



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



**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA SEMILLA DE  
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) MEDIANTE LA PRUEBA  
TOPOGRÁFICA DE TETRAZOLIO Y LA PRUEBA DE  
GERMINACIÓN**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. VICTOR HUGO ILAQUITA FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



# VICTOR HUGO ILAQUITA FLORES

## EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) MEDIANTE LA PRUEBA TO

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::8254:464134166

90 Páginas

Fecha de entrega  
2 jun 2025, 2:38 p.m. GMT-5

18.444 Palabras

Fecha de descarga  
2 jun 2025, 2:41 p.m. GMT-5

93.011 Caracteres

Nombre de archivo  
4. TESIS FINAL EN ARCHIVO WORD CON EL REEMPLAZO DE LAS PÁGINAS 2 Y 3 Y EN LAS 2 ÚLTIMA....pdf

Tamaño de archivo  
3.1 MB

Ing. Agr. Saturnino Marco Vilco M.Sc.  
Esp. Ciencia y Tecnología de Semillas  
Reg. CIP N° 18623  
Reg. Investigador en Semillas N° 005-2012-IMA

Dr. Manuel Alfredo Callohuanca P  
Cod. 82081 CIP: 24042





## 12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

### Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 12 words)

### Top Sources

- 11% Internet sources
- 3% Publications
- 5% Submitted works (Student Papers)

### Integrity Flags

#### 2 Integrity Flags for Review

- Replaced Characters**  
9 suspect characters on 1 page  
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.
- Hidden Text**  
3 suspect characters on 3 pages  
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.



Ing. Agr. Saturnino Marca Vilca M.Sc.  
Esp. Ciencia y Tecnología de Semillas  
Reg. CIP N° 18623  
Reg. Investigador en Semillas N° 005-2012-IRIA



Dr. Manuel Alfredo Collobuance P.  
Cod. 62081 - CP: 24042





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

BORRADOR DE TESIS

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA

(*Chenopodium quinoa* Willd) MEDIANTE LA PRUEBA TOPOGRÁFICA DE

TETRAZOLIO Y LA PRUEBA DE GERMINACIÓN

TESIS PRESENTADA POR:

VICTOR HUGO ILAQUITA FLORES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE:**

  
.....  
Dr. ASTETE MALDONADO, Felix Alonso

**PRIMER MIEMBRO:**

  
.....  
M.Sc. VERA ZUÑIGA, Marco Alexis

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
.....  
Dr. LUNA QUECAÑO, Juan Carlos

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
.....  
M.Sc. MARCA VILCA, Saturnino

**Área:** Ciencias agrarias

**Tema:** Manejo agronómico de cultivos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 15 de mayo de 2025





## DEDICATORIA

Dedico a mis padres, Francisco y Marcela quienes desde el cielo me acompañan con su amor eterno. Su sabiduría, sacrificio y apoyo incondicional han sido la fuerza que me ha impulsado a alcanzar este logro académico. Aunque ya no estén físicamente conmigo, su presencia sigue guiando cada uno de mis pasos, y este logro es un reflejo de su legado.

A mis queridos hermanos Gregorio, Edgar, Fredy y Brandon, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser una fuente de fuerza y alegría en los momentos más desafiantes.

A mis profesores, por su incansable dedicación y por brindarme las herramientas necesarias para crecer tanto profesional como personalmente. Sus enseñanzas han sido fundamentales en este proceso.

A mis amigos, por su amistad, apoyo y por ser mi refugio en los momentos difíciles.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este proyecto, mi más sincero agradecimiento.

**Victor Hugo Ilaquita Flores**



## AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a la primera casa de estudios de la región Puno, la Universidad Nacional del Altiplano.

A mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias, por acogerme en su seno durante mi formación profesional.

A los distinguidos miembros del jurado al Dr. Astete Maldonado Felix Alonso, M.Sc. Vera Zúñiga Marco Alexis y Dr. Luna Quecaño Juan Carlos, sus sugerencias y comentarios fueron invalorable para culminar el estudio satisfactoriamente.

A mi asesor de tesis, M.Sc. Marca Vilca Saturnino por su acompañamiento en las largas jornadas de desarrollo y redacción del presente trabajo de investigación.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al personal administrativo y al técnico laboratorista Luciano Julián Dueñas Quispe del Laboratorio de Análisis de Semillas por su invaluable apoyo y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

**Victor Hugo Ilaquita Flores**



# 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>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
1.1.1 Objetivo general.....	21
1.1.2 Objetivos específicos .....	21
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.2.1 Quinoa y taxonomía.....	24
2.2.2 Semilla .....	27
2.2.3 Proceso de germinación .....	33
2.2.4 Estructura esencial de la plántula.....	36
2.2.5 Pruebas de viabilidad de semillas .....	37



2.2.6 Prueba de tetrazolio .....	37
2.2.7 Prueba de germinación.....	39

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION... 40</b>	<b>40</b>
<b>3.2 MATERIAL BIOLÓGICO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 METODOLOGÍA PARA LA PRUEBA DE TETRAZOLIO.....</b>	<b>42</b>
3.3.1 Rehidratación de las semillas.....	42
3.3.2 Determinación de la concentración de la Solución de Tetrazolio.....	43
3.3.3 Establecimiento del tiempo de coloración de tetrazolio en la semilla .....	45
3.3.4 Establecimiento de la temperatura para la reducción del tetrazolio .....	46
<b>3.4 METODOLOGÍA PARA LA PRUEBA DE GERMINACION .....</b>	<b>47</b>
3.4.1 Comparación de los resultados de viabilidad por tetrazolio con la prueba de germinación.....	49
<b>3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>49</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1 DETERMINAR LA MEJOR CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE TETRAZOLIO.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 ESTABLECER EL MEJOR TIEMPO DE COLORACIÓN DE TETRAZOLIO EN LA SEMILLA. ....</b>	<b>53</b>
<b>4.3 ESTABLECER LA MEJOR TEMPERATURA PARA LA COLORACIÓN DEL TETRAZOLIO.....</b>	<b>55</b>
<b>4.4 COMPARAR LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE GERMINACIÓN Y LA PRUEBA DE TETRAZOLIO .....</b>	<b>67</b>



<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Factores de estudio.....	47
<b>Tabla 2</b> Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función de concentración de tetrazolio.....	51
<b>Tabla 3</b> Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función de concentración de tetrazolio.....	52
<b>Tabla 4</b> Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función del tiempo de coloración de tetrazolio .....	53
<b>Tabla 5</b> Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función del tiempo de coloración con tetrazolio ..	54
<b>Tabla 6</b> Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función de la temperatura de reducción del tetrazolio.....	55
<b>Tabla 7</b> Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función de la temperatura de reducción del tetrazolio .....	56
<b>Tabla 8</b> Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad Salcedo-INIA en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción. ....	58
<b>Tabla 9</b> Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad INIA 415- Pasankalla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción .....	60



<b>Tabla 10</b>	Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad Kankolla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción. ....	62
<b>Tabla 11</b>	Prueba de tetrazolio para la viabilidad de semilla de tres variedades de quinua .....	66
<b>Tabla 12</b>	Resultado de la comparación de prueba estándar de germinación y la prueba de tetrazolio en la viabilidad de la semilla de tres variedades de quinua.....	67
<b>Tabla 13</b>	Resultado de análisis de pureza física de semillas de tres variedades de quinua .....	80
<b>Tabla 14</b>	Resultado de la prueba de germinación de semillas de tres variedades de quinua.....	80
<b>Tabla 15</b>	Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para variedad Salcedo-INIA en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura para coloración.....	81
<b>Tabla 16</b>	Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) de la variedad Pasankalla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura.....	81
<b>Tabla 17</b>	Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) de la Kankolla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura	82
<b>Tabla 18</b>	Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad Salcedo-INIA. ....	83
<b>Tabla 19</b>	Valores consolidados para variedad Salcedo-INIA .....	83



<b>Tabla 20</b>	Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad Pasankalla.....	84
<b>Tabla 21</b>	Valores consolidados para variedad Pasankalla .....	85
<b>Tabla 22</b>	Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad Kancolla. ....	85
<b>Tabla 23</b>	Valores consolidados para variedad Kancolla.....	86



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Semillas de quinua: (a) variedad INIA 415-Pasankalla, (b) Salcedo INIA, (c) variedad Kankolla y (d) dimensiones de semilla de quinua.....	28
<b>Figura 2</b> Estructura externa (a) e interna (b) de semillas de quinua. Mi: micropilo; Pe: pericarpio; Te: testa; Rf: rafe; H-R: hipocótilo-radícula; Ct: cotiledón; Ed: endospermo; Pr: perispermo; Ra: radícula.....	29
<b>Figura 3</b> Reacción de reducción que da como resultado la coloración con sal de tetrazolio dentro de células de semillas vivas. Adaptado de Peters (2007). Arte: Thais Sofía Ribeiro Santos .....	39
<b>Figura 4</b> Semillas de quinua: (a) Salcedo INIA, (b) Kankolla y (c) INIA 415 - Pasankalla. ....	40
<b>Figura 5</b> Pesado de muestras de semillas para el análisis de pureza .....	41
<b>Figura 6</b> Componentes del análisis de pureza: a) semilla pura, b) otras semillas y c) material inerte de las variedades Salcedo INIA, INIA 415-Pasankalla y Kankolla.....	42
<b>Figura 7</b> Muestra de trabajo para prueba de tetrazolio .....	43
<b>Figura 8</b> Preparación de la solución de Tetrazolio: (a) Tetrazolio, (b) Pesado del tetrazolio, (c) Solución preparada .....	44
<b>Figura 9</b> Proceso de exposición de las semillas de quinua a las tres concentraciones de la solución de tetrazolio. ....	45
<b>Figura 10</b> Colocación de las placas de Petri con semillas en solución de tetrazolio en una cámara germinadora, marca Seeburo .....	46
<b>Figura 11</b> Siembra de semillas en placas Petri para la prueba de germinación.....	48
<b>Figura 12</b> Muestras de semillas de quinua acondicionadas en cámara germinadora ...	48



**Figura 13** Comparación de la prueba estándar de germinación y la prueba de tetrazolio  
en la viabilidad de las semillas de tres variedades de quinua ..... 68



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Pruebas físicas .....	80
<b>ANEXO 2</b> Tablas de ANOVA .....	81
<b>ANEXO 3</b> Tablas de resultados de mediciones.....	83
<b>ANEXO 4</b> Evidencias fotográficas.....	87



## ACRÓNIMOS

ISTA = International Seed Testing Association

LAS = Laboratorio de Análisis de Semillas

RAS = Reglas de Análisis de Semillas

TTC= Prueba topográfica de tetrazolio

Var = Varianza

C.V. = Coeficiente de variación

ANVA = Análisis de varianza

F.V. = Factor de variación

G.L.= Grado de libertad

S.C. = Suma de cuadrados

C.M. = Cuadrado medio

Fc = F calculada

\* = Es significativo

\*\* = Altamente significativo



## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de semillas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA-Puno; con el objetivo de evaluar la viabilidad de semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante la prueba de tetrazolio y la prueba de germinación. Los materiales usados fueron la porción de semilla pura del análisis de pureza de las variedades Salcedo INIA, Kankolla e INIA 415-Pasankalla, procedente del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno de la campaña agrícola 2021/2022, y el tetrazolio (cloruro 2, 3, 5 trifenil tetrazolio). La metodología para la prueba de tetrazolio se basó en las normas de la International Seed Testing Association (2011) y para la prueba de germinación la metodología establecida por Marca et al (1993). Los factores en estudio para tetrazolio fueron: concentraciones de la solución de tetrazolio (0.1%, 0.5%, 1.0%), tiempo de inmersión para la tinción (2, 3 y 4 horas) y temperaturas de exposición para la tinción (20, 25 y 30 °C). Para ambas pruebas se utilizó el diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones de 50 semillas para tetrazolio en factorial de  $3^3$  y la prueba de Tukey con una probabilidad de 95%; y cuatro repeticiones de 100 semillas para la prueba de germinación. Los resultados de la prueba de tetrazolio, muestran que la concentración de solución de 1%, el tiempo de coloración de 4 horas y la temperatura de 30°C para la coloración, fueron eficientes para evaluar la viabilidad de las semillas de tres cultivares de quinua, en comparación a la prueba de germinación.

**Palabras Clave:** Quinua, Tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio), Semilla, Viabilidad germinación.



## ABSTRACT

The research was conducted at the Seed Analysis Laboratory of the Professional School of Agricultural Engineering, Faculty of Agrarian Sciences, National University of the Altiplano (UNA) – Puno. The objective was to evaluate the viability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds using the tetrazolium test and the germination test. The materials used were pure seed portions obtained from the purity analysis of three varieties: Salcedo INIA, Kankolla, and INIA 415-Pasankalla, provided by the National Institute of Agrarian Innovation (INIA) – Puno, from the 2021/2022 agricultural campaign. The reagent used for the tetrazolium test was 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride. The tetrazolium test methodology followed the guidelines of the International Seed Testing Association (ISTA, 2011), while the germination test was carried out according to the protocol established by Marca et al. (1993). The factors evaluated in the tetrazolium test were: solution concentrations (0.1%, 0.5%, and 1.0%), staining immersion time (2, 3, and 4 hours), and exposure temperatures (20, 25, and 30 °C). A completely randomized design was used for both tests. The tetrazolium test employed a 3×3 factorial design with four replications of 50 seeds each, and the results were analyzed using Tukey's test at a 95% confidence level. For the germination test, four replications of 100 seeds were used. The results of the tetrazolium test showed that a 1% solution concentration, a staining time of 4 hours, and a temperature of 30 °C were the most effective combination for assessing seed viability in the three quinoa cultivars, yielding results comparable to those obtained in the germination test.

**Keywords:** Quinoa, Tetrazolium (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride), seed, viability, germination.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), seleccionada por la (FAO) como una de las especies vegetales que puede garantizar la seguridad alimentaria, debido a sus características nutricionales (Orsini et al., 2011).

Su alta calidad proteica se debe a la presencia de histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina y, especialmente, lisina y metionina, dos aminoácidos esenciales poco comunes en otros cereales (Stikic et al., 2012). Además, sus granos son ricos en minerales como potasio (K), calcio (Ca), fósforo (P), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y sodio (Na), así como en fibra dietética y vitaminas C y E (Dini et al., 2010). Estas cualidades nutricionales han consolidado a la quinua como un cultivo de referencia, con alta adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas a nivel mundial (FAO, 2011).

En este contexto, la semilla es el componente más importante en el (Azevedo, 2003). Por ello, insertar el cultivo de quinua en otros sistemas productivos, tiene uno de los problemas intrínsecos relacionados con la calidad de la semilla,

Por otra parte, las técnicas de conservación de semillas ortodoxas requieren una mínima actividad fisiológica (Calle *et al.*, 2010). Debido al comportamiento ortodoxo de las semillas de quinua permite que se deshidraten de forma natural hasta alcanzar un contenido de agua en equilibrio con el ambiente. Esta característica le confiere una tolerancia inducida a la desecación, permitiéndoles mantener su viabilidad incluso con un contenido de humedad cercano al 5% (Ellis et al., 1990).



Por consiguiente, las semillas que presentan mayor calidad fisiológica (germinación, viabilidad y vigor) permiten un rápido establecimiento del cultivo, debido a la mayor velocidad en los procesos metabólicos que resulta en mayores tasas de crecimiento de plantas con mayor tamaño inicial (Schuch et al., 1999).

Por otra parte, determinar la viabilidad de semillas implica evaluar si las semillas están vivas y son capaces de germinar y desarrollarse en condiciones adecuadas.

Según, ISTA (2020) la prueba de germinación es un procedimiento estandarizado que evalúa la capacidad de las semillas para producir plántulas normales bajo condiciones óptimas y controladas de temperatura, humedad, luz y sustrato, específicas para cada especie. Sin embargo, su eficacia está influenciada tanto por las propiedades intrínsecas de las semillas como por factores ambientales. A esto se suma, que puede tardar varios días o semanas, dependiendo de la especie, lo que retrasa la toma de decisiones y algunas semillas viables pueden no germinar por estar en latencia o dormancia, lo que podría llevar a subestimar la viabilidad.

Una alternativa para reemplazar la prueba estándar de germinación de semillas es el uso de la prueba de tetrazolio, que ha sido exitosa para conocer el potencial germinativo en una gran variedad de especies vegetales (Salazar et al., 2018; Salazar et al., 2013; Salazar et al., 2020; Mercado et al., 2020; Salazar et al., 2019) y como método para validar la calidad de las semillas (Costa et al., 1998). Dicha prueba se ha mostrado como una alternativa importante por la exactitud y rapidez en la estimación de la viabilidad y vigor, lo que permite obtener resultados en poco tiempo (Días et al., 2008; Fogaça et al., 2006).

Dadas las potencialidades y peculiaridades de esta especie, que se reproduce por semilla, el objetivo del trabajo de investigación fue evaluar la viabilidad de la semilla de



quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante la prueba topográfica de tetrazolio y la prueba de germinación, y comparar las ventajas de ambos métodos.

## **1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar la viabilidad de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante la prueba topográfica de tetrazolio y la prueba de germinación.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar la mejor concentración de la solución de tetrazolio.
- Establecer el mejor tiempo de coloración de tetrazolio en la semilla.
- Establecer la mejor temperatura para la coloración del tetrazolio.
- Comparar los resultados de viabilidad por tetrazolio con la prueba de germinación.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Minga (2022) estudió las alteraciones en la calidad fisiológica de semillas de amaranto y quinua, provocadas por el envejecimiento artificial, utilizando diferentes métodos de vigor y viabilidad. Utilizó semillas de amaranto, variedad Alegría, y quinua, variedad Tunkahuan. Seleccionó 20 semillas, las cuales se cubrieron con cloruro de tetrazolio al 1%, y fueron incubadas durante 2 horas a una temperatura de 35°C. Se evidenció que existen diferencias significativas entre los niveles, ya que a las 0 y 24 horas se produjeron los mayores valores de semillas viables, con un 82% en cada una de esas horas, mientras que, a las 72 horas, solo alcanzaron el 7%.

Por otra parte, Salazar et al. (2020) optimizó la prueba de tetrazolio, determinando el pretratamiento adecuado en semillas de *S. lycopersicum*. Expuesto a un preacondicionamiento con hipoclorito de sodio y agua durante 10 minutos, y luego a tres concentraciones de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (0.25%, 0.15% y 0.10%) con diferentes tiempos de exposición (6 h, 12 h y 24 h). Los resultados mostraron que la utilización de agua destilada e hipoclorito de sodio al 1%, como pretratamiento en semillas de *S. lycopersicum*, aumenta la eficacia de la prueba de tetrazolio, al utilizar las concentraciones de 0.25% y 0.15% durante 24 horas.

También, Salazar et al. (2020) determinó la eficacia de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad de semillas de *Capsicum annuum*. Las semillas se expusieron a dos concentraciones (1% y 0.5%) de tetrazolio y a dos tiempos de exposición (24 y 48 horas). Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el tratamiento T4



(0.5%, 48 h), con un 99% de viabilidad. Asimismo, los tratamientos T1 (1%, 24 h) y T2 (0.5%, 24 h) no presentaron diferencias entre sí, con porcentajes de viabilidad del 89% y 91%, respectivamente

Asimismo, Gonzales et al. (2019) realizó un experimento para el desarrollo de un protocolo que permita realizar este análisis en *Salvia hispanica* L. Se probaron cuatro concentraciones de sal de tetrazolio (0.075%, 0.1%, 0.5% y 1%) para evaluar la viabilidad de las semillas. La prueba de tetrazolio realizada con la concentración de 0.075% resultó ser eficiente para evaluar la viabilidad de las semillas de *S. hispanica* L.

Por su parte, Mancipe-Murillo et al. (2018) determinaron el mejor método para evaluar la viabilidad en 17 especies altoandinas. Se comparó la viabilidad mediante dos pruebas: Tetrazolio y germinación. Se encontraron diferencias en los valores de viabilidad entre las pruebas. En 11 especies, se recomienda la prueba de Tetrazolio, donde la mejor condición de evaluación fue (1-1.5%) TZ, 40 °C y 24 horas de exposición.

Igualmente, Romero (2018) evaluó la viabilidad y el porcentaje de germinación de cuatro accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa*). La prueba de viabilidad se realizó mediante la técnica de tetrazolio en cajas Petri, con cloruro de tetrazolio al 1% (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) y a una temperatura de 30°C durante un lapso de dos horas. La viabilidad inicial de las semillas fue inferior al 71% para todas las accesiones, con un contenido de humedad del 10%.

Según Salazar et al. (2018), la prueba de tetrazolio se utilizó como método para determinar la viabilidad de las semillas de *Glycine max*. Las semillas fueron tratadas con dos concentraciones (0.5% y 1.0%) y dos tiempos de exposición (24 y 48 horas). Se obtuvieron los mayores porcentajes de viabilidad con los tratamientos T2 (0.5%, 48 h) y



T3 (1.0%, 24 h), siendo estos estadísticamente homogéneos entre sí ( $p \leq 0.05$ ; Tukey HSD), con un 97% y un 95% de semillas viables, respectivamente.

Asimismo, Castillo (1988) utilizó la prueba de tetrazolio, niveles de secado y los efectos de la saponina sobre la germinación de semillas de quinua mediante el test de tetrazolio con soluciones al 1%, 2%, 3% y 5% de cloruro de trifeniltetrazolio, aplicadas a semillas almacenadas a diferentes temperaturas y con diferentes niveles de humedad interna (15%, 25%, 35°C y 6.4% y 12.7%, respectivamente). Los valores del porcentaje de germinación obtenidos fueron similares a los observados al realizar la prueba normal de germinación, lo que demuestra que esta prueba es útil para realizar pruebas rápidas de viabilidad.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Quinua y taxonomía**

La quinua, considerada un pseudocereal, se cultiva en la región andina desde hace mucho tiempo y es originaria de América del Sur (Koziol, 1992; Pathan & Siddiqui, 2022). Esta especie presenta hojas anchas, alcanza una altura de 1 a 2 m, tiene raíces profundas y se cultiva desde el nivel del mar hasta una altitud de 3800 m.s.n.m. (Bhargava et al., 2006).

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de la quinua, basada en las fuentes citadas por el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, por sus siglas en inglés) del Gobierno Federal de los Estados Unidos (United States Government, 2023).



Reino: Plantae

Subreino: Viridiplantae

Supervisión: Embryophyta

División: Tracheophyta

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Magnoliopsida

Superorden: Caryophyllanae

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Chenopodium* L.

Especie: ***Chenopodium quinoa* Willd.**

**a. Variedades de quinua**

Perú es una de las regiones de origen más diversas de la quinua. Álvarez y Céspedes (2017) reportaron datos sobre 554 accesiones de quinua en Perú y Bolivia. Debido a la variabilidad genética de la quinua y su capacidad de adaptación, se pueden sembrar cultivares en tres posibles zonas de producción en Perú: la sierra de Puno, que tiene la mayor superficie y volumen de producción; los valles entre los Andes; y finalmente, la costa del Perú (Apaza et al., 2013). Actualmente, se encuentran 20 variedades comerciales, entre las cuales se incluyen:

**b. Salcedo-INIA.**

El INIA (2013) indica que esta variedad fue obtenida en 1995 mediante el cruce de Sajama con Real boliviana, y presenta las siguientes características: grano grande (diámetro de 2.0 mm) y dulce, periodo de crecimiento de 150 días



en el Altiplano, y panícula de forma glomerulada y densa. Tiene un buen potencial de rendimiento, es resistente al mildiú (*Peronospora variabilis*) y presenta un contenido de saponina del 0.014 % (grano dulce). También es resistente a las heladas y la sequía, con un mayor contenido de proteínas (14.5 %). Se adapta a condiciones de altiplano, valles interandinos y costas, donde puede alcanzar un rendimiento de hasta 6000 kg/ha.

**c. Kankolla**

Es una variedad creada en 1960 por el Ingeniero Fidel Flores, a partir de la selección masiva de un ecotipo local de la región de Cabanillas (Puno). Según Tapia (1979), se describe como una variedad tardía, con un ciclo de 179 días, adecuada para condiciones de altiplano, con rendimientos de hasta 3500 kg/ha en años de buenas lluvias. Responde bien a la fertilización nitrogenada, especialmente si es fraccionada.

Por su parte, Mujica (1997) también la describe como una variedad de crecimiento tardío, con grano blanco de tamaño mediano (1,5 mm) y alto contenido de saponinas solubles. La panícula suele tener forma de amaranto y puede presentar colores que van del verde al morado. Es relativamente resistente al frío, al granizo y a enfermedades como el mildiú.

El INIA (2013) informa que es una variedad de planta de color verde con franjas moradas en el tallo. La panoja es glomerulada y de color rojo. La planta puede alcanzar una altura de 110 cm y su rendimiento medio oscila entre 1500 y 2000 kg/ha. Su temporada de crecimiento es de 170 días.



**d. INIA 415-Pasankalla**

Según el INIA (2013), es una variedad liberada en el año 2006, obtenida a partir de una selección de líneas vegetales de ecotipos de la comunidad de Caritamaya, en el distrito de Acora, provincia de Puno.

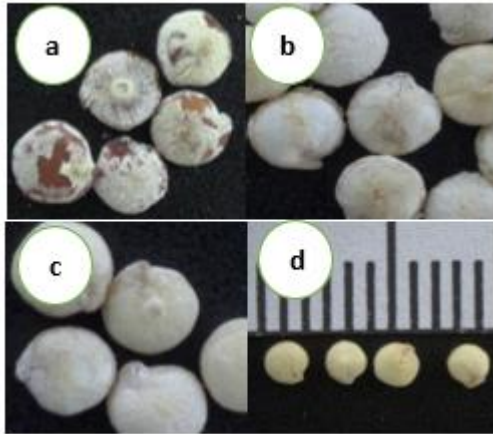
El proceso de mejoramiento se realizó entre los años 2000 y 2005 en la Estación Experimental Agrícola Illpa-Puno, como parte del Programa Nacional de Investigación de Cultivos Andinos. Su mejor desarrollo se logra a una altitud de 3800-3900 msnm y soporta un clima frío y seco. Es óptima para la industria, con un rendimiento potencial de 4.5 toneladas/ha, alcanza una altura de 130 cm y tiene un periodo vegetativo de 144 días en el Altiplano. La panoja tiene forma glomerulada con grandes granos, el carpelo es de color plomo y el epispermo es de color vino. Esta variedad es resistente al mildiu.

**2.2.2 Semilla**

Las semillas de quinua presentan formas redondas y aplanadas, con un diámetro que varía entre 1,5 y 4,0 mm y un grosor de 0,5 mm. Un gramo contiene aproximadamente 350 semillas. El color de las semillas puede variar desde el negro, blanco y gris violeta hasta el amarillo, rojo y violeta (Ballester-Sánchez et al., 2019).

## Figura 1

*Semillas de quinua: (a) variedad INIA 415-Pasankalla, (b) Salcedo INIA, (c) variedad Kankolla y (d) dimensiones de semilla de quinua.*



La semilla de quinua presenta tres estructuras principales: el epispermo (tegumento), el embrión (plúmula y radícula) y el perispermo (contenido de nutrientes). Una fina capa llamada pericarpio rodea el akenio, que es la forma del fruto de la quinua. El pericarpio tiene una superficie exterior áspera y quebradiza, la cual se puede eliminar fácilmente al frotar. Esta parte contiene las saponinas, responsables del sabor amargo de la semilla. El epispermo se encuentra debajo del pericarpio (Prego et al., 1998; Hussain et al., 2021).

### a. Descripción anatómica de la semilla de quinua

Según Prego et al., (1998) las semillas de la quinua presentan tres partes:

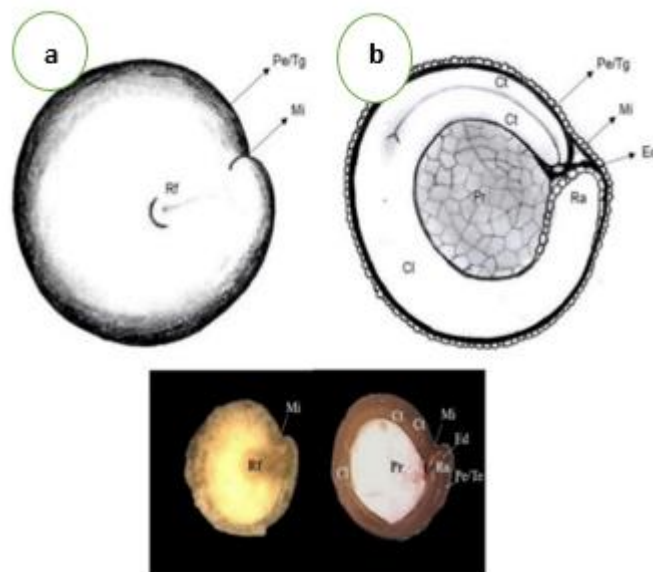
- El embrión: Está formado por dos cotiledones y constituye aproximadamente el 30% del volumen total de la semilla, rodeando el perispermo en forma de anillo con una curvatura de  $320^\circ$ .
- El perispermo: Es de color blanquecino y actúa como el principal tejido de almacenamiento de nutrientes, estando formado principalmente por

gránulos de almidón. Este tejido representa casi el 60% del volumen de la semilla.

- El endospermo: Está compuesto por varias capas que rodean el embrión. Después de la hidratación de las semillas, las células del endospermo entran en contacto con el embrión y se consumen rápidamente durante su crecimiento.

## Figura 2

*Estructura externa (a) e interna (b) de semillas de quinua. Mi: micropilo; Pe: pericarpio; Te: testa; Rf: rafe; H-R: hipocótilo-radícula; Ct: cotiledón; Ed: endospermo; Pr: perispermo; Ra: radícula*



Nota: Fuente: Prego et al., (1998).

### b. Calidad de la semilla

La información sobre la calidad de las semillas es fundamental para determinar su capacidad de germinación, emergencia rápida y uniforme, lo cual es esencial para lograr un buen enraizamiento (Ceccato et al., 2014).



En el almacén, la temperatura y la humedad relativa son los principales factores que influyen en la calidad de las semillas. La humedad relativa está relacionada con el contenido de agua de las semillas y regula los procesos metabólicos. La temperatura influye en la velocidad de los procesos bioquímicos e indirectamente afecta el contenido de agua de las semillas (Roble; Nakagawa, 2012).

Según la Ley de Semillas N° 27262 (2004), la calidad de la semilla es un conjunto de características que incluyen cuatro factores: genético (genotipo), físico (apariencia general), fisiológico (germinación y vigor) y sanitario (ausencia de enfermedades), cuyos atributos tienen un impacto directo en la productividad (Gomaa et al., 2014).

### **c. Calidad genética**

Aunque en el caso de la quinua no se puede hablar de variedades puras, sino más bien de poblaciones seleccionadas que presentan cierto grado de pureza y uniformidad, para mantener esta uniformidad o 'pureza varietal' es esencial considerar el aislamiento del lote mencionado. Además, debido al pequeño tamaño del grano, es fácil que se produzcan mezclas durante el procesamiento de las semillas, lo que hace necesario erradicar las plantas fuera de tipo, aquellas que no presentan las características propias de la variedad.

Según el INIA (2015), las variedades comerciales utilizadas carecen de pureza genética. Sin embargo, dentro de los parámetros de los atributos de calidad de las semillas, la calidad genética se refiere a las características genéticas específicas de la variedad, es decir, la pureza genética.



#### **d. Calidad física**

Una semilla de buena calidad física debe tener un tamaño, peso y color uniformes, y debe estar libre de materiales no deseados como piedras, escombros, polvo, hojas, ramitas, tallos, flores, otras semillas de cultivos, semillas de malezas y material inerte. Además, debe estar libre de semillas arrugadas, enfermas, moteadas, mohosas, descoloridas, dañadas o vacías (Du y Sun, 2004). La semilla de calidad también debe estar libre de semillas de otras variedades, aunque sean del mismo cultivo.

Según Valenzuela et al. (2000), la calidad física está relacionada con la pureza de las semillas, lo que implica la presencia o ausencia de otras especies, variedades, malezas y sustancias inertes. También incluye la integridad física de la semilla, como la ausencia de semillas rotas, así como la uniformidad en tamaño y peso

#### **e. Pureza física**

En este sentido, González et al. (2010) afirman que el análisis de pureza tiene como objetivo determinar el porcentaje de semilla después de eliminar las impurezas de otros cultivos, residuos de semillas y otros materiales no deseados. Este análisis puede usarse para determinar la composición específica de cada lote de semillas.

Además, Sánchez (2014) menciona que la pureza física es una propiedad que refleja la composición física o mecánica del lote de semillas. Este análisis busca identificar los diferentes tipos de semillas y las proporciones de los materiales inertes presentes en una muestra representativa. La identificación de semillas físicamente limpias se expresa como el porcentaje del peso de la muestra.



#### **f. Calidad fisiológica**

Viabilidad de la semilla: La viabilidad de la semilla se refiere a su capacidad para germinar y producir una plántula normal. Sin embargo, una semilla puede contener tanto tejidos vivos como muertos, y aunque los tejidos vivos puedan estar presentes, la semilla puede no tener la capacidad de germinar. Esto refleja la viabilidad tanto de los tejidos como de la semilla en su conjunto (Copeland y McDonald, 2001). Por lo tanto, la prueba de viabilidad puede realizarse como una evaluación rápida para determinar el potencial de germinación de los lotes de semillas bajo condiciones de campo, así como para decidir sobre su comercialización y almacenamiento por parte de las empresas de semillas.

Germinación de la semilla: La prueba de germinación evalúa la calidad fisiológica de las semillas, aunque los resultados no siempre reflejan la emergencia en campo. Para complementar la información obtenida en esta prueba, se utilizan parámetros de vigor, como los índices de velocidad de germinación y el potencial de emergencia. Estos índices ayudan a evaluar el desempeño de las semillas y la velocidad de desarrollo de plántulas normales bajo diversas condiciones ambientales (Franzin et al., 2004).

Vigor de la semilla: En el análisis de semillas, las pruebas de vigor se utilizan principalmente para identificar diferencias en el desempeño de los lotes de semillas durante el almacenamiento y después de la siembra, con el objetivo de destacar los lotes más efectivos para el establecimiento de cultivos en una amplia gama de condiciones ambientales (Marcos Filho, 2015).

#### **g. Calidad sanitaria**



Las semillas pueden albergar patógenos que representan una amenaza significativa para el rendimiento y la calidad de las mismas, causando una disminución en la germinación y daños a las plántulas (Sakira et al., 2019). Entre los patógenos asociados a las semillas, los hongos son los más prevalentes, seguidos por bacterias, virus y nemátodos (Park et al., 2018). Los hongos afectan la calidad de las semillas al inducir calor por respiración y alterar la constitución de las mismas, lo que resulta en la decoloración de las semillas y la producción de micotoxinas, inhibidores de proteínas y ácidos nucleicos (Kovacec et al., 2016).

### **2.2.3 Proceso de germinación**

La germinación de las semillas está regulada por un proceso muy preciso, cuya complejidad proviene tanto de la influencia de diversos factores externos (como la temperatura, el oxígeno, la luz y el potencial hídrico del medio) como de características internas de las propias semillas (Bewley y Black, 1994; Bewley, 1997)

La germinación consta de tres etapas sucesivas:

- Imbibición: Es el proceso de absorción de agua por parte de la semilla, impulsado por la diferencia entre el potencial hídrico de la semilla y el de la solución de imbibición (matriz) (Melgarejo y Suárez, 2010). Durante esta fase, el tejido de reserva absorbe agua a un ritmo constante hasta completar la hidratación (Moreno et al., 2006).
- Activación enzimática: En esta etapa, la absorción de agua disminuye considerablemente, lo que da paso a los cambios metabólicos necesarios para el pleno desarrollo de la plántula.



- Crecimiento: Se asocia con la formación de la raíz y, al mismo tiempo, con un aumento en la actividad metabólica. En esta fase se reanuda la absorción de agua, lo que favorece la reactivación de las funciones vitales (Doria, 2010; Pérez et al., 1998).

**a. Factores que intervienen en la germinación**

**Factores internos**

Madurez de la semilla: Según García et al. (2006), una semilla se considera madura cuando alcanza su desarrollo morfológico y fisiológico completo. Sin embargo, muchas semillas que parecen estar morfológicamente maduras no logran germinar, ya que todavía deben experimentar una serie de cambios fisiológicos, como la eliminación de sustancias inhibitoras y la acumulación de sustancias promotoras, entre otros.

En algunos casos, aunque las semillas estén fisiológicamente maduras, el pericarpio puede ser impermeable al agua o, incluso, puede comprimir al embrión, impidiendo así su germinación (Matilla, 2013). En relación con esto, Huanca et al. (2013) señalan que las semillas de quinua de mayor diámetro tienen una tasa de germinación más alta en comparación con las de menor diámetro

**b. Viabilidad de las semillas**

El período en el que las semillas mantienen su capacidad de germinación varía según el tipo de semilla y las condiciones de almacenamiento. Este intervalo puede ser desde unos pocos días hasta varios años, debido a la dureza de la semilla, su envoltura protectora y la baja actividad metabólica (García et al., 2006). En relación a esto, Castellón (2008) observó que las semillas de quinua almacenadas a 14% de humedad relativa y temperatura ambiente durante seis meses



experimentaron una reducción en su porcentaje de germinación de entre 5% y 30%. Por otro lado, Pinto y Rojas (2013) reportaron una disminución en el porcentaje de germinación de semillas almacenadas a 10 °C y 45% de humedad relativa, que varió entre 1% y 85%

### **Factores externos**

**Humedad:** Para que la semilla restablezca su metabolismo, es necesario humedecer sus tejidos. Por lo tanto, la presencia de agua en el ambiente donde se encuentra la semilla es fundamental, en una cantidad suficiente que permita su flujo a favor del gradiente de potencial hídrico (García et al., 2006). No obstante, el exceso de agua en el entorno es desfavorable, ya que acelera la absorción, provocando la rápida disolución de solutos, azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y otros compuestos dentro de la semilla. Estos pueden escapar al ambiente debido a que las paredes celulares aún no actúan como membranas semipermeables, especialmente cuando la cubierta de la semilla está dañada. Esto reduce las reservas de la semilla y enriquece el entorno con nutrientes que favorecen el desarrollo de patógenos (Besnier, 1989). Además, García et al. (2006) indican que el exceso de agua dificulta la entrada de oxígeno al embrión

**Temperatura:** Este factor es crucial en el proceso de germinación, ya que las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la hidratación están reguladas por enzimas cuya actividad depende de la temperatura. Si esta se encuentra fuera del rango adecuado, no se producirá la germinación, incluso si las demás condiciones son favorables. La temperatura óptima varía según la especie (García et al., 2006)



**Gases:** Las semillas requieren un ambiente adecuadamente aireado para germinar, que proporcione suficiente O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, permitiendo que el embrión obtenga la energía necesaria para mantener su metabolismo. La mayoría de las semillas germinan en una atmósfera con un 21% de O<sub>2</sub> y un 0,03% de CO<sub>2</sub> (García et al., 2006)

**Luz:** Según Besnier (1989), la luz es un factor que afecta la germinación, ya que muchas semillas no germinan en condiciones ideales, sino en la oscuridad. Algunas permanecen latentes bajo una iluminación constante, mientras que otras germinan tanto en presencia de luz como en su ausencia. Los procesos metabólicos desencadenados por la luz están regulados por el fitocromo, un pigmento ubicado entre el hipocótilo y el rayo.

El requerimiento de luz para que muchas semillas rompan su latencia es un mecanismo que impide que las semillas pequeñas germinen a profundidades excesivas, donde contarían con pocos recursos, lo que podría agotar sus reservas antes de que la plántula emerja del suelo (Besnier, 1989). La intensidad lumínica óptima para satisfacer las necesidades de semillas cuya germinación es favorecida por la luz varía entre 750 y 1250 lux (Peretti, 1994).

#### **2.2.4 Estructura esencial de la plántula**

Una plántula, dependiendo de la especie que se está analizando, se compone de una combinación específica de algunas de las estructuras siguientes que son esenciales para el desarrollo satisfactorio de una planta: sistema de raíces (raíz primaria; en ciertos casos raíces seminales); eje del brote (hipocótilo, epicótilo, en ciertas Poaceae mesocótilo; yema terminal); cotiledones (de uno a varios); coleótilo (en todas las Poaceae) (ISTA, 2006).



### **2.2.5 Pruebas de viabilidad de semillas**

La viabilidad de las semillas se mide generalmente para evaluar la idoneidad de un lote de semillas para un propósito específico, siendo el más común la producción de cultivos, aunque también se utiliza para fines industriales. Las técnicas para medir la viabilidad son fundamentales en la investigación. Se aplican diferentes criterios según el objetivo del examen. Para evaluar la idoneidad de la semilla para la siembra, es necesario determinar su capacidad para producir plantas en el campo, lo que requiere información sobre el desarrollo de la plántula después de la ruptura de la cubierta de la semilla. En este contexto, se presentan dos pruebas: la prueba de tetrazolio, comúnmente conocida como prueba TZ, y la prueba de germinación estándar, utilizadas para evaluar la viabilidad de las semillas

### **2.2.6 Prueba de tetrazolio**

La prueba de tetrazolio determina indirectamente la actividad respiratoria de las células que componen los tejidos de las semillas. Este procedimiento se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas (AOSA, 1983; Ronda, 1961; Copeland y otros, 1959; Moore, 1973; Herrero, 1952; Smith y Throneberry, 1951), que catalizan reacciones respiratorias en las mitocondrias durante la glucólisis y el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs). En la glucólisis, una de estas enzimas, la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa, y en el ciclo del ácido cítrico, otras cinco enzimas: piruvato deshidrogenasa, isocitrato deshidrogenasa,  $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa, succinato deshidrogenasa y malato deshidrogenasa, participan en la reducción de la sal de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio - TTC) en los tejidos vivos.



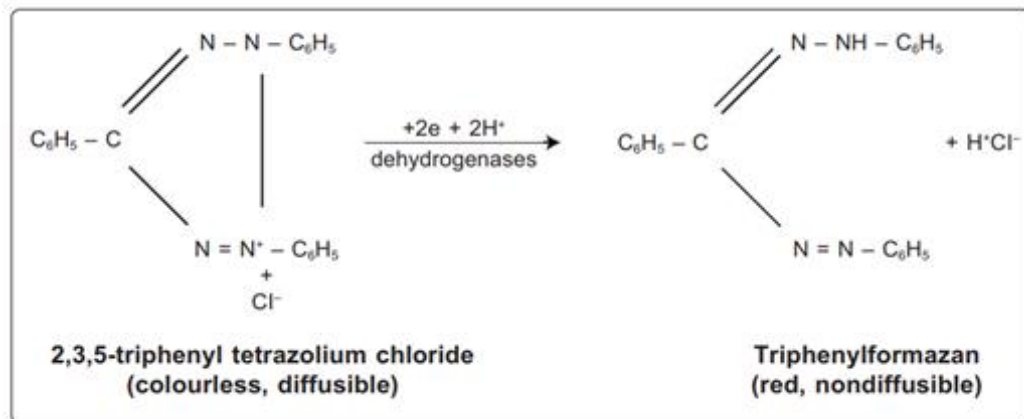
Cuando una semilla se sumerge en una solución incolora de TTC, esta sal penetra en los tejidos de la semilla e interactúa con los procesos de reducción de las células vivas al aceptar un ion de hidrógeno. En su forma reducida, el TTC se convierte en una sustancia estable y no difusible, de color rojo, conocida como trifenilformazán o formazán. Esta reducción del TTC indica que está ocurriendo actividad respiratoria en las mitocondrias de las células vivas del tejido de la semilla, lo que sugiere que las células son viables (Pedro, 2007). Por lo tanto, el color rojo resultante en el tejido de la semilla es un indicio positivo de viabilidad, al detectar indirectamente la actividad respiratoria a nivel celular. Los tejidos de semillas no viables no reaccionan con el TTC y, en consecuencia, no se tiñen.

El tejido respiratorio se encuentra principalmente dentro del embrión de la semilla, en los cotiledones, el tejido de la radícula, el escutelo, algunos tejidos nutritivos del endospermo, el tejido del gametofito femenino en las gimnospermas y en la capa de células de aleurona dentro del pericarpio de las gramíneas (Pedro, 2007).

Si el tejido es vigoroso, se desarrollará un color rojo tenue normal. Si el tejido es débil, el color rojo será más intenso debido a la rápida difusión de la solución de TTC a través de las membranas celulares dañadas. En el caso de un tejido muerto, no se producirá ninguna reducción, y el tejido muerto se observará en un color blanco contrastante en comparación con el tejido vivo teñido. Estas diferencias en el color, junto con el conocimiento de las características y funciones de las semillas, permiten evaluar la presencia, ubicación y naturaleza de las debilidades dentro de los tejidos embrionarios (Moore, 1973).

### Figura 3

*Reacción de reducción que da como resultado la coloración con sal de tetrazolio dentro de células de semillas vivas. Adaptado de Peters (2007). Arte: Thais Sofía Ribeiro Santos*



#### 2.2.7 Prueba de germinación

La prueba de germinación se debe hacer con semillas puras, excepto donde está permitida el análisis de las semillas por réplicas pesadas, los medios de cultivo utilizados para los análisis de germinación son productos que proporcionan suficiente espacio de poros para aire y agua, para el crecimiento del sistema radicular y para el contacto con soluciones (agua) necesarias para el crecimiento de la planta. En un sentido estricto no hay métodos de germinación propiamente dicho solo existe uno solo, con variaciones de acuerdo al laboratorio, sin embargo, podemos decir que la diferencia radica en el sustrato utilizado.

Papel como sustrato, debe ser de madera, algodón u otra celulosa vegetal purificada. El papel puede tener la forma de filtros de papeles, papel secante o toallas. El papel debe ser tal que: las raíces de las plántulas crezcan sobre y no en él; posea una resistencia suficiente para que pueda resistir el desgarrar cuando se manipula durante el análisis ISTA (1996).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

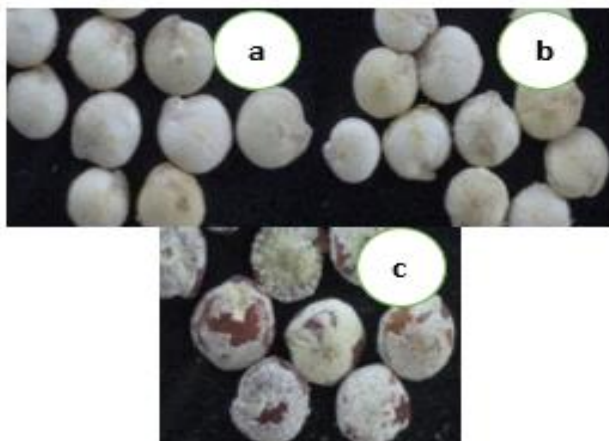
La investigación se realizó en el laboratorio de análisis de semillas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en el distrito, provincia y región de Puno, Perú, a 3827 msnm, en las coordenadas UTM zona 19 L 390849.16 m E, 8250469.75 m S.

#### 3.2 MATERIAL BIOLÓGICO

El material biológico utilizado consistió en semillas de las variedades Salcedo INIA, Kankolla e INIA 415-Pasankalla, procedentes del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA-PUNO), correspondientes a la campaña agrícola 2021/2022 (Figura 4).

#### Figura 4

*Semillas de quinua: (a) Salcedo INIA, (b) Kankolla y (c) INIA 415 - Pasankalla.*



Para la prueba de tetrazolio y la prueba de germinación, la muestra de trabajo o de análisis, debe proceder de la fracción de semilla pura del análisis de pureza (ISTA, 2008;

Brasil, 2009), por lo que, fue necesario realizar el análisis de pureza de las semillas de las tres variedades de quinua, utilizando la metodología de análisis de semilla de quinua, establecida por Marca et al (1993), la misma que se detalla a continuación:

#### a. Análisis de pureza

A partir de cada muestra de envió de 150 gramos de semilla de cada variedad, en el laboratorio, previa homogenización y división, se obtuvo una muestra de trabajo de 12 gramos (Figura 5).

#### Figura 5

*Pesado de muestras de semillas para el análisis de pureza*



#### b. Separación de los componentes

En las tres variedades de quinua, se realizó el análisis de pureza, separando en tres componentes, semilla pura, otras semillas y material inerte (Figura 6).

Se consideró como semilla pura, aquellas pertenecientes a la variedad en evaluación, semillas inmaduras, semillas de tamaño menor que lo normal y semillas partidas mayores a la mitad de la semilla normal.

En otras semillas, se consideró aquellas semillas de plantas cultivadas no pertenecientes a la variedad y especie en análisis y otros materiales de propagación de plantas indeseables (plantas silvestres o malezas).

En material inerte, se consideró la presencia de arena, tierra, fragmentos de pedicelo, hojas, tallo, perigonio, semillas partidas menores a la mitad de tamaño normal.

### Figura 6

*Componentes del análisis de pureza: a) semilla pura, b) otras semillas y c) material inerte de las variedades Salcedo INIA, INIA 415-Pasankalla y Kankolla.*



## 3.3 METODOLOGÍA PARA LA PRUEBA DE TETRAZOLIO

### 3.3.1 Rehidratación de las semillas.

Para la rehidratación de las semillas de las tres variedades de quinua, se tomaron al azar 200 semillas de la porción de “Semilla Pura” del análisis de pureza y se colocaron en placas petri 50 semillas con 4 repeticiones, se les añadió 2.5 ml de agua destilada para su rehidratación y ablandamiento, durante un período de 10 horas. (ISTA, 2016; Brasil, 2009).

## Figura 7

*Muestra de trabajo para prueba de tetrazolio*



### 3.3.2 Determinación de la concentración de la Solución de Tetrazolio

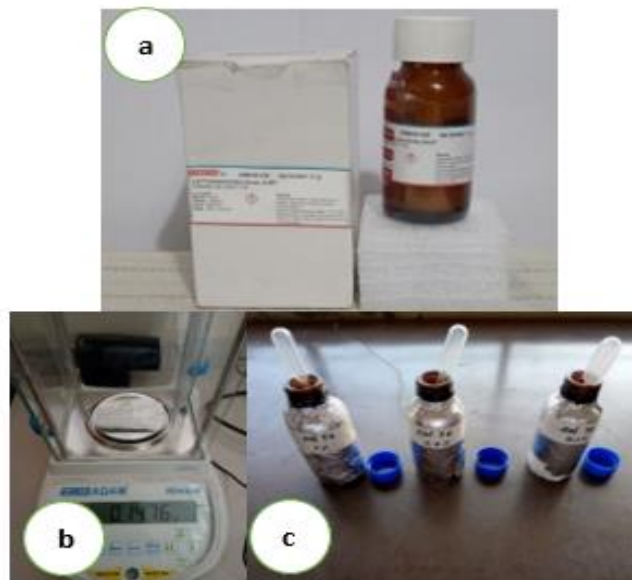
La concentración de tetrazolio es un factor crítico en la determinación de la viabilidad de las semillas, ya que debe ser suficiente para teñir las semillas viables sin afectar la calidad del análisis (Pessarakli, 2016). La solución de tetrazolio actúa reduciendo la sal de tetrazolio a formazán rojo brillante en las semillas viables, mientras que las semillas no viables no muestran este cambio de color (Copeland y McDonald, 2001).

**a. Procedimiento:**

Preparación de soluciones de tetrazolio: La solución de tetrazolio se preparó conforme a las recomendaciones de la ISTA (2016) y según los tratamientos establecidos en la presente investigación. (Figura 8) Se diluyó 0.1 g, 0.5 g y 1 g de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio en 100 ml de agua destilada (Vargas et al., 2015) para obtener soluciones al 0.1%, 0.5% y 1%, respectivamente. Estas soluciones tuvieron un pH entre 6.5 y 7.5, y fueron conservadas en frascos de color caramelo hasta su uso (Romero et al., 2018; Niño-Hernández et al., 2020; Minga, 2022; ISTA, 2016).

**Figura 8**

*Preparación de la solución de Tetrazolio: (a) Tetrazolio, (b) Pesado del tetrazolio, (c) Solución preparada*



Selección de muestras: Se seleccionaron 400 semillas representativas de quinua de cada variedad de la porción de “Semilla Pura” del análisis de pureza para cada concentración de tetrazolio.

**Tratamiento de las semillas:** Las semillas se colocaron en cajas Petri y se sumergieron con 10 ml de la solución de tetrazolio preparada.

### **Figura 9**

*Proceso de exposición de las semillas de quinua a las tres concentraciones de la solución de tetrazolio.*



#### **3.3.3 Establecimiento del tiempo de coloración de tetrazolio en la semilla**

Después de sumergir la semilla en 10 ml con la solución de tetrazolio a concentraciones de 0.1%, 0.5% y 1%.

Las Semillas se incubo a 2 h, 3 h y 4 h durante el proceso de coloración, las semillas de quinua no serán expuestas a la luz directa debido a la reducción de la sal de tetrazolio (Vargas et al., 2015; Grabe, 2006).

El tiempo de exposición al tetrazolio es crucial, ya que un tiempo insuficiente puede no permitir la reducción completa del tetrazolio, mientras que un tiempo excesivo podría comprometer la viabilidad de las semillas (Grabe, 2006).

### 3.3.4 Establecimiento de la temperatura para la reducción del tetrazolio

Teniendo en consideración que la temperatura afecta la actividad enzimática que reduce el tetrazolio a formazán, lo que influye directamente en la tinción de las semillas (Marcos Filho, 2015). Las temperaturas más altas pueden dañar la semilla, mientras que las temperaturas bajas pueden no permitir la reducción completa del tetrazolio.

Las semillas previa y debidamente acondicionadas fueron colocadas a las temperaturas constantes de 20°C, 25°C, 30°C, conforme los tratamientos establecidos (Figura 10); además, las semillas de quinua no fueron expuestas a la luz directa debido a la reducción de la sal de tetrazolio (Vargas et al., 2015; Grabe, 2006).

#### Figura 10

*Colocación de las placas de Petri con semillas en solución de tetrazolio en una cámara germinadora, marca Seeburo*



Evaluación: Las semillas se clasificaron en viables (de color rojo brillante) o no viables (sin color o decoloradas).

**Tabla 1**

*Factores de estudio*

Factor	Niveles de factor
A = Concentración de Tetrazolio	0.1, 0.5 y 1%
B = Tiempo de exposición	2, 3 y 4 horas
C = Temperatura de exposición	20, 25 y 30°C

Para el cálculo de los resultados de la prueba de viabilidad, la unidad de medida fue el porcentaje de semillas viables y no viables. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas viables}}{\text{Total de semillas}} \times 100$$

### **3.4 METODOLOGÍA PARA LA PRUEBA DE GERMINACION**

#### **a. Prueba de germinación**

Para la prueba de germinación se utilizó la metodología establecida por Marca et al (1993), para ello, se tomó al azar 400 semillas de la porción de semilla pura del análisis de pureza de cada variedad, con cuatro repeticiones de 100 semillas cada una.

El sustrato utilizado fue el papel filtro, la misma que fue colocada en una placa Petri, luego se humedeció con una cantidad agua destilada tres veces el peso del sustrato, evitando el exceso o la formación de películas de agua en la placa.

En seguida se hizo la siembra de 100 semillas sobre el papel filtro humedecido en las placas de las cuatro repeticiones de cada variedad, distribuyeron uniformemente y evitando el contacto entre semillas, luego cada placa Petri fue debidamente identificadas. Copeland y McDonald (2001).

### Figura 11

*Siembra de semillas en placas Petri para la prueba de germinación*



Una vez identificas las placas Petri, se colocó en la cámara germinadora marca Seedburo, la misma que fue regulada a una temperatura constante de 20°C por 72 horas. Durante el tiempo de duración de la prueba de germinación, el sustrato se mantuvo húmedo, evitando que se forme una película de agua alrededor de las semillas, debido a que el exceso perjudica la germinación.

### Figura 12

*Muestras de semillas de quinua acondicionadas en cámara germinadora*



Se contó el número total de semillas germinadas, consideradas así cuando la emergencia de la radícula tuvo una longitud  $\geq 3$  mm. El valor en porcentaje se obtuvo con la ecuación propuesta por Sampayo-Maldonado et al., (2017).

$$G(\%) = \frac{n}{N} \times 100$$



Dónde:

$n$  = número de semillas germinadas.

$N$  = número total de semillas por unidad experimental.

### **3.4.1 Comparación de los resultados de viabilidad por tetrazolio con la prueba de germinación.**

Para comparar los resultados de la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio, se aplicará la prueba  $t$  de Student para muestras relacionadas, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre ambas metodologías. Este tipo de análisis es comúnmente utilizado en estudios de evaluación de viabilidad de semillas, ya que permite comparar medias obtenidas de dos métodos sobre un mismo conjunto de muestras (Montgomery, 2017; Steel & Torrie, 1988). Asimismo, se elaborará un cuadro comparativo y un gráfico que faciliten la interpretación visual de las diferencias observadas entre los dos métodos de evaluación.

## **3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para la prueba de tetrazolio, se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial  $3 \times 3 \times 3$ , que incluyó tres concentraciones de tetrazolio (0.1%, 0.5%, 1.0%), tres tiempos de exposición (2 h, 3 h, 4 h) y tres temperaturas (20°C, 25°C, 30°C). Para la prueba de germinación se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones de 100 semillas.

Para la prueba de tetrazolio la unidad experimental estuvo constituida por una placa de Petri con 50 semillas por repetición. Las medias se compararon mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey, con un nivel de probabilidad del 95%, para



determinar si existen diferencias significativas, con un nivel de significancia de 0.05 ( $p \leq 0.05$ ). El análisis estadístico se realizó utilizando el software R Studio, versión libre

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$  (hasta “a” niveles del factor A)

$j = 1, 2, \dots, b$  (hasta “b” niveles del factor B)

$k = 1, 2, \dots, c$  (hasta “c” niveles del factor C)

$l = 1, 2, \dots, r$  (repeticiones).

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_i$  = efecto del i-ésimo nivel del factor A.

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$\delta_k$  = efecto del k-ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\delta)_{ik}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A con el k-ésimo nivel del factor C.

$(\beta\delta)_{jk}$  = Efecto de la interacción del j-ésimo nivel del factor B con el k-ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B de

k-ésimo nivel del factor C.

$\xi_{ijkl}$  = Variación del error asociado a la ijkl - ésima unidades experimentales. Vásquez (2013).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 DETERMINAR LA MEJOR CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE TETRAZOLIO

El análisis de varianza para la viabilidad de la semilla respecto a la concentración de tetrazolio en tres variedades de quinua se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función de concentración de tetrazolio*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Concentración-Salcedo INIA	2	651.830	325.915	561.880	< <b>0.0001</b>
Concentración-INIA 415-Pasankalla	2	546.352	273.176	400.981	< <b>0.0001</b>
Concentración-Kankolla	2	613.405	306.703	519.283	< <b>0.0001</b>
Error	81	46.984	0.580		
Total corregido	107				

Media: 89.70, CV:1.06%

En la Tabla 2, los respectivos análisis de varianza indican que para las tres variedades de quinua el factor de Concentración de tetrazolio resultó estadísticamente significativo ( $p < 0.01$ ), por tanto, se interpreta que por lo menos una de las concentraciones presentó un efecto diferente, para verificar las diferencias específicas se muestra la prueba de rango múltiple para las tres variedades de quinua.

**Tabla 3**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función de concentración de tetrazolio*

Salcedo-INIA	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
1%	74.716 (92.778)	0.127	74.464	74.969	a
0.5%	71.109 (89.500)	0.127	70.857	71.362	b
0.1%	68.741 (86.833)	0.127	68.489	68.994	c
Pasankalla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
1%	74.660 (92.667)	0.138	74.386	74.934	a
0.5%	71.134 (89.500)	0.138	70.860	71.408	b
0.1%	69.231(87.389)	0.138	68.957	69.504	c
Kankolla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
1%	74.745 (92.778)	0.128	74.490	75.000	a
0.5%	70.827 (89.167)	0.128	70.573	71.082	b
0.1%	69.039 (87.167)	0.128	68.784	69.293	c

Nota: Valores sin transformar entre paréntesis

En la Tabla 3, se exponen los resultados de las pruebas de rango múltiple de Tukey, para la concentración de tetrazolio se tiene que la concentración de 1% presenta el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua para las tres variedades de quinua.

En la variedad Salcedo-INIA, se obtuvo el mayor porcentaje de viabilidad con la concentración del 1% (92.778), seguido por la concentración de 0.5% (89.500) y finalmente la de 0.1% (86.833). En la variedad INIA 415-Pasankalla, también se registró una mayor viabilidad con la concentración de 1% (92.667), mientras que las concentraciones de 0.5% y 0.1% mostraron valores más bajos de 89.500 y 87.389, respectivamente. De forma similar, en la variedad Kankolla, el tratamiento con 1% de tetrazolio alcanzó la viabilidad más alta (92.778), en comparación con las concentraciones de 0.5% (89.167) y 0.1% (87.167). En todos los casos, se observó una disminución progresiva del porcentaje de viabilidad a medida que disminuyó la

concentración del reactivo, lo cual evidencia que una menor concentración tiende a subestimar el estado fisiológico real de las semillas. Estos resultados indican que el uso de una concentración del 1 % de tetrazolio permite una evaluación más precisa y confiable de la viabilidad de las semillas de quinua, independientemente de la variedad.

#### 4.2 ESTABLECER EL MEJOR TIEMPO DE COLORACIÓN DE TETRAZOLIO EN LA SEMILLA.

**Tabla 4**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función del tiempo de coloración de tetrazolio*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Horas-Salcedo INIA	2	227.658	113.829	196.242	< <b>0.0001</b>
Horas-INIA 415-Pasankalla	2	188.692	94.346	138.486	< <b>0.0001</b>
Horas-Kankolla	2	184.643	92.322	156.311	< <b>0.0001</b>
Error	81	46.984	0.580		
Total corregido	107				

Media: 89.70, CV:1.06%

En la Tabla 4, los respectivos análisis de varianza indican que para las tres variedades de quinua el factor de Tiempo de coloración resultó estadísticamente significativo ( $p < 0.01$ ), por tanto, se interpreta que por lo menos una de los tiempos (horas) presentó un efecto diferente, para verificar las diferencias específicas se muestra la prueba de rango múltiple para las tres variedades de quinua.

**Tabla 5**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función del tiempo de coloración con tetrazolio*

Salcedo-INIA	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
4 h	73.330 (91.333)	0.127	73.078	73.583	a
3 h	71.461 (89.778)	0.127	71.209	71.714	b
2 h	69.776 (88.000)	0.127	69.523	70.028	c

Pasankalla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
4 h	73.400 (91.389)	0.138	73.127	73.674	a
3 h	71.435 (89.722)	0.138	71.161	71.708	b
2 h	70.190 (88.444)	0.138	69.916	70.463	c

Kankolla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
4 h	73.238 (91.222)	0.128	72.983	73.493	a
3 h	71.316 (89.611)	0.128	71.061	71.571	b
2 h	70.058 (88.278)	0.128	69.803	70.313	c

Nota: Valores sin transformar entre paréntesis

En la Tabla 5, se exponen los resultados de las pruebas de rango múltiple de Tukey, para el tiempo de coloración con tetrazolio, se tiene que el tiempo de 4 horas presenta el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua para las tres variedades.

En la variedad Salcedo-INIA, se obtuvo el mayor valor de viabilidad con el tiempo de 4 h (91.333), seguido por el tiempo de 3 h (89.500) y, finalmente, el de 2 h (88.000). En la variedad INIA 415-Pasankalla, también se registró una mayor viabilidad con el tiempo de 4 h (91.389), mientras que los tiempos de 3 h (89.722) y 2 h (88.444) mostraron valores más bajos. De forma similar, en la variedad Kankolla, el tratamiento con 4 h alcanzó el valor más alto de viabilidad (91.222), en comparación con 3 h (89.611) y 2 h (88.278). En todos los casos, se observó una disminución progresiva en los valores de viabilidad a medida que se redujo el tiempo de exposición, lo cual evidencia que tiempos menores tienden a subestimar el estado fisiológico real de las semillas. Estos resultados

indican que el tiempo de 4 horas permite una evaluación más precisa y confiable de la viabilidad de las semillas de quinua, independientemente de la variedad.

#### 4.3 ESTABLECER LA MEJOR TEMPERATURA PARA LA COLORACIÓN DEL TETRAZOLIO.

**Tabla 6**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para tres variedades de quinua en función de la temperatura de reducción del tetrazolio*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Temperatura-Salcedo INIA	2	74.910	37.455	64.573	< <b>0.0001</b>
Temperatura- INIA 415-Pasankalla	2	136.861	68.431	100.446	< <b>0.0001</b>
Temperatura-Kankolla	2	116.085	58.043	98.273	< <b>0.0001</b>
Error	81	46.984	0.580		
Total corregido	107				

Media: 89.70. CV:1.06%

En la Tabla 6, los respectivos análisis de varianza indican que para las tres variedades de quinua el factor de Temperatura resultó estadísticamente significativo ( $p < 0.01$ ), por tanto, se interpreta que por lo menos una de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) presentó un efecto diferente, para verificar las diferencias específicas se muestra la prueba de rango múltiple para las tres variedades de quinua.

**Tabla 7**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de tres variedades de quinua en función de la temperatura de reducción del tetrazolio*

Salcedo-INIA	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
30°C	72.580 (90.667)	0.127	72.327	72.832	a
25°C	71.443 (89.667)	0.127	71.190	71.696	b
20°C	70.544 (88.778)	0.127	70.292	70.797	c
Pasankalla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
30°C	73.170 (91.278)	0.138	72.896	73.444	a
25°C	71.401 (89.611)	0.138	71.127	71.675	b
20°C	70.454 (88.667)	0.138	70.180	70.728	c
Kankolla	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
30°C	72.823 (90.889)	0.128	72.568	73.078	a
25°C	71.504 (89.722)	0.128	71.249	71.759	b
20°C	70.284 (88.500)	0.128	70.029	70.539	c

Nota: Valores sin transformar entre paréntesis

En la Tabla 7, se exponen los resultados de las pruebas de rango múltiple de Tukey, para la temperatura, se tiene que los 30°C presenta el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua para las tres variedades.

En la variedad Salcedo-INIA, se obtuvo el mayor valor de viabilidad con la temperatura de 30 °C (90.667), seguido por la temperatura de 25 °C (89.667) y, finalmente, la de 20 °C (88.778). En la variedad INIA 415-Pasankalla, también se registró una mayor viabilidad con la temperatura de 30 °C (91.278), mientras que las temperaturas de 25 °C (89.611) y 20 °C (88.667) presentaron valores menores. De forma similar, en la variedad Kankolla, el tratamiento con 30 °C alcanzó el valor más alto de viabilidad (90.889), en comparación con 25 °C (89.722) y 20 °C (88.500). En todos los casos evaluados, se observó una disminución progresiva en la viabilidad de las semillas a medida que disminuyó la temperatura. Esto sugiere que temperaturas más bajas tienden a subestimar el estado fisiológico real de las semillas. Por tanto, se concluye que la



temperatura de 30 °C permite una evaluación más precisa y confiable de la viabilidad de las semillas de quinua, independientemente de la variedad.

### **Efecto de las interacciones**

Considerando que el análisis de varianza (Anexo 2, tablas 15, 16 y 17) para el diseño factorial resultó significativo para la interacción de segundo orden, se procedió a realizar las pruebas de rango múltiple para las combinaciones respectivas para cada variedad de quinua.

**Tabla 8**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad Salcedo-INIA en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción.*

Categoría	Medias LS	Media real	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-30	81.841	98	0.381	81.083	82.599	a
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-25	78.435	96	0.381	77.678	79.193	b
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-30	75.794	94	0.381	75.037	76.552	c
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-20	74.669	93	0.381	73.911	75.427	c
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-25	73.544	92	0.381	72.786	74.302	d
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-20	73.544	92	0.381	72.786	74.302	d
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-30	73.544	92	0.381	72.786	74.302	d
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-30	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-25	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-30	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-25	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-20	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-25	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-30	71.540	90	0.381	70.782	72.298	e
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-20	70.667	89	0.381	69.909	71.425	f
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-25	70.624	89	0.381	69.866	71.382	f
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-20	70.623	89	0.381	69.866	71.381	f
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-20	70.197	89	0.381	69.439	70.955	f
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-30	69.708	88	0.381	68.950	70.465	f
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-30	69.708	88	0.381	68.950	70.465	f
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-25	69.708	88	0.381	68.950	70.465	f
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-25	68.855	87	0.381	68.097	69.613	g
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-20	68.429	87	0.381	67.671	69.187	g
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-20	68.029	86	0.381	67.271	68.786	g
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-30	68.003	86	0.381	67.246	68.761	g
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-20	67.201	85	0.381	66.443	67.959	g
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-25	67.201	85	0.381	66.443	67.958	g



En la Tabla 8, los resultados de la prueba de rango múltiple de Tukey para los tratamientos formados por las combinaciones de los tres factores de estudio, señalan que el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua, se obtuvo para la combinación de 1% de tetrazolio, sometida a 4 horas de exposición y a una temperatura de 30 °C. En términos de la viabilidad de la semilla se tiene que con esta combinación se obtiene 98% de viabilidad.

**Tabla 9**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad INIA 415- Pasankalla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción*

Categoría	Medias LS	Media real	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-30	81.870	97.088	0.413	81.049	82.691	a
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-25	78.463	95.088	0.413	77.642	79.284	b
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-30	75.821	93.088	0.413	75.000	76.642	c
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-20	74.695	92.088	0.413	73.874	75.517	c
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-25	73.570	91.088	0.413	72.749	74.391	d
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-20	73.570	91.088	0.413	72.749	74.391	d
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-30	73.570	91.088	0.413	72.749	74.391	d
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-30	73.570	91.088	0.413	72.749	74.391	d
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-30	71.565	89.088	0.413	70.744	72.386	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-25	71.565	89.088	0.413	70.744	72.386	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-30	71.565	89.088	0.413	70.744	72.386	e
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-25	71.565	89.088	0.413	70.744	72.386	e
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-30	71.107	88.588	0.413	70.286	71.928	f
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-20	70.691	88.088	0.413	69.870	71.513	f
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-20	70.222	87.588	0.413	69.401	71.043	f
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-25	70.190	87.588	0.413	69.369	71.011	f
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-25	70.190	87.588	0.413	69.369	71.011	f
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-20	70.190	87.588	0.413	69.369	71.011	f
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-20	69.732	87.088	0.413	68.911	70.553	f
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-30	69.732	87.088	0.413	68.911	70.553	f
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-25	69.732	87.088	0.413	68.911	70.553	f
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-30	69.732	87.088	0.413	68.911	70.553	f
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-25	68.880	86.088	0.413	68.058	69.701	f
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-20	68.478	85.588	0.413	67.657	69.299	g
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-25	68.453	85.588	0.413	67.632	69.274	g
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-20	68.453	85.588	0.413	67.632	69.274	g
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-20	68.052	85.088	0.413	67.231	68.873	g



En la Tabla 9, los resultados de la prueba de rango múltiple de Tukey para los tratamientos formados por las combinaciones de los tres factores de estudio, señalan que el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua, se obtuvo para la combinación de 1% de tetrazolio, sometida a 4 horas de exposición y a una temperatura de 30 °C. En términos de la viabilidad de la semilla se tiene que con esta combinación se obtiene un 97.088% de viabilidad.

**Tabla 10**

*Resultados de la prueba de Tukey para viabilidad de la semilla (%) de la variedad Kankolla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura, para efectos de interacción.*

Categoría	Medias LS	Media real	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-30	81.870	98.000	0.384	81.105	82.634	a
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-25	78.463	96.000	0.384	77.698	79.227	b
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-30	75.821	94.000	0.384	75.056	76.586	c
Concentración-1*Horas-4*Temperatura-20	74.133	92.500	0.384	73.368	74.897	c
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-25	73.570	92.000	0.384	72.805	74.334	d
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-30	73.570	92.000	0.384	72.805	74.334	d
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-30	73.069	91.500	0.384	72.304	73.833	d
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-20	72.567	91.000	0.384	71.803	73.332	d
Concentración-1*Horas-3*Temperatura-20	72.066	90.500	0.384	71.302	72.831	d
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-30	71.565	90.000	0.384	70.800	72.329	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-25	71.565	90.000	0.384	70.800	72.329	e
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-30	71.565	90.000	0.384	70.800	72.329	e
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-25	71.565	90.000	0.384	70.800	72.329	e
Concentración-1*Horas-2*Temperatura-25	71.150	89.500	0.384	70.385	71.914	f
Concentración-0.5*Horas-3*Temperatura-20	70.190	88.500	0.384	69.426	70.955	g
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-30	70.190	88.500	0.384	69.426	70.955	g
Concentración-0.5*Horas-4*Temperatura-20	70.190	88.500	0.384	69.426	70.955	g
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-25	69.732	88.000	0.384	68.967	70.496	h
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-25	69.732	88.000	0.384	68.967	70.496	h
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-30	69.732	88.000	0.384	68.967	70.496	h
Concentración-0.5*Horas-2*Temperatura-20	68.880	87.000	0.384	68.115	69.644	i
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-25	68.880	87.000	0.384	68.115	69.644	i
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-25	68.880	87.000	0.384	68.115	69.644	i
Concentración-0.1*Horas-3*Temperatura-20	68.453	86.500	0.384	67.689	69.218	i
Concentración-0.1*Horas-4*Temperatura-20	68.052	86.000	0.384	67.287	68.817	j
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-20	68.027	86.000	0.384	67.263	68.792	j
Concentración-0.1*Horas-2*Temperatura-30	68.027	86.000	0.384	67.263	68.792	j



En la Tabla 10, los resultados de la prueba de rango múltiple de Tukey para los tratamientos formados por las combinaciones de los tres factores de estudio, señalan que el mayor porcentaje de viabilidad de la semilla de quinua, se obtuvo para la combinación de 1% de tetrazolio, sometida a 4 horas de exposición y a una temperatura de 30 °C. En términos de la viabilidad de la semilla se tiene que con esta combinación se obtiene un 98.000% de viabilidad.

En general el presente estudio es corroborado en los resultados obtenidos en las tres variedades expuestas a la concentración de tetrazolio, tiempo de exposición y temperatura de exposición por las siguientes publicaciones

Como lo reporta Maestro et al. (2023), la viabilidad de las semillas puede determinarse mediante la prueba de tetrazolio, utilizando cloruro de tetrazolio al 1% (v/v), con una incubación de 2 horas a 30 °C. En su estudio, se consideraron viables aquellas semillas que presentaban más del 50% del embrión teñido. Los resultados mostraron que las semillas del grupo PP alcanzaron una viabilidad superior al 84%, mientras que las del grupo SP no superaron el 60%, con excepción de las semillas SP de la variedad WW Titicaca, cuya viabilidad fue del 75%.

De forma similar, Romero et al. (2018) evaluaron la viabilidad de semillas aplicando la técnica de tetrazolio con cloruro de 2,3,5-trifenil-2H-tetrazolio al 1%, a una temperatura de 30 °C durante 2 horas. En este caso, los porcentajes de viabilidad obtenidos mediante el análisis de accesiones fueron inferiores al 80%.

Por su parte, Minga (2022) observó que, al realizar la prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio al 1%, incubando las semillas durante 2 horas a 35 °C, los mayores porcentajes



de viabilidad (82%) se registraron a las 0 y 24 horas de evaluación, mientras que a las 72 horas la viabilidad descendió drásticamente al 7%.

Asimismo, Niño et al. (2020) reportaron que, al someter las semillas a una solución de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio al 1%, a 37 °C por 2 horas en condiciones de oscuridad, las semillas con tinción del 100% y 80% fueron las más representativas del grupo de semillas viables, seguidas por un grupo de semillas dudosas. Las semillas no viables mostraron un porcentaje considerablemente menor.

En otro estudio, Hernández et al. (2020) evaluaron la viabilidad de 22 materiales de quinua mediante la prueba bioquímica de tetrazolio al 1%. De los materiales analizados, los números 6, 13, 18 y 19 no lograron germinar, lo que evidenció que las condiciones de almacenamiento y conservación influyeron negativamente en la viabilidad de los embriones, impidiendo el inicio del proceso de germinación.

Finalmente, Granado et al. (2022) analizaron la viabilidad de semillas utilizando tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifenil-2H-tetrazolio, TFT) al 1%, a 30 °C durante 2 horas. Observaron que la viabilidad disminuyó con el tiempo de almacenamiento. Inicialmente, las semillas F16 y Duquesa presentaban viabilidades del 97% y 95%, respectivamente. Sin embargo, estas cifras se redujeron a lo largo del tiempo, variando entre 77% y 5% en F16, y entre 72% y 0% en Duquesa. La pérdida de viabilidad fue dependiente de la temperatura: en F16, el porcentaje descendió al 44% tras 3 meses de almacenamiento a 37 °C y al 5% después de 12 meses. En el caso de las semillas Duquesa almacenadas a la misma temperatura, la viabilidad fue consistentemente baja, cayendo por debajo del 4% desde el sexto mes



disminuyendo al 44% después de 3 meses y al 5% después de 12 meses. Mientras tanto, las semillas Duquesa almacenadas a 37°C tuvieron la viabilidad más baja en todos los puntos de tiempo, con tasas inferiores al 4% a partir del mes 6 de almacenamiento.

**Tabla 11**

*Prueba de tetrazolio para la viabilidad de semilla de tres variedades de quinua*

0.1%																					
Concentración		2H				3H				4H											
Temporatura	Semilla	20°C	SNV	SV	SNV	25°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV				
	Salcedo INIA	85	15	85	15	86	14	86	14	87	13	88	12	88	12	86	14	88	12	90	10
	INIA 415-Pasankalla	86	14	86	14	88	12	87	13	87	13	88	12	88	12	86	14	88	12	90	10
	Kankolla	86	14	87	13	86	14	86	14	87	13	88	12	88	12	86	14	88	12	90	10
0.5%																					
Concentración		2H				3H				4H											
Temporatura	Semilla	20°C	SNV	SV	SNV	25°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV				
	Salcedo INIA	89	11	89	11	88	12	89	11	90	10	90	10	90	10	88	12	90	10	92	8
	INIA 415-Pasankalla	89	11	88	12	90	10	88	12	90	10	90	10	90	10	88	12	90	10	92	8
	Kankolla	87	13	88	12	88	12	88	12	90	10	90	10	90	10	88	12	90	10	92	8
1%																					
Concentración		2H				3H				4H											
Temporatura	Semilla	20°C	SNV	SV	SNV	25°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV	30°C	SNV	SV	SNV				
	Salcedo INIA	90	10	90	10	90	10	90	10	92	8	92	8	94	6	93	7	96	4	98	2
	INIA 415-Pasankalla	88	12	88	12	92	8	92	8	92	8	92	8	94	6	93	7	96	4	98	2
	Kankolla	91	9	89	11	92	8	90	10	92	8	94	6	92	8	92	8	96	4	98	2

SV=Semilla viable, SNV=Semilla no viable

#### 4.4 COMPARAR LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE GERMINACIÓN Y LA PRUEBA DE TETRAZOLIO

La comparación de los resultados de la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio de las tres variedades de quinua provenientes del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), se muestran en la tabla 12 y figura 13, donde se presentan los valores obtenidos en la prueba estándar de germinación y la prueba de tetrazolio en semillas de tres variedades de quinua. La variedad Salcedo INIA mostró un porcentaje de germinación de 91.25 % y una viabilidad según tetrazolio de 98 %, lo que representa un incremento de 6.75 %. Por su parte, la variedad INIA 415-Pasankalla presentó una germinación del 92.75 % y una viabilidad del 97.08 %, con un incremento de 4.33 %. Finalmente, la variedad Kankolla alcanzó una germinación del 93.25 % y una viabilidad del 98 %, con un incremento de 4.75 %. Estos resultados indican que, en todas las variedades evaluadas, el porcentaje de viabilidad determinado por la prueba de tetrazolio fue mayor al obtenido por la prueba de germinación.

Además, podemos mencionar que la prueba de tetrazolio no es determinante para la prueba viabilidad; sin embargo, por su rapidez en su ejecución puede ser útil para efectos de siembra, certificación y comercialización de semillas.

**Tabla 12**

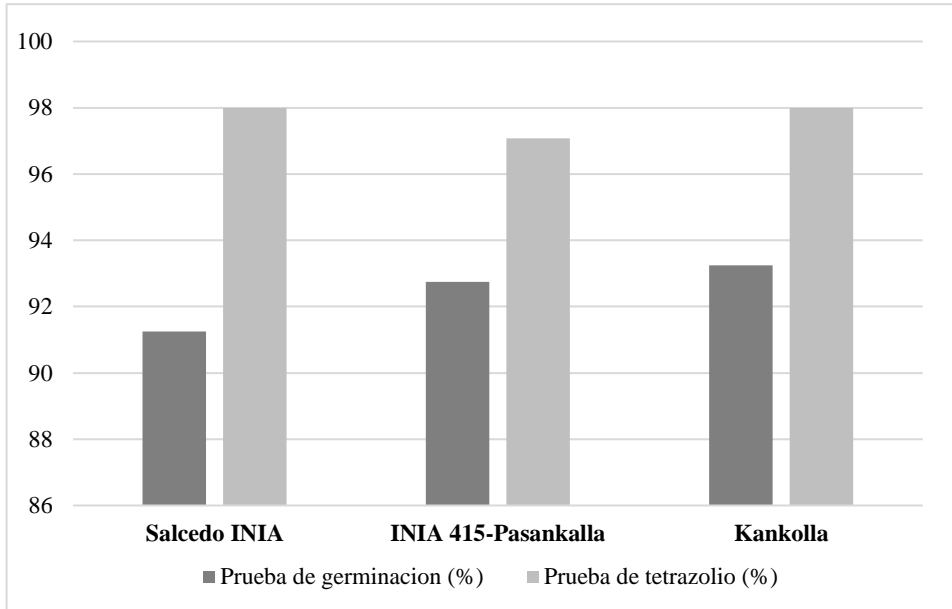
*Resultado de la comparación de prueba estándar de germinación y la prueba de tetrazolio en la viabilidad de la semilla de tres variedades de quinua*

Variedad	Prueba de germinación (%)	Prueba de tetrazolio (%)	$\Delta$ (%)
Salcedo INIA	91.25	98	6.75
INIA 415-Pasankalla	92.75	97.08	4.33
Kankolla	93.25	98	4.75

$\Delta$  = Incremento

**Figura 13**

*Comparación de la prueba estándar de germinación y la prueba de tetrazolio en la viabilidad de las semillas de tres variedades de quinua*





## V. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La mejor concentración de la solución de tetrazolio para determinar la viabilidad de semilla en las tres variedades de quinua es 1 %.
- El mejor tiempo de coloración de tetrazolio en la semilla en las tres variedades de quinua es 4 horas.
- La mejor temperatura para la coloración de tetrazolio en semilla de quinua en las tres variedades es 30 °C.
- Al comparar los resultados entre las pruebas de germinación y tetrazolio, muestra que la prueba de tetrazolio es la que mejor determino la viabilidad de la semilla en las tres variedades de quinua.



## VI. RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones del presente trabajo de investigación, se recomienda los siguientes:

- Aplicar los resultados obtenidos en la presente investigación en el análisis de viabilidad de la semilla de quinua y en semillas de tamaños similares.
- Realizar investigaciones con la prueba de tetrazolio en semillas que requieren mayor tiempo de germinación y aquellas que presentan dormancia.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. & Céspedes, E. (2017). *Catálogo del banco de germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Wild)*. Programa de Investigación en Quinua del Centro de Investigación en Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Alzugaray, C., Salinas, A. & Carnevale, N. (2006). Aplicación de la técnica de rayos x en la evaluación de calidad de semillas forestales nativas: *Schinopsis balansae* engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* schlecht. *Agromensajes*, 18, 39–48.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R. & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*.
- Barone, J., Duarte, E., & Luna, C. (2016). Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 24(2), 70-71.
- Baskin, C. & Baskin, J.M. (2014) Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. *Academic Press*, 150-162.
- Benito, L. F., Herrero, N., Jiménez, I. & Peñuelas, J. L. (2004). Aplicación de métodos colorimétricos para la determinación de la viabilidad en semillas de «*Pinus Pinae*»: Test de tetrazolio e índigo carmín. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 17, 23-28.
- Besnier, F. (1989). *Semillas. Biología y tecnología*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Bewley, J.D. & Black, M. (1994) Seeds: *Physiology of development and germination*. New York, Plenum Press.
- Bewley, J.D. (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9, 1055–1066.
- Bhargava, A., Shukla, S. & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23,73-87.
- Brazil (2009). *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Equipe Técnica de Sementes e Mudás*. Regras para análises de sementes. Brasília, DF 398 p.



- Burrieza, H. P., López, F., M. P., & Maldonado, S. (2014). Analogous reserve distribution and tissue characteristics in quinoa and grass seeds suggest convergent evolution. *Frontiers in plant science*, 5, 546.
- Calle, M., Aguirre, G., Ugarte, M. L., & Gabriel, J. (2010). Efecto del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua. *Revista de Agricultura*, 62, 10-14.
- Cardenas, M. (1944). Descripción preliminar de las variedades de *Chenopodium quinoa* de Bolivia. *Revista de Agricultura*, 2, 13-26.
- Carvalho, N.M. & Nakagawa, J. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5 ed. Jaboticabal: Funep, 590p.
- Castellión, M. L. (2008). *Procesos de deterioro y mecanismos de protección y reparación involucrados en la pérdida diferencial de la viabilidad durante el almacenamiento en semillas de Chenopodium quinoa Willd.* Tesis doctoral.
- Castellión, M., Matiacevich, S., Buera, P. & Maldonado, S. (2010). Deterioro de proteínas y longevidad de semillas de quinua durante el almacenamiento a largo plazo. *Química de alimentos*, 121, 952-958.
- Ceccato, D., Delatorre, H., J., Burrieza, H., Bertero, D., Martinez, E., Delfino, I., & Castellión, M. (2014). *Fisiología de las semillas y respuesta a las condiciones de germinación. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura – FAO. Centre de Coperation Internationale en Recherche Agronomique Pour Le Développement - CIRAD.* pp. 153-166
- Chaudhary, N., Walia, S., Kumar, R. (2023). Functional composition, physiological effect and agronomy of future food quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 118.
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of seed science and technology* (4th ed.). Springer.
- da Costa, N. P., França Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Henning, A. A. & Pereira, J. (1998). Avaliação de metodologia alternativa para o teste de tetrazólio para sementes de soja. *Scientia Agricola*, 55, 305-312.



- de Jesus Souza, F. F., Devilla, I. A., Guimarã, R. T., Teixeira, I. R., & Spehar, C. R. (2016). Physiological quality of quinoa seeds submitted to different storage conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 11(15), 1299-1308.
- Dias, M. C. L. D. L., & Alves, S. J. (2008). Evaluation of the *Panicum maximum* Jacq seeds viability by the tetrazolium test. *Revista Brasileira de Sementes*, 30, 152-158.
- Díaz Cerón, R. (2009). "Pruebas de viabilidad y vigor en semillas de maíz (*Zea mays* l.) y su correlacion con la emergencia en campo." Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Dini, I., Tenore, G. C. & Dini, A. (2010). Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 447-451.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1),74-85.
- Ellis, R. H., Hong, T. D., Roberts, E. H., & Tao, K. L. (1990). Low moisture content limits to relations between seed longevity and moisture. *Annals of Botany*, 65(5), 493-504.
- FAO (2011). *Oficina Regional para América Latina y el Caribe. La quinua: cultivo milenário para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Bolivia.
- Fogaça, C. A., Malavasi, M. D. M., Zucareli, C., & Malavasi, U. C. (2006). Aplicação do teste de tetrazólio em sementes de *Gleditschia amorphoides* Taub. *Caesalpinaceae. Revista Brasileira de Sementes*, 28, 101-107.
- França-Neto, J.D.B., & Krzyzanowski, F.C. (2019). Tetrazolium: una prueba importante para la evaluación fisiológica de la calidad de las semillas. *Journal of Seed Science*, 41 (3), 359-366.
- Franzin, S. M., Menezes, N. L., Garcia, D. C., & Wrasse, C. F. (2004). Métodos para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface. *Revista Brasileira de Sementes*, 26(2), 63-69.



- García, F. J., Roselló, J., y Santamarina, P. (2006). *Introducción al funcionamiento de las plantas*. Valencia: Editorial de la UPV.
- Gomaa E (2014) Studies on some micro-macromorphological and anatomical characters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Plant. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10, 24-36.
- Gonzalez, I., Betancourt, M., Fuenmayor, A., Lugo, M. & GuanipaS, N. (2010). *Control de calidad para la producción de semillas forrajeras*. INIA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Estado Zulia. Argentina.
- Hernández, E. H. M., Coronado, A. C. M., & Ardila, W. L. R. (2020). Seed quality of 22 quinoa materials (*Chenopodium quinoa* Willd.) from the department of Boyacá. *Revista Ceres*, 67(4), 306-314.
- Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A., & Hatamleh, A. A. (2021). Botany, nutritional value, phytochemical composition and biological activities of quinoa. *Plants*, 10, 2258.
- INIA y otros. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Primera Edición. Editado por INIA. Impreso en Lima. 79 pp
- ISTA (2022) International rules for seed testing.
- ISTA. (2008). *International Seed Testing Association. Sampling. In: International rules for seed testing*. Ed. Bassersdorf.
- Jojoa, W.A., Peixoto, J.R., Spehar, C.R., Vilela, M.S., Fagioli, M., Nobrega, D., Cruz, J. & Oliveira, A. (2021). Evaluación de la calidad fisiológica de semillas de quinua. *Revista Africana de Investigación Agrícola*, 17(5), 802-808.
- Jyoti, C. & Malik, C.P. (2013). Seed deterioration: A review. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, 2(3), 373-385.
- Kovacec, E., Likar, M. & Regvar, M. (2016). Temporal changes in fungal communities from buckwheat seeds and their effects on seed germination and seedling secondary metabolism. *Fungal Biology*, 120, 666–678.



- Kozioł, M.J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5, 35-68.
- Maestro, P., Rojas, H., & Quispe, V. (2023). Evaluación de la viabilidad de semillas mediante la prueba de tetrazolio en cultivos altoandinos. *Revista Andina de Ciencias Agrarias*, 15(2), 45–54.
- Magnitskiy, S., & Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía colombiana*, 25, 96-103.
- Marca, V. S. (1993). *Estabelecimento da Metodologia para Análise de Semente de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd)*. Dissertacao de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliceu Maciel. Pelotas-RS- Brasil. 95 p.
- Marcos, F. J., Cícero, S.M. & Silva, W.R. (1987). *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba, San Pablo. Brasil. Fealq. 230 p.
- Marcos, F.J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas* (2ed.). Londrina, PR: Abrates.
- Matilla, A. (2013). *Desarrollo y germinación de las semillas*. En Azcón, J. and Talón, M. (Eds). *Fundamentos de fisiología vegetal* . España: Editorial Mcgraw-Hill Interamericana.
- Melgarejo, L. & Suárez, D. (2010). Biología y germinación de semillas. En L. Melgarejo, *Experiments in plant Physiology*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Melo, P. T. B. S., Schuch, L. O. B., Assis, F. N. D. & Concenço, G. (2006). Comportamento individual de plantas originadas de sementes com diferentes níveis de qualidade fisiológica em populações de arroz irrigado. *Revista Brasileira de Sementes*, 28, 84-94.
- Mercado, S. A. S., Caleño, J. D. Q. & Rozo, L. Y. M. (2020). Improvement of the methodology of the tetrazolium test using different pretreatments in seeds of the genus *Epidendrum* (Orchidaceae). *Journal of Seed Science*, 42, e202042013.



- Mercado, S. A. S., Caleño, J. D. Q. & Suárez, J. P. R. (2020). Cytogenotoxic effect of propanil using the *Lens culinaris* Med and *Allium cepa* L test. *Chemosphere*, 249, 126193.
- MINAGRI. (2020). Análisis de mercado de quinua 2015-2020.
- Minga, H. L. (2022). *Evaluación de la calidad fisiológica de semillas de amaranto y quinua bajo condiciones de envejecimiento artificial* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). Wiley.
- Moreno M., E. (1996). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa universitario de alimentos*. Tercera edición. UNAM. México.
- Mujica, A. (1997). *Cultivo de quinua*. Editado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Impreso en Lima.
- Niño-Hernández, L. M., González-Hernández, V. A., & Rodríguez-Castillo, J. (2020). Estandarización de la prueba de tetrazolio en semillas de especies agrícolas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1), 55–65.
- Orsini, F., Accorsi, M., Gianquinto, G., Dinelli, G., Antognoni, F., Carrasco, K. B. R., Martinez, E. A., Alnayef, M., Marotti, I., Bosi, S. & Biondi, S. (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology*, 38(10), 818-831.
- Park, S.H., Ahn, J.B. & Kang, D.H. (2018). Inactivation of foodborne pathogens on alfalfa and radish seeds by sequential treatment with chlorine dioxide gas and dry heat. *Food Control*, 85, 253–258.
- Pathan, S. & Siddiqui, R.A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Greens: A Review. Nutrients*, 14, 3: 558.
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. (1a ed.). Buenos Aires: Editorial hemisferio sur.
- Pérez, L., Hernández, A., González, F., Garcia de los Santos, G., Carballo, A., Vásquez,



- Pérez, M. C., Hernández, L.A., González, C. F. V., García, S.G., Carballo, C.A., Vásquez, R.T. R. & Tovar, G.M. D. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352.
- Pessaraki, M. (2016). *Handbook of plant and crop physiology* (3rd ed.). CRC Press.
- Pinto, M. Rojas, W. (2013). Descenso de la germinación de la semilla por grupos diferenciados en la colección de germoplasma de quinua de 99 Bolivia. En Vargas, M. (Ed). Congreso científico de la quinua (Memorias) (pp. 65-77). Bolivia: GrafikaLeal.
- Pita, J., & Pérez, F. (2013). Germinacion De Semillas Ministerio Deagricultura Pescayalimentación Secretaria General tecnica. Hojas Divulgadoras, 2090(5), 20.
- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481-488.
- RAS Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS. 399 p.
- Rodrigues, D. B., Cavalcante, J. A., Almeida, A. S., Nunes, C. A., Serrao, A. F. A., Konzen, L. H., & Tunes, L. V. D. (2020). Seed morphobiometry, morphology of germination and emergence of quinoa seeds ‘BRS Piabiru’. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20181313.
- Romero, G., Heredia, A., & Chaparro-Zambrano, H. N. (2018). Potencial germinativo en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) almacenadas en condiciones frescas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 341–350.
- Sakira, G., Amruta, N., Kandikattu, H.K., Basavaraju, G.V., Suma, H.K., Manjunath, B.L., Sravani, C.H. (2019). Chemical profiling of camptothecin and methoxy camptothecin in *Nothapodytes nimmoniana* Grah. (Mabb.) during seed development, seed germination and their effects on seed-borne pathogens. *South African Journal of Botany*, 123, 113–123.



- Salazar, M. S. A. & Botello, D. E. A. (2018). Viabilidad de semillas de *Glycine max* (L.) utilizando la prueba de tetrazolio. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 9, 89-98.
- Salazar, M. S. A., Amaya, N. A. Z. & Barrientos, R. F. (2013). Evaluation of different in vitro culture media in the development of Phalaenopsis hybrid (Orchidaceae). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 97-105.
- Salazar, M. S. A., Botello, D. E. A. & Quintero, C. J. D. (2019). Pre-treatments effect on the tetrazolium test on *Epidendrum barbaricum* Hágsater & Dodson seeds. *Acta Agronómica*, 68(4), 306-311.
- Salazar, M. S. A., Quintero, C. J. D. & Bustos, U. V. J. (2020). Implementación de la prueba de tetrazolio en las semillas de *Raphanus sativus* L. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 15, 7-15.
- Sampayo, M. S., Castillo, M.C. R., Jiménez, C. M., Sánchez, M. V., Jasso, M. J. & López, U. J. (2017). Germinación *in vitro* de semillas de *Cedrela odorata* L. de genotipos extintos. *Agroproductividad*, 10(8): 53-58.
- Sanchez, F. (2014). Proyecto de factibilidad de inversión privada para la instalación de un semillero de quinua.
- Schuch, L. O. B., Nedel, J. L., Assis, F. D. & Maia, M. S. (1999). Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. *Revista Brasileira de Sementes*, 21(1), 229-234.
- Sigstad, E. E. & Prado, F.E.A. (1998). Microcalorimetric study of *Chenopodium quinoa* Willd. seed germination. *Themochim. Acta*, 326, 159-164.
- Sigstad, E.E., Garcia, CL. (2001). A microcalorimetric analysis of quinoa seeds with different initial water content during germination at 25°C. *Themochim. Acta* 366, 149-155.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1988). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. McGraw-Hil.



- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic, R.D.M.O., Jacobsen, S.E. & Milavonic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *J. Cereal Sci*, 55, 132-138.
- Strenske, A., Vasconcelos, E. S. D., Egewarth, V. A., Herzog, N. F. M. & Malavasi, M. D. M. (2017). Responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds stored under different germination temperatures. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(1), 83-88.
- Tapia, M. (1979). *Historia y distribución geográfica. En: Quinoa y la Kañihua: Cultivos andinos*. Editado por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. Impreso en Bogotá. pp. 12.
- Toderich, K., Kravtsova, T., Gasimova, K., Alizade, V., Yakovleva, O. & Ozturk, M. (2023). Seed heteromorphism and germination in *Chenopodium quinoa* Willd. related to crop introduction in marginalized environments. *Pak. J. Bot*, 55(4), 1459-1475.
- United States Government. (2023). *Chenopodium quinoa* Willd. Integrated Taxonomic Information System (ITIS).
- Valenzuela, A., Martinez, A. & Medina, A. (2000). Producción de semilla de trigo en el valle de Mexicali y San Luis. INIAF-CEMEXI, CIR-NORESTE, México
- Vargas, A., Pérez, M. & Rojas, L. (2015). Evaluación de la viabilidad de semillas mediante la prueba de tetrazolio en especies andinas. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrícolas*, 42(3), 120–128.
- Weitbrecht, K., Müller, K. & Leubner, M. G. (2011). Lo primero: germinación temprana de las semillas. *Revista de Botánica Experimental*, 62, 3289 – 3309.
- Granado, C. F., López, R. J., & Salas, M. A. (2022). Evaluación de la viabilidad y vigor de semillas mediante métodos bioquímicos. *Agrociencia Latinoamericana*, 36(2), 112–120.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Pruebas físicas

**Tabla 13**

*Resultado de análisis de pureza física de semillas de tres variedades de quinua*

Variedad	Componentes del análisis de pureza (%)		
	Semilla pura	Otras semillas	Materia inerte
Salcedo INIA	96.5	1.83	1.67
INIA 415- Pasankalla	95.5	2.87	1.63
Kankolla	94.58	2.09	3.33

**Tabla 14**

*Resultado de la prueba de germinación de semillas de tres variedades de quinua*

SALCEDO-INIA	Repeticiones				Germinación (%)
	I	II	III	IV	
Plantas normales	90	93	90	92	91.25
Plantas anormales	10	7	8	6	7.75
Semillas no germinadas	0	0	2	2	1
INIA 415-PASANKALLA	Repeticiones				Germinación (%)
	I	II	III	IV	
Plantas normales	93	93	94	93	93.25
Plantas anormales	7	7	6	6	6.5
Semillas no germinadas	0	0	0	1	0.25
KANKOLLA	Repeticiones				Germinación (%)
	I	II	III	IV	
Plantas normales	95	93	95	90	93.25
Plantas anormales	5	7	5	7	6.0
Semillas no germinadas	0	0	0	3	0.75

**ANEXO 2.** Tablas de ANOVA**Tabla 15**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) para variedad Salcedo-INIA en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura para coloración*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	26	1149.162	44.199	76.199	< <b>0.0001</b>
Concentración	2	651.830	325.915	561.880	< <b>0.0001</b>
Horas	2	227.658	113.829	196.242	< <b>0.0001</b>
Temperatura	2	74.910	37.455	64.573	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas	4	98.969	24.742	42.656	< <b>0.0001</b>
Concentración*Temperatura	4	13.904	3.476	5.993	<b>0.000</b>
Horas*Temperatura	4	64.098	16.025	27.627	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas*Temperatura	8	17.793	2.224	3.834	<b>0.001</b>
Error	81	46.984	0.580		
Total corregido	107	1196.146			

CV:1.06%

**Tabla 16**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) de la variedad Pasankalla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	26	1071.070	41.195	60.468	< <b>0.0001</b>
Concentración	2	546.352	273.176	400.981	< <b>0.0001</b>
Horas	2	188.692	94.346	138.486	< <b>0.0001</b>
Temperatura	2	136.861	68.431	100.446	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas	4	131.472	32.868	48.245	< <b>0.0001</b>
Concentración*Temperatura	4	24.666	6.166	9.051	< <b>0.0001</b>
Horas*Temperatura	4	27.802	6.950	10.202	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas*Temperatura	8	15.225	1.903	2.794	<b>0.009</b>
Error	81	55.183	0.681		
Total corregido	107	1126.253			

CV:1.15%



**Tabla 17**

*Análisis de varianza para la viabilidad de la semilla (%) de la Kankolla en función de concentración de tetrazolio, horas de exposición y temperatura*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	26	1098.503	42.250	71.534	< <b>0.0001</b>
Concentración	2	613.405	306.703	519.283	< <b>0.0001</b>
Horas	2	184.643	92.322	156.311	< <b>0.0001</b>
Temperatura	2	116.085	58.043	98.273	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas	4	81.953	20.488	34.689	< <b>0.0001</b>
Concentración*Temperatura	4	22.425	5.606	9.492	< <b>0.0001</b>
Horas*Temperatura	4	56.520	14.130	23.924	< <b>0.0001</b>
Concentración*Horas*Temperatura	8	23.472	2.934	4.968	< <b>0.0001</b>
Error	81	47.841	0.591		
Total corregido	107	1146.344			

CV:1.07%

### ANEXO 3. Tablas de resultados de mediciones

**Tabla 18**

*Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad*

*Salcedo-INIA.*

Concentración	0.1									0.5									1											
	2			3			4			2			3			4			2			3			4					
Horas	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3
Temperatura	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0
Repetición	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mínimo	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Máximo	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Media	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Desviación estándar	1.0	0.9	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0

**Tabla 19**

*Valores consolidados para variedad Salcedo-INIA*

Concentración	0.1	0.5	1
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.33	68.03	71.46
Máximo	71.56	73.57	81.87
Media	68.74	71.11	74.72
Desviación estándar	1.49	1.38	3.38



Horas	2	3	4
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.33	68.03	66.33
Máximo	71.56	75.82	81.87
Media	69.78	71.46	73.33
Desviación estándar	1.86	2.42	4.28
Temperatura	20	25	30
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.33	66.42	67.93
Máximo	75.82	78.46	81.87
Media	70.54	71.44	72.58
Desviación estándar	2.59	3.10	3.97

**Tabla 20**

*Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad Pasankalla.*

Concentración	0.1									0.5									1											
	2			3			4			2			3			4			2			3			4					
Horas	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3
Temperatura	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0
Repetición	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mínimo	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	7	7	6	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
	6.	8.	9.	6.	8.	9.	8.	9.	1.	8.	9.	9.	9.	1.	1.	9.	1.	3.	9.	9.	3.	3.	3.	3.	5.	3.	8.	1.		
	4	0	7	4	0	7	0	7	6	0	7	7	7	6	6	7	6	6	7	6	7	7	6	6	6	6	8	6	5	9
Máximo	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	1.	1.	1.	1.	9.	1.	1.	3.	1.	3.	1.	1.	3.	3.	3.	3.	5.	5.	8.	1.		
	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	5	9
Media	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
	8.	8.	9.	8.	8.	9.	8.	9.	1.	0.	0.	1.	9.	1.	1.	0.	1.	3.	0.	0.	3.	3.	3.	3.	5.	4.	8.	1.		
	1	5	7	5	7	9	5	7	6	2	2	1	7	6	6	6	6	7	6	6	2	2	2	6	6	6	8	7	5	9
Desviación estándar	1.	0.	0.	1.	1.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	0.
	4	9	0	6	0	0	9	0	0	7	9	9	0	0	0	0	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

**Tabla 21**

*Valores consolidados para variedad Pasankalla*

Concentración	0.1	0.5	1
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.42	68.03	69.73
Máximo	71.56	73.57	81.87
Media	69.23	71.13	74.66
Desviación estándar	1.29	1.38	3.61
Horas	2	3	4
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.42	66.42	68.03
Máximo	73.57	75.82	81.87
Media	70.19	71.43	73.40
Desviación estándar	1.75	2.44	4.22

Temperatura	20	25	30
Observaciones	36	36	36
Mínimo	66.42	68.03	69.73
Máximo	75.82	78.46	81.87
Media	70.45	71.40	73.17
Desviación estándar	2.45	2.98	3.65

**Tabla 22**

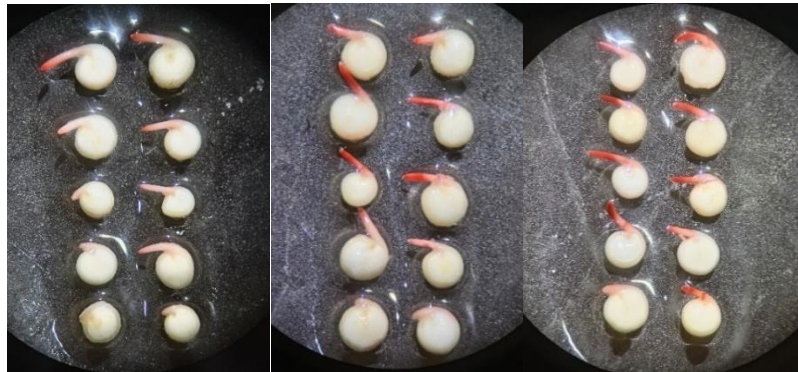
*Estadística descriptiva de viabilidad de semilla (%) según factores de estudio, variedad Kancolla.*

Concentración	0.1									0.5									1								
	2			3			4			2			3			4			2			3			4		
Horas	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3
Temperatura	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0
Repetición	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mínimo	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7
	8.	8.	8.	8.	8.	9.	6.	9.	1.	8.	9.	9.	9.	1.	1.	9.	1.	3.	1.	9.	1.	1.	3.	5.	3.	8.	1.
	0	0	0	0	0	7	4	7	6	0	7	7	7	6	6	7	6	6	6	7	6	6	6	8	6	5	9



#### ANEXO 4. Evidencias fotográficas

Semillas de quinua de las variedades Salcedo INIA, Pasankalla y Kankolla, sometidas a diferentes concentraciones de tetrazolio, tiempo y temperatura.



SI-20°C-2H-0.1%

SI-20°C-2H-0.5%

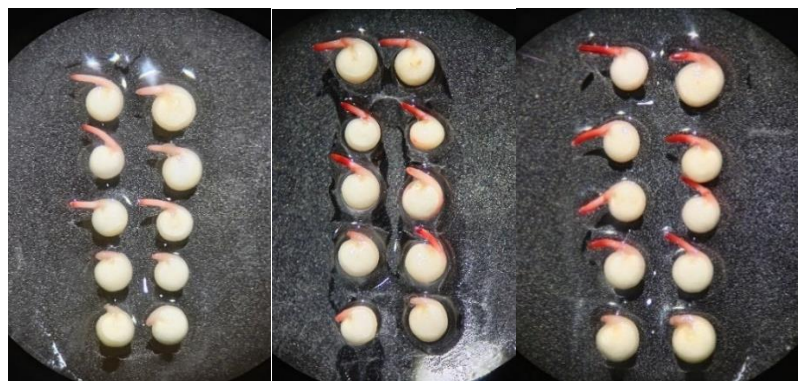
SI-20°C-2H-1%



PK-20°C-2H-0.1%

PK-20°C-2H-0.5%

PK-20°C-2H-1%



K-20°C-2H-0.1%

K-20°C-2H-0.5%

K-20°C-2H-1%+

Semillas de quinua variedades Salcedo INIA, Pasankalla y Kankolla expuestas a valores menores de solución de tetrazolio, temperatura y tiempo.



SI-30°C-4H-0.1%

SI-30°C-4H-0.5%

SI-30°C-4H-1%



PK-30°C-4H-0.1%

PK-30°C-4H-0.5%

PK-30°C-4H-1%



K-30°C-4H-0.1%

K-30°C-4H-0.5%

K-30°C-4H-1%

Semillas de quinua variedades INIA Salcedo Pasankalla y Kankolla expuestas a valores mayores de solución de tetrazolio, temperatura y tiempo.



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

Por el presente documento, Yo VICTOR HUGO ILAQUIITA FLORES,  
identificado con DNI 43152381 en mi condición de egresado de:

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

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

“ EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA  
(Chenopodium quinoa Willd) MEDIANTE LA PRUEBA TOPOGRÁFICA DE  
TETRAZOLIO Y LA PRUEBA DE GERMINACION ”

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 26 de MAYO del 2025

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo VICTOR HUGO JLAGUITA FLORES,  
identificado con DNI 43152381 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA AGRONOMICA

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

“ EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA  
(Chenopodium quinoa Willd) MEDIANTE LA PRUEBA TOPOGRÁFICA DE  
TETRAZOLIO Y LA PRUEBA DE GERMINACIÓN ”

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 26 de MAYO del 20 25

  
FIRMA (obligatoria)



Huella