of amino acids in germinated rice grain: Gamma-aminobutyric acid and essential amino acids production approach. *Journal of Cereal Science*, 93, 102958. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102958>
- Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K. N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10(May 2016), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.010>
- Kibar, H., Temel, S., & Yücesan, B. (2021). Kinetic modeling and multivariate analysis on germination parameters of quinoa varieties: Effects of storage temperatures and durations. *Journal of Stored Products Research*, 94(July), 101880. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101880>
- Koch, K., Strandback, E., Jha, S., Richter, G., Bourgeois, B., Madl, T., & Macheroux, P. (2019). Oxidative stress-induced structural changes in the microtubule-associated flavoenzyme Irc15p from *Saccharomyces cerevisiae*. *Protein Science: A Publication of the Protein Society*, 28(1), 176–190. <https://doi.org/10.1002/pro.3517>
- Lachi-Silva, L., Barth, A. B., Santos, G. M. L., Ahamadi, M., Bruschi, M. L., Kimura, E., de Araújo, B. V., & Diniz, A. (2020). Population pharmacokinetics of orally administrated bromopride: Focus on the absorption process. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 142, 105081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejps.2019.105081>



- Lan, Y., Zhang, W., Liu, F., Wang, L., Yang, X., Ma, S., Wang, Y., & Liu, X. (2023). Recent advances in physiochemical changes, nutritional value, bioactivities, and food applications of germinated quinoa: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 426(November 2022), 136390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136390>
- Li, Q., & Yang, A. (2020). Comparative studies on seed germination of two rice genotypes with different tolerances to low temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104216>
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M., & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(1), 251–256. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100036>
- Melini, V., & Melini, F. (2021). Modelling and Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Quinoa by Response Surface Methodology. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(12). <https://doi.org/10.3390/molecules26123616>
- Moreira Azoubel, P., & Xidieh Murr, F. E. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291–295. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00132-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00132-8)
- Nacz, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1), 95–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>
- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A., & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food Chemistry*, 209, 139–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.031>
- Olawoye, B., & Gbadamosi, S. O. (2020). Influence of processing on the physiochemical, functional and pasting properties of Nigerian *Amaranthus viridis* seed flour: a multivariate analysis approach. *SN Applied Sciences*, 2(4), 607. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2418-8>





- Padmashree, R., Barbadikar, K. M., Honnappa, Magar, N. D., Balakrishnan, D., Loksha, R., Gireesh, C., Siddaiah, A. M., Madhav, M. S., Ramesha, Y. M., Bharamappanavara, M., Phule, A. S., Senguttuvel, P., Diwan, J. R., Subrahmanyam, D., & Sundaram, R. M. (2023). Genome-wide association studies in rice germplasm reveal significant genomic regions for root and yield-related traits under aerobic and irrigated conditions. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1143853. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143853>
- Paredes, E., Quiroz, M., Quispe, K., Reyes, B., & Zavaleta, N. (2012). Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). *Agroindustrial Science*, *1*. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2012.01.02>
- Peleg, M. (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science*, *53*(4), 1216–1217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, 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*(May), 102996. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Pilco Quesada, S. (2020). Machine Translated by Google Revista Efectos de la germinación y el horneado sobre los compuestos fenólicos y las propiedades nutricionales de la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la kiwicha (*Amaranto caudatus*) yang , Ritva Machine Translated by Google.
- Popoola, O. O. (2022). Phenolic compounds composition and in vitro antioxidant activity of Nigerian *Amaranthus viridis* seed as affected by autoclaving and germination. *Measurement: Food*, *6*(February), 100028. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100028>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Encina-Zelada, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*).



*Revista de La Sociedad Química Del Perú, 74.*

- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Vidaurre Ruiz, J. M. (2019). Quinoa and Other Andean Ancient Grains: Super Grains for the Future. *Cereal Foods World, 6*, 1–10. <https://doi.org/10.1094/CFW-64-5-0054>
- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 108–124.
- Russo, A.; Palumbo, M.; Aliano, C.; Lempereur, L. . S., & G.; Renis, M. (2003). *Red wine micronutrients as protective agents in Alzheimer-like induced insult.*
- Schiffmann, R. F. (1995). *Microwave and Dielectric Drying (1st Editio).*
- Sharma, S., Kataria, A., & Singh, B. (2022). Effect of thermal processing on the bioactive compounds, antioxidative, antinutritional and functional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Lwt, 160*(August 2021), 113256. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113256>
- Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S., & Sameenoi, Y. (2018). Sirivibulkovit K et al 2018. *Analitical Siences, 34*(July), 795–800.
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Eain Hyder Rizvi, Q. U., Jan, S., Singh, T. P., & Dhaliwal, H. S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus L.*), quinoa (*Chenopodium quinoa L.*), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum L.*). *Current Research in Food Science, 4*, 917–925. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>
- Urbano, G., Aranda, P., Vílchez, A., Aranda, C., Cabrera, L., Porres, J. M., & López-Jurado, M. (2005). Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum, L.* *Food Chemistry, 93*(4), 671–679. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.045>
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Current Opinion in Food Science, 14*, 1–6.



<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>

Yana Condori, L. R. (2023). Evaluación del comportamiento cinético del *Bifidobacterium* BB12, y la influencia del pH y acidez en las características sensoriales del yogurt probiótico enriquecido con sucedáneo de leche de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*). 12–13.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Primera etapa

#### 1A. Variedades de quinua



Salcedo INIA



Chullpi Anaranjada



Negra Collana

#### 1B. Germinado de quinua



Pesado de quinua

Salcedo INIA



Pesado de quinua Chullpi

Anaranjada



Pesado de quinua

Negra Collana



Desinfectado



Remojado



Germinado en placas



Germinado de variedad

Salcedo INIA



Germinado de variedad

Chullpi Anaranjada



Germinado de variedad

Negra Collana



Germinado en estufa



Germinado en bandejas y placas



Pesado de quinua  
germinada Salcedo INIA



Pesado de quinua  
germinada Chullpi  
Anaranjada



Pesado de quinua  
germinada Negra  
Collana



Embolsado y rotulado de muestras a  
28°C



Embolsado y rotulado de muestras a  
22°C

### 1C. Secado de quinua germinada



Quinuas germinadas a 25°C



Quinuas secas



Molido de muestras



Rotulado de muestras molidas



Muestras de quinua germinada molida



Cálculo de humedad



## 1D. Análisis de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales



Preparación de muestras  
molidas en metanol



Centrifugado de  
muestras para la  
extracción



Filtrado de muestras  
extraídas en metanol



Preparación de muestras con  
solución madre y reactivos



Lectura en espectrofotómetro

## ANEXO 2. Segunda etapa

### 2A. Germinado



Preparación de las bandejas con  
quinuas desinfectadas



Salcedo INIA, Chullpi Anaranjada y  
Negra Collana germinadas a 25°C en  
48 Horas

### 2B. Secado



Secado de quinua por  
estufa de convección



Secado de quinua por  
microondas



Embolsado y rotulado

## 2C. Pulverizado



Pulverizado de quinuas germinadas

Embolsado y rotulado

## 2D. Evaluación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante



Extracción de muestras  
pulverizadas en metanol

Medida de las  
muestras y reactivos

Lectura en  
espectrofotómetro

### ANEXO 3. Parámetros de germinación de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C

#### 3A. Tasa de germinación

##### Análisis de Varianza para la tasa de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	17738.2	2	8869.11	37.03	0.0000
B: Temperatura	1989.26	1	1989.26	8.31	0.0066
C: Tiempo	10703.1	2	5351.53	22.35	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	21.7067	2	10.8533	0.05	0.9557
AC	1906.73	4	476.682	1.99	0.1168
BC	2888.19	2	1444.09	6.03	0.0055
ABC	105.148	4	26.287	0.11	0.9783
RESIDUOS	8621.6	36	239.489		
TOTAL (CORREGIDO)	43973.9	53			

##### Pruebas de Múltiple Rangos para la tasa de germinación por variedad

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	17	53.0811	2.4644	X
Chullpi anaran	18	90.1222	2.37667	X
Negra collana	17	96.1572	2.4644	X

##### Pruebas de Múltiple Rangos para la tasa de germinación por temperatura

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	27	72.017	2.97825	X
22	27	84.1559	2.97825	X

##### Pruebas de Múltiple Rangos para la tasa de germinación por tiempo

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
24	18	58.3333	3.64759	X
48	18	85.8028	3.64759	X
72	18	90.1233	3.64759	X

#### 3B. Tiempo medio de germinación por día

##### Análisis de Varianza para el tiempo medio de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	0.284076	2	0.142038	7.45	0.0020
B: Temperatura	0.0569076	1	0.0569076	2.98	0.0926
C: Tiempo	0.0272467	2	0.0136234	0.71	0.4963
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.0906588	2	0.0453294	2.38	0.1072
AC	0.194769	4	0.0486923	2.55	0.0555
BC	0.101369	2	0.0506846	2.66	0.0838
ABC	0.177553	4	0.0443882	2.33	0.0748
RESIDUOS	0.686466	36	0.0190685		
TOTAL (CORREGIDO)	1.61905	53			



### Pruebas de Múltiple Rangos para el tiempo medio de germinación

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Negra Collana	18	0.110056	0.0325478	X
Chullpi Anaran	18	0.1255	0.0325478	X
Salcedo INIA	18	0.271056	0.0325478	X

### 3C. Energía de germinación

#### Análisis de Varianza para la energía de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Variedad	1.75563	2	0.877813	36.56	0.0000
B:Temperatura	0.195602	1	0.195602	8.15	0.0071
C:Tiempo	1.07063	2	0.535313	22.30	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.00204815	2	0.00102407	0.04	0.9583
AC	0.190752	4	0.047688	1.99	0.1175
BC	0.284137	2	0.142069	5.92	0.0060
ABC	0.0103296	4	0.00258241	0.11	0.9791
RESIDUOS	0.864333	36	0.0240093		
TOTAL (CORREGIDO)	4.37345	53			

### Pruebas de Múltiple Rangos para la energía de germinación por variedad

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	18	0.526111	0.0365219	X
Chullpi Anaran	18	0.9	0.0365219	X
Negra Collana	18	0.916667	0.0365219	X

### Pruebas de Múltiple Rangos para la energía de germinación por temperatura

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	27	0.720741	0.02982	X
22	27	0.841111	0.02982	X

### Pruebas de Múltiple Rangos para la energía de germinación por tiempo

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
24	18	0.583333	0.0365219	X
48	18	0.858333	0.0365219	X
72	18	0.901111	0.0365219	X



### 3D. Índice de germinación

#### Análisis de Varianza para el índice de germinación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	0.488174	2	0.244087	19.77	0.0000
B: Temperatura	0.100881	1	0.100881	8.17	0.0070
C: Tiempo	0.406453	2	0.203226	16.46	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.001047	2	0.0005235	0.04	0.9585
AC	0.264958	4	0.0662395	5.37	0.0017
BC	0.171067	2	0.0855335	6.93	0.0028
ABC	0.00226233	4	0.000565583	0.05	0.9959
RESIDUOS	0.444466	36	0.0123463		
TOTAL (CORREGIDO)	1.87931	53			

#### Pruebas de Múltiple Rangos para el índice de germinación por variedad

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	18	0.193722	0.0261898	x
Chullpi Anaran	18	0.395	0.0261898	x
Negra Collana	18	0.395833	0.0261898	x

#### Pruebas de Múltiple Rangos para el índice de germinación por temperatura

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	27	0.284963	0.0213839	x
22	27	0.371407	0.0213839	x

#### Pruebas de Múltiple Rangos para el índice de germinación por tiempo

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
72	18	0.225278	0.0261898	x
48	18	0.321778	0.0261898	x
24	18	0.4375	0.0261898	x

**ANEXO 4.** Difusión de los compuestos fenólicos durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C

**Análisis de Varianza para la difusión de compuestos fenólicos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Variedades	0.190286	2	0.095143	15711.69	0.0000
B:Temperatura	0.0383645	1	0.0383645	6335.42	0.0000
C:Tiempo	1.62664	3	0.542214	89539.92	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.4076	2	0.2038	33655.05	0.0000
AC	0.207001	6	0.0345002	5697.27	0.0000
BC	0.0236312	3	0.00787706	1300.80	0.0000
ABC	0.183144	6	0.030524	5040.67	0.0000
RESIDUOS	0.000290667	48	0.00000605556		
TOTAL (CORREGIDO)	2.67696	71			

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de compuestos fenólicos por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	24	1.21258	0.000502309	x
Chullpi Anaran	24	1.23654	0.000502309	x
Negra Collana	24	1.33163	0.000502309	x

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de compuestos fenólicos por temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
28	36	1.23717	0.000410134	x
22	36	1.28333	0.000410134	x

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de compuestos fenólicos por tiempo**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Tiempo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	18	1.0	0.000580017	x
72	18	1.34072	0.000580017	x
24	18	1.34889	0.000580017	x
48	18	1.35139	0.000580017	x

**ANEXO 5.** Constantes de Peleg en la difusión de compuestos fenólicos durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C

**5A. Velocidad de la tasa de difusión de los compuestos fenólicos ( $k_1$ )**

**Análisis de Varianza para  $k_1$**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	51.9259	2	25.9629	31872.37	0.0000
B: Temperatura	23.3024	1	23.3024	28606.24	0.0000
INTERACCIONES					
AB	36.2971	2	18.1485	22279.33	0.0000
RESIDUOS	0.00977509	12	0.000814591		
TOTAL (CORREGIDO)	111.535	17			

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_1$  por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Negra Collana	6	2.19077	0.0116518	X
Chullpi Anaran	6	3.47632	0.0116518	X
Salcedo INIA	6	6.2602	0.0116518	X

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_1$  por temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
22	9	2.83797	0.00951368	X
28	9	5.11356	0.00951368	X

**5B. Capacidad de difusión de los compuestos fenólicos ( $k_2$ )**

**Análisis de Varianza para  $k_2$**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	7562.51	2	3781.25	41182.47	0.0000
B: Temperatura	1556.71	1	1556.71	16954.51	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1609.88	2	804.94	8766.78	0.0000
RESIDUOS	1.10181	12	0.0918171		
TOTAL (CORREGIDO)	10730.2	17			

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_2$  por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	6	-40.6072	0.123705	X
Chullpi Anaran	6	-0.783317	0.123705	X
Negra Collana	6	5.78443	0.123705	X





### Pruebas de Múltiple Rangos para $k_2$ por temperatura

Método: 95.0 porcentaje Duncan

<i>Temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	9	-21.1684	0.101004	×
22	9	-2.569	0.101004	×



**ANEXO 6.** Difusión de la capacidad antioxidante durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C

**Análisis de Varianza para la difusión de capacidad antioxidante**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Variedades	5.57539	2	2.78769	7341.40	0.0000
B:Temperatura	0.032555	1	0.032555	85.73	0.0000
C:Tiempo	6.71751	3	2.23917	5896.86	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.0116132	2	0.0058066	15.29	0.0000
AC	2.28906	6	0.38151	1004.71	0.0000
BC	0.0199928	3	0.00666427	17.55	0.0000
ABC	0.0241505	6	0.00402508	10.60	0.0000
RESIDUOS	0.0182267	48	0.000379722		
TOTAL (CORREGIDO)	14.6885	71			

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de capacidad antioxidante por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

<i>Variedad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Salcedo INIA	24	1.15292	0.00397766	x
Negra Collana	24	1.48433	0.00397766	x
Chullpi Anaran	24	1.83446	0.00397766	x

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de capacidad antioxidante por temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

<i>Temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
28	36	1.46931	0.00324774	x
22	36	1.51183	0.00324774	x

**Pruebas de Múltiple Rangos para la difusión de capacidad antioxidante por tiempo**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	18	1.0	0.004593	x
24	18	1.48406	0.004593	x
48	18	1.67222	0.004593	x
72	18	1.806	0.004593	x

**ANEXO 5.** Constantes de Peleg en la difusión de capacidad antioxidante durante el germinado de tres variedades de quinua a temperatura de 22 y 28°C

**7A. Velocidad de la tasa de difusión de la capacidad antioxidante ( $k_1$ )**

**Análisis de Varianza para  $k_1$**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	35.7848	2	17.8924	74909.27	0.0000
B: Temperatura	0.117386	1	0.117386	491.46	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.157249	2	0.0786246	329.17	0.0000
RESIDUOS	0.00286625	12	0.000238854		
TOTAL (CORREGIDO)	36.0623	17			

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_1$  por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Chullpi Anaran	6	0.690033	0.00630944	X
Negra Collana	6	1.28723	0.00630944	X
Salcedo INIA	6	3.9346	0.00630944	X

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_1$  por temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
22	9	1.88987	0.00515164	X
28	9	2.05138	0.00515164	X

**7B. Capacidad de difusión de la capacidad antioxidante ( $k_2$ )**

**Análisis de Varianza para  $k_2$**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad	1788.19	2	894.096	20618.19	0.0000
B: Temperatura	71.6484	1	71.6484	1652.24	0.0000
INTERACCIONES					
AB	38.4233	2	19.2116	443.03	0.0000
RESIDUOS	0.520373	12	0.0433644		
TOTAL (CORREGIDO)	1898.78	17			

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $k_2$  por variedad**

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Chullpi Anaran	6	6.10033	0.0850141	X
Negra Collana	6	7.61177	0.0850141	X
Salcedo INIA	6	27.959	0.0850141	X



### Pruebas de Múltiple Rangos para $k_2$ por temperatura

Método: 95.0 porcentaje Duncan

<i>Temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
22	9	11.8953	0.0694137	X
28	9	15.8855	0.0694137	X



## ANEXO 6. Compuestos fenólicos de tres variedades de quinua germinada secadas por estufa y microondas

### Análisis de Varianza para los compuestos fenólicos en secado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	11.7364	2	5.86822	56.13	0.0000
B: BLOQUE (tipo de secado)	2.83814	3	0.946048	9.05	0.0002
RESIDUOS	3.1362	30	0.10454		
TOTAL (CORREGIDO)	17.7108	35			

### Pruebas de Múltiple Rangos para los compuestos fenólicos en secado por variedad

Método: 95.0 porcentaje Duncan

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Salcedo INIA	12	3.25417	0.0933364	x
Chullpi Anaran	12	4.11842	0.0933364	x
Negra Collana	12	4.63858	0.0933364	x

### Pruebas de Múltiple Rangos para los compuestos fenólicos por tipo de secado

Método: 95.0 porcentaje Duncan

BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
M-T1	9	3.67244	0.107776	x
Estufa	9	3.91444	0.107776	x
M-T2	9	3.98033	0.107776	x
M-T3	9	4.44767	0.107776	x



**ANEXO 7.** Capacidad antioxidante de tres variedades de quinua germinada secadas por estufa y microondas

**Análisis de Varianza para la capacidad antioxidante en secado**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	0.503965	2	0.251983	1.24	0.3026
B: BLOQUE (tipo de secado)	1.41381	3	0.47127	2.33	0.0946
RESIDUOS	6.0758	30	0.202527		
TOTAL (CORREGIDO)	7.99358	35			



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Brigitte Jossie Escobedo Galindo,  
identificado con DNI 70828263 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agroindustrial

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“

Cinética de difusión de los antioxidantes durante el germinado  
y secado de tres variedades de quinua”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Brigitte Jossie Escobedo Galindo  
identificado con DNI 70828263 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Agroindustrial

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“

Cinética de difusión de los antioxidantes durante el germinado  
y secado de tres variedades de quinua

”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella





FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS UNA-PUNO  
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AGROINDUSTRIAL  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**FORMATO N° 02**

\*\*\*\*\*  
**SEÑOR SUB DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA  
PROFESIONAL INGENIERIA AGROINDUSTRIAL UNA - PUNO:**


En mérito a la evaluación y dictamen del borrador de tesis, **CINÉTICA DE DIFUSIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES DURANTE EL GERMINADO Y SECADO DE TRES VARIEDADES DE QUINUA**, con código PILAR N° 2022-3178 presentado por la bachiller **BRIGITTE JOSSIE ESCOBEDO GALINDO**, el jurado revisor lo declara:


APTO ( X )


Por tanto, esta expedito para la sustentación presencial y defensa de la tesis. Determinando que dicho acto académico se lleve a cabo el día **12 de abril del 2024** a las **10:00 horas**. Por lo que solicitamos a usted, se efectuó los tramites y la publicación correspondiente para la realización de acuerdo a lo reglamentado.

En Puno (C.U.), a los 08 días del mes de abril del 2024

  
-----  
Dr. WENCESLAO TEDDY MEDINA ESPINOZA  
Presidente

  
-----  
M.Sc. NURY YANETH MAYTA BARRIOS  
Primer miembro

  
-----  
M.Sc. CARMEN GISELA MINDANI CÁCERES  
Segundo miembro

  
-----  
Dra. MARIENELA CALSIN CUTIMBO  
Director o asesor de Tesis

  
-----  
BRIGITTE JOSSIE ESCOBEDO GALINDO  
Tesisista

**PROVEÍDO DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

Considerando que la evaluación y dictamen del borrador de tesis por el jurado revisor se declaró como apto:

Esta Sub-Dirección autoriza el trámite y la publicación de la exposición y defensa de la tesis; de acuerdo a la fecha y hora determinada por los jurados, con las respectivas medidas de bioseguridad para dicho acto. A la misma, los documentos que se presentan para su publicación en el Repositorio Institucional son veraces y auténticos del autor (e)

Puno C.U. 09 de abril del 2024

  
-----  
Dr. ULISES ALVARADO MAMANI  
Sub-Director de la Unidad de Investigación-EPIAI