

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD EN LAS SEMILLAS DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa*) BAJO EL USO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DEL  
TETRAZOLIO Y TIEMPO DE TINCIÓN

PRESENTADO POR:

GONZALO SANTOS COLQUEHUANCA NINA

LA PAZ – BOLIVIA  
2024

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD EN LAS SEMILLAS DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa*) BAJO EL USO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DEL  
TETRAZOLIO Y TIEMPO DE TINCIÓN**

*Tesis de grado presentado como requisito  
parcial para optar el Título de  
Ingeniero Agrónomo*

**GONZALO SANTOS COLQUEHUANCA NINA**

**ASESORES:**

**Ing. M.Sc. Hugo Daniel Bosque Sanchez** .....

**Ing. Rodrigo Quispe Pérez** .....

**COMITÉ REVISOR:**

**Ph.D. Alejandro Bonifacio Flores** .....

**Ph.D. Carmen Rosa Del Castillo Gutierrez** .....

**Ing. M.Sc. Ruben Jacobo Trigo Riveros** .....

**APROBADA**

*Vo.Bo.* -----

## DEDICATORIA

*A Dios Quien hizo posible la  
Culminación de mí  
Carrera pese a las complicaciones  
que siempre se presenta en la vida  
(Lento pero seguro)*

*Muy feliz y agradecido  
Dedico este trabajo de investigación a todos y cada uno de mis seres queridos  
A mis padres: **Moisés Colquehuanca Condori e Isidora Nina Mamani (+)**  
Por todo el esfuerzo, apoyo y comprensión.  
A mis queridos herman@s  
Wily, Rosa y Martha por el  
apoyo moral y psicológico que me brindaron  
para que conduzca mi camino  
a la disciplina, obediencia  
y firmeza.  
Por su aliento y cariño en todo momento.*

## AGRADECIMIENTOS

*En principio tengo el grato de agradecer a Nuestro bendito Padre Jehová Dios quien fue la razón de mi existencia y protagonista para que pueda conseguir mis más añorados deseos y logros exitosos con mucha humildad, sencillez y dedicación dejando por detrás la falta de atención y empeño de hacer las cosas a su debido tiempo, estoy encantado y feliz por todo lo bueno que conseguí y lo que me enseñaron en mi formación como profesional. Quedo infinitivamente agradecido en esta casa de estudio...*

*Asimismo, quedo muy agradecido a la prestigiosa casa de estudios de la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, al Sr. Decano Ing. M.Sc. Felix F. Manzaneda Delgado, Sr. Vicedecano Ing. Ph.D. Roberto Miranda Casas Sr. Director de Carrera Ing. M.Sc. Ruben Tallacagua Terrazas y a los docentes, por todas las doctrinas impartidas durante mi formación académica.*

*Agradezco de todo corazón a todas aquellas personas que colaboraron y formaron parte de mi trabajo de investigación y especialmente:*

- *A mis distinguidos revisores Ing. Ph.D. Alejandro Bonifacio Flores, Ing. Ph.D. Carmen Rosa Del Castillo Gutierrez e Ing. M.Sc. Ruben Jacobo Trigo Riveros de los cuales recibí mucha atención para la corrección de mi trabajo de investigación (Tesis), además acepte con mucha responsabilidad y seriedad los sabios consejos que me impartieron en la puntualidad del trabajo de investigación.*
- *A mis distinguidos asesores Ing.Msc. Hugo Daniel Bosque Sanchez e Ing. Rodrigo Quispe Pérez por toda colaboración y asesoramiento que pude recibir mostrándose como verdaderos ejemplos a seguir en la vida.*
- *Al distinguido Ing.Msc. Hugo Daniel Bosque Sanchez por facilitarme el laboratorio de fisiología vegetal*
- *A mis amigos que me colaboraron con su ayuda su tiempo su comprensión Por todo el tiempo convivido en los años de estudio, las palabras de aliento, los consejos, las alegrías y experiencias compartidas*
- *A la familia Burgoa Esprella quienes son como mi familia en especial a la Sra. Gladys Esprella E. a quien le llevare siempre en el corazón el apoyo que me brindó, definitivamente es una madre mas en la vida que tengo por delante.*

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes .....	2
1.2	Justificación.....	3
2	OBJETIVOS.....	5
2.1	Objetivo General .....	5
2.2	Objetivos Específicos .....	5
2.3	Hipótesis .....	5
3	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1	El Cultivo de la Quinoa.....	5
3.2	Historia de la Quinoa.....	6
3.3	Origen y distribución.....	6
3.4	Importancia de la Quinoa .....	6
3.5	Principales Departamentos de Producción de Quinoa en Bolivia .....	8
3.6	Clasificación taxonómica de la Quinoa.....	10
3.7	Características de la Quinoa .....	11
3.7.1	Características botánicas de la Quinoa .....	11
3.7.2	Características morfológicas de la semilla.....	12
3.8	Variedades cultivadas de Quinoa .....	13
3.9	Categorías de semillas.....	16
3.9.1	Semilla genética: .....	16
3.9.2	Semilla pre-básica: .....	16
3.9.3	Semilla básica:.....	16
3.9.4	Semilla registrada: .....	17
3.9.5	Semilla certificada:.....	17
3.10	Tipos de almacenamiento de semillas .....	17
3.10.1	Almacenamiento artesanal de las semillas .....	17

3.10.2	Almacenamiento controlado corto de las semillas .....	18
3.10.3	Almacenamiento controlado prolongado de las semillas .....	18
3.10.4	Almacenamiento para bancos de germoplasma de semillas .....	19
3.11	Almacenamiento de las semillas .....	20
3.11.1	Almacenamiento de semillas ortodoxas .....	20
3.11.2	Almacenamiento de semillas recalcitrantes .....	21
3.11.3	Almacenamiento de semillas intermedias.....	22
3.12	Germinación.....	22
3.13	Viabilidad.....	23
3.14	Conservación de recursos Fitogenéticos .....	24
3.15	Conservación ex situ – in situ.....	24
3.16	Bancos de Germoplasma.....	25
3.17	Conservación de Germoplasma.....	26
3.18	Características del Tetrazolio .....	26
3.19	Composición química del Tetrazolio .....	27
3.20	Ventajas y desventajas del Tetrazolio.....	27
3.20.1	Ventajas del Tetrazolio .....	27
3.20.2	Desventajas del Tetrazolio .....	28
4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
4.1	Localización .....	29
4.2	Materiales.....	30
4.2.1	Material vegetal .....	30
4.2.2	Material del laboratorio .....	30
4.2.3	Material químico o reactivo .....	31
4.2.4	Material de escritorio .....	31
4.3	Métodos .....	31
4.3.1	Tipo de investigación .....	31

4.3.2	Desinfección de los materiales .....	32
4.3.3	Preparación de las soluciones de Tetrazolio.....	32
4.3.4	Acomodado del algodón en las cajas Petri .....	33
4.3.5	Intervalos de tiempo tinción con Tetrazolio .....	34
4.3.6	Distribución de las semillas sumergidas en cajas Petri .....	34
4.3.7	Conteo de las semillas viables y no viables.....	35
4.4	Diseño experimental.....	36
4.4.1	Modelo estadístico .....	36
4.5	Variables de respuesta.....	37
4.5.1	Porcentaje de viabilidad.....	37
4.5.2	Porcentaje de germinación .....	37
4.6	Tratamientos .....	38
4.7	Croquis del Experimento .....	38
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
5.1	Concentración de Tetrazolio .....	39
5.2	Porcentaje de semillas viables de Quinoa.....	40
5.3	Porcentaje de semillas germinadas de Quinoa .....	44
5.4	Relación entre porcentaje de viabilidad y porcentaje de germinación de quinoa .....	50
6	CONCLUSIONES .....	52
7	RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS.....	53
8	BIBLIOGRAFÍA.....	54
9	ANEXOS.....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características botánicas de la Quinua. ....	11
Cuadro 2. Variedades de quinua en Bolivia obtenidas mediante mejoramiento genético.....	14
Cuadro 3. Variedades nativas de Quinua Real del altiplano sur, purificadas mediante selección masal .....	15
Cuadro 4. Descripción del número de unidades experimentales .....	37
Cuadro 5. Repeticiones de los tratamientos.....	38
Cuadro 6. Descripción de los factores.....	38
Cuadro 7. Distribución de los factores de estudio .....	39
Cuadro 8. Descripción de los factores dentro del croquis experimental .....	39
Cuadro 9. Número de semillas viables de quinua en relación a los factores (A y B).....	40
Cuadro 10. Análisis de Varianza para la variable porcentaje de semillas viables de quinua.....	41
Cuadro 11. Comparación de medias del factor A y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de semillas viables de quinua. ....	42
Cuadro 12. Comparación de medias del factor B y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de semillas viables de quinua. ....	43
Cuadro 13. Número de semillas germinadas de quinua en relación a los factores (A y B).....	45
Cuadro 14. Análisis de Varianza para la variable porcentaje de semillas germinadas de quinua.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Cuadro 15. Comparación de medias del factor A y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de germinación en las semillas de quinua	46
Cuadro 16. Comparación de medias del factor B y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje semillas germinadas de quinua.....	47



Cuadro 17. Correlación entre los resultados de viabilidad y germinación en semillas de quinua.....	50
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de Quinoa y tasa de crecimiento por año agrícola (en toneladas métricas y en porcentaje) en Bolivia .....	7
.....	7
Figura 2. Producción de Quinoa según principales Departamentos (toneladas métricas) en Bolivia .....	10
Figura 3. Composición química del Tetrazolio .....	27
La figura 4 presenta la ubicación donde se realizó el trabajo de investigación.	29
Figura 4. Localización del trabajo de investigación .....	29
Figura 5. Semillas de Quinoa de la Estación Experimental Choquenaira. ....	30
Figura 6. Desinfección y secado de los materiales del laboratorio .....	32
Figura 7. Soluciones del Tetrazolio 0,10%, 0,50% y 0,90%.....	33
Figura 8. Cajas con algodón para diferentes soluciones de Tetrazolio.....	33
Figura 9. Soluciones de tetrazolio con los tiempos de tinción de 10, 20 y 30 minutos.....	34
Figura 10. Distribución de las semillas sumergidas con la solución del tetrazolio en las cajas Petri .....	35
Figura 11. a) Microscopio                      b) Semillas viables y no viables.....	35
Figura 12. Promedios de la variable porcentaje de semillas viables de quinoa. ....	44
.....	44
Figura 13. Promedios de la variable porcentaje de semillas germinadas de quinoa .....	48
.....	48
Figura 14. Promedio general de las variables porcentaje de semillas viables y porcentaje de semillas germinadas de la quinoa.....	49

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de la materia de fisiología vegetal, en predios de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, del Departamento de La Paz. El cultivo objeto de estudio fue la quinua, uno de los más importantes en el Altiplano boliviano, porque es un alimento de alta calidad nutricional e indispensable desde el punto de vista socioeconómico para la población local porque genera ingreso económico para las familias productoras y se constituye en parte de su seguridad alimentaria. En este sentido, la investigación ha consistido en la utilización de Tetrazolio en tres concentraciones (0.10%, 0.50% y 0.90%) con tres tiempos de tinción o sumersión (10, 20 y 30 minutos) de las semillas de quinua, con la finalidad de determinar la viabilidad de las mismas. Esta prueba consiste en observar la tinción del embrión, siendo que los que presentan coloración rosada demuestran que la semilla es viable porque el embrión está vivo. Para la parte experimental se han utilizado 50 semillas en cada caja Petri con cuatro repeticiones, un total de 36 Unidades Experimentales. Una vez finalizada las pruebas, se hizo la observación de las semillas de todos los tratamientos al microscopio, distinguiéndose los vivos de color rosado y los no viables sin coloración.

Según los resultados obtenidos de la investigación la solución de Tetrazolio con concentración de 0.90% y con un tiempo de tinción o sumersión de 30 y 20 minutos obtuvieron media de 99% mientras que la concentración de 0.50% está entre 82 y 93% en el porcentaje de semillas viables. Asimismo, la solución de Tetrazolio con concentraciones de 0.10% con un tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos obtienen una media entre 51% y 68% en el porcentaje de semillas viables en las semillas de quinua, esto debido a la aplicación de bajas concentraciones y un tiempo de tinción menor.

## SUMMARY

The present research was carried out in the facilities of the plant physiology laboratory, on the premises of the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés, in the Department of La Paz. The crop under study was quinoa, one of the most important in the Bolivian highlands, because it is a food of high nutritional quality and essential from the socioeconomic point of view for the local population because it generates economic income for the producing families and constitutes in part of their food security. In this sense, the research has consisted of the use of Tetrazolium in three concentrations (0.10%, 0.50% and 0.90%) with three staining or immersion times (10, 20 and 30 minutes) of the quinoa seeds, with the purpose to determine their viability. This test consists of observing the staining from the seed, and those with pink color demonstrate that the seed is viable. For the experimental part, 50 seeds in each Petri dish with four repetitions, a total of 36 Experimental units. Once the tests were completed, the seeds of all treatments were observed under a microscope, distinguishing the live ones with pink color and the non-viable ones without color.

According to the results obtained from the research, the Tetrazolium solution with a concentration of 0.90% and with a staining or immersion time of 30 and 20 minutes obtained averages of 100% while the concentration of 0.50% is between 82 and 93% in percentage. Likewise, the Tetrazolium solution with concentrations of 0.10% with a staining time of 10, 20 and 30 minutes obtain an average between 51% and 68%, in the percentage of viable seeds in quinoa seeds, this due to the application of low concentrations and a time of minor staining.

## 1 INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), es uno de los cultivos más importantes para el poblador de la región altiplánica de nuestro país. Sus propiedades nutricionales son excepcionales, principalmente por el contenido de aminoácidos esenciales y ser un grano sin gluten, a lo que se añade su versatilidad para adaptarse a diferentes condiciones agro-ambientales por la inmensa diversidad genética que presenta. En la actualidad, para el productor altiplánico tiene singular importancia cultural y socioeconómica, ya que es casi el único producto que le genera ingresos económicos dentro de los diversos cultivos que maneja en el medio ambiente local.

El interés de realizar investigaciones en diversas temáticas sobre este cultivo es muy alto, porque existe el reto de incrementar la producción de alimentos de calidad para alimentar a la población mundial frente al cambio climático y es una alternativa importante para aquellos países que sufren de inseguridad alimentaria.

Uno de los aspectos determinantes en el proceso productivo de cualquier cultivo es la calidad de las semillas, que son primordiales en la productividad e índices de la cosecha. En este sentido, tal como afirma la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las semillas constituyen uno de los pilares básicos para el desarrollo y futuro de la agricultura.

La calidad de las semillas se determina por cuatro factores principales, como la procedencia u origen, pureza, viabilidad y vigorosa. Las semillas con alta viabilidad aseguran un buen establecimiento del cultivo.

Para evaluar la viabilidad de semillas, generalmente se efectúan pruebas de germinación y otras indirectas como el uso de ciertos reactivos químicos como es la prueba del Tetrazolio que consiste en la actividad de las enzimas deshidrogenasas que reducen esta sal, que concretamente es el cloruro 2, 3, 5-trifeniltetrazolio. Consiste en que los tejidos vivos de la semilla, al generar trifenil formazan, muestran una coloración rojiza no difusible, lo cual indica actividad respiratoria y por ende la viabilidad de las células de los tejidos; por el contrario, los

tejidos muertos no presentan coloración (Campos Amoedo & Kossmann Ferraz, 2017).

La productividad de un cultivo depende principalmente de la calidad de las semillas obtenidas por el agricultor, considerando la importancia de esta variable se han desarrollado pruebas como el test de tetrazolio, que es uno de los principales métodos de evaluación de viabilidad de la semilla, entre las múltiples ventajas que ofrece este ensayo sobre las pruebas de germinación, se encuentra la evaluación el estado físico y fisiológico del embrión de la semilla, los costos son bajos y el test se lleva a cabo en poco tiempo y en ocasiones es posible concluir por qué la semilla ha perdido su viabilidad, aunque se debe tener en cuenta la germinación como aspecto de vital importancia para el mantenimiento de una especie, siendo éste influenciado por una serie de factores internos y externos (Botello, 2018).

Para que los resultados de la prueba sean propicios, la absorción del tetrazolio debe ser adecuada; por lo tanto, las semillas deben ser pre- embebidas en agua para activar el metabolismo enzimático, antes de sumergirse en la solución de tetrazolio; después de este preacondicionamiento, muchas especies necesitan técnicas preparatorias como la punción o remoción del tegumento (Botello, 2018).

Por lo tanto, esta prueba sería de mucha utilidad para determinar la viabilidad de las semillas de quinua, la viabilidad de semillas se determinaría con rapidez en grandes cantidades de muestras en menor tiempo y costos reducidos.

## **1.1 Antecedentes**

Por la crisis climática actual y latente, existe la tendencia a reducir la base de la seguridad alimentaria global a solo unas cuantas especies, lo que configura un peligro para las futuras generaciones.

Ante esta situación, amerita dar una atención especial a los bancos de germoplasma que cuentan con colecciones importantes de cultivos especialmente resilientes al cambio climático, como son los granos andinos, entre ellos la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y la cañahua (*Chenopodium pallidicaule*).

En nuestro país, la colección de germoplasma vegetal más importante, de carácter nacional y del Estado, está a cargo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), sin embargo, existen bancos de germoplasma que son manejados por instituciones privadas y también académicas, como es el caso de la Estación Experimental de Choquenaira dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, que se encuentra en el Altiplano, municipio de Viacha de la Provincia Ingavi del Departamento de La Paz.

Este Banco de Germoplasma, cuenta con colecciones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), amaranto y tarwi (*Lupinus mutabilis*), cuya gestión es importante por la razón que señalamos al inicio de este acápite, siendo una de las prácticas comunes el control periódico de la viabilidad de las semillas almacenadas.

Por otra parte, existe la tendencia a reducir la base de la seguridad alimentaria global a solo unas pocas especies, reduciendo de esta forma el crecimiento económico, y por ende se están limitando los medios de vida de la población rural de escasos recursos, particularmente en áreas marginales. Esta disminución en la disponibilidad de especies usadas en la agricultura (Rojas, Soto, Pinto, Jager, & Padulosi, 2010).

Las semillas tratadas con sales de tetrazolio están basadas en la actividad de sistemas de enzimas, relacionadas con la actividad respiratoria de los sistemas biológicos, capaces de catalizar las reacciones durante el glicólisis y el ciclo de Krebs, tornándose inactivas con la pérdida de viabilidad de los tejidos. Las semillas con coloración rojo claro a intenso, los tejidos muertos no tienen coloración.

## **1.2 Justificación**

Actualmente, el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental de Choquenaira cuenta con colección de semillas de quinua, todo este material requiere de su validación en cuanto a la viabilidad de las semillas, y este trabajo, por el método tradicional, utilizando germinadores, sería costoso tanto en tiempo como en recursos económicos.

La gestión de un Banco de germoplasma, requiere métodos de análisis de calidad de semillas rápidos, siendo tetrazolio uno de los más grandes descubrimientos y aún poco aprovechado.

El Tetrazolio constituye una herramienta de gran utilidad, no solamente en un Banco de Germoplasmas, sino también para productores de semillas, clasificadores y comerciantes ya que pueden ayudar en decisiones que deben ser tomadas rápidamente.

A pesar de que la germinación en quinua y cañahua es relativamente muy corta, para el análisis de un número grande de muestras, será de mucha utilidad la estandarización, en cuanto a la concentración ideal y las otras variables.

A pesar de la importancia de la conservación de las semillas de quinua y cañahua, existen pocas investigaciones en torno a sus características de calidad (viabilidad), característica que expresa la capacidad potencial de germinación de las semillas, ya que otorgan mayores beneficios económicos. Es por ello necesario conocer el comportamiento de las semillas de quinua y cañahua.

Por otro lado, la descripción de la morfología de la semilla nos permite conocer las características peculiares de las semillas. Considerando las limitantes expuestas es necesario realizar estudios acerca de estas características para tener un mejor conocimiento aplicando el método del tetrazolio, en las semillas de quinua para determinar la concentración, temperatura optima del tetrazolio, asimismo se logra saber el porcentaje de viabilidad y germinación de las semillas en estudio.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Determinar la viabilidad en las semillas de quinua bajo el uso de diferentes concentraciones del tetrazolio al 0.10%, 0.50% y 0.90%, tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos para obtener una concentración y tiempo de tinción adecuada.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la concentración óptima del tetrazolio en la determinación de la viabilidad en semillas de quinua.
- Establecer el tiempo de tinción óptimo en semillas de quinua, para determinar la viabilidad.

### **2.3 Hipótesis**

**Ha:** La aplicación del método del tetrazolio y tiempo de tinción en las semillas de quinua si tienen efecto para determinar la viabilidad.

## **3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 El Cultivo de la Quinua**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ha sido cultivada por más de 7000 años, domesticada, conservada y considerada como un alimento básico por las culturas indígenas de la región andina, quienes lograron aprovechar su valor nutricional para la alimentación humana (Quelal, Nazate, Villacrés, & Cuarán, 2010).

Según la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, es considerado uno de los mejores alimentos vegetales por su aporte nutritivo, principalmente, por su alto contenido de proteína (13.81-21.9 %, según la variedad), y es superior en relación con valores reportados en cereales como el trigo (8.6 %), arroz (9.9 %) y maíz (9.2 %).

### **3.2 Historia de la Quinua**

La quinua junto con la cañahua y el amaranto constituyeron, en conjunto, un importante componente en la alimentación de los pueblos prehispánicos en las tierras altas de los Andes. En un khipu del siglo XVI estudiado por Murra (1975) se muestra que la quinua en el imperio incaico tenía una importancia similar a la de la papa. Tapia, y otros (1979) hace referencia al uso de la quinua en la provincia de los Collaguas en Bolivia. Según Pulgar (1954) la quinua se cultivaba tan al norte como en la meseta Cundi-boyacense, e indica que el nombre suba o supha es el nombre primitivo de la quinua en el área de Bogotá y lo relaciona con el término aymara hupha que se utiliza aún en algunas regiones de Bolivia. También existen referencias de cultivos australes de quinua como la del padre jesuita Antonio Mechoni (1747) citado por Tapia y otros (1979) quien menciona que “tan al sur como a orillas del lago Nahuel Huapí, los indios araucanos cultivaban esta especie”.

### **3.3 Origen y distribución**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ha sido descrita por primera vez en sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, cuyo centro de origen, según Bukasov se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú.

La quinua puede considerarse como una especie oligocéntrica, con centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple, considerándose las orillas del Lago Titicaca como la zona con mayor diversidad y variación genética (Estrada, 2013).

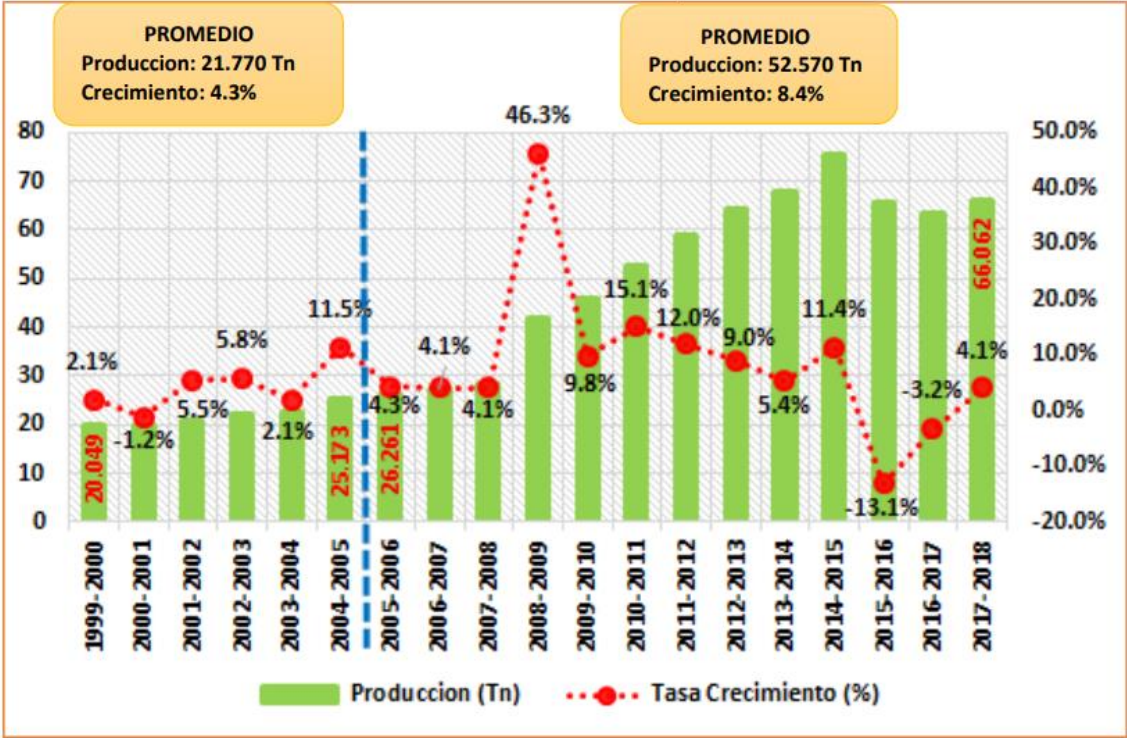
### **3.4 Importancia de la Quinua**

En este punto se hizo referencia particularmente al crecimiento de la quinua en el Altiplano sur, donde el cultivo de quinua se ha incrementado significativamente y de donde se obtiene la Quinua Real de exportación (Gandarillas, Rojas, Bonifacio, & Ojeda, 2015).

La producción de quinua en Bolivia incremento de manera considerable tras las políticas efectuadas para el sector y el precio elevado en el mercado internacional La producción podrá tener rendimientos mayores según se incorporen en el proceso

mayores insumos, mejoramiento de las tecnologías, mayor inversión y mano de obra especializada. para el caso de la quinua sabemos que el incremento del producto se debe principalmente a la expansión de la frontera agrícola (figura 1).

Figura 1. Producción de Quinua y tasa de crecimiento por año agrícola (en toneladas métricas y en porcentaje) en Bolivia



Fuente: instituto nacional de estadística (2021)

Durante el periodo Predominante de Ideología Neoliberal se presenta una alta volatilidad de la tasa crecimiento entre los periodos 2000 y 2005, se registra un crecimiento positivo de 4.3%, esto debido a los bajos niveles de inversión y a la facultad de abrir mercados de exportación. En periodo caracterizado por la implementación de un denominado nuevo modelo Económico, Social Comunitario y Productivo se registró entre los periodos 2006 y 2018 un crecimiento promedio de 8.4%, representado el periodo de mayor tasa de crecimiento de producción. En el año 2008-2009, se registró un crecimiento de 46.3%, siendo este el mayor crecimiento registrado durante todo el periodo de estudio esto por el incremento en

la demanda y precio. En 2015-2016, se presenta un importante descenso de -13.1% siendo este el más bajo en todo el periodo de estudio.

El volumen de producción de quinua entre los periodos 2000 y 2005 se incrementó en promedio 21.770 toneladas métricas, y entre los periodos 2006 y 2018 de 52.570 toneladas métricas, en el primer periodo no era muy demandado por el exterior y en segundo periodo comienza a tener una mayor demanda externa. El volumen de producción experimento un incremento sostenido hasta la campaña agrícola 2014-2015, logrando una producción total de 75.449 toneladas, se registra el mayor valor de producción alcanzado en la misma campaña agrícola, el llamado “boom de la quinua” en la gestión 2013 provoco un alto e inusitado interés en la producción del grano, poniendo el riesgo la sostenibilidad de la producción por la afectación en el agro ecosistemas frágiles, particularmente el suelo en la región del Altiplano sur.

El Mundo exige alimentos con características nutraceuticas, con contenido nutricional de fácil asimilación, entre ellos encontraron a los granos andinos (Quinua, Kiwicha) que ha permitido darles una nueva mirada a estas especies con fines comerciales y desde el año 1997 lentamente se ha venido recuperando las áreas de producción que en décadas pasadas se tenía con el cultivo de quinua (Estrada, 2013).

### **3.5 Principales Departamentos de Producción de Quinua en Bolivia**

Los beneficios económicos impulsan el cultivo de quinua en los principales municipios productores. Las zonas productoras del cultivo de la quinua se pueden dividir en tres, altiplano norte, central y sur.

- En Bolivia los principales productores de quinua se centran en los departamentos más importantes Oruro, Potosí y La Paz. Sin embargo, la principal zona de producción es el Altiplano particularmente el Altiplano sur, donde se cultivan grandes extensiones destinadas a la exportación, y por sus condiciones agroecológicas no es posible desarrollar en forma extensiva otro cultivo. La Paz: En las provincias Aroma, pacaes, Gualberto Villarroel, los andes, ingavi y murillo. Oruro: La región de salinas de García Mendoza, en

la provincia Ladislao Cabrera y Avaroa Pampa Aullagas, Quillacas, Santiago de huari y Challapata, ubicados entre los salares de coipasa (norte) y Uyuni(sur).

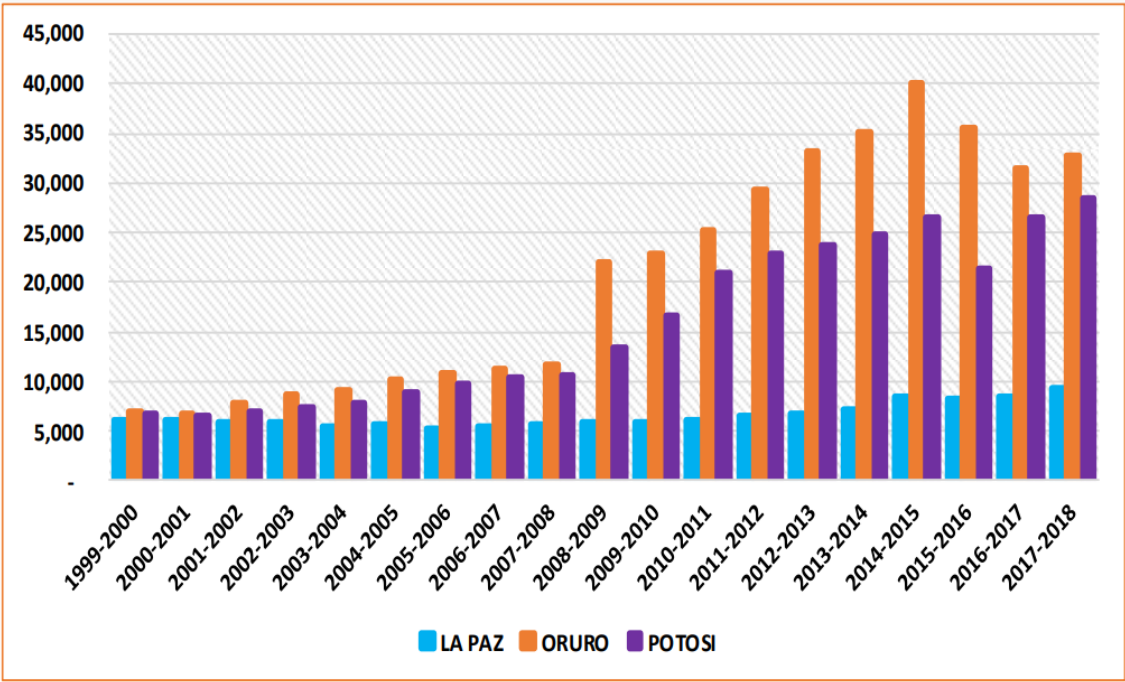
- potosí: la región de Llicaden la provincia Daniel Campos y Enrique Valdivieso, Uyuni, colcha'k, San Pedro de Quemes, Llica, San Agustín y Tomave, que rodean al salar de Uyuni.

Según MDRyT (2010), los mayores productores de quinua son: Oruro en la provincia Ladislao Cabrera; Potosí, provincia Daniel Campos y Nor Lipez. Estos forman el Altiplano Sur y parte del Altiplano Central donde se produce la variedad de quinua real desde las orillas del Lago Titicaca hasta la región de los salares y limita en la parte más alta con el cultivo de la qañiwa. Y que por lo mismo que se encuentran considerados como los que conforman la cadena productiva de la quinua, que es la que se destina a la exportación. En el Altiplano sur se desarrolla sistemas intensivos y extensivos para la explotación agrícola de quinua, porque se adapta mejor a las condiciones medioambientales, se produce únicamente quinua real orgánica, destinada a la exportación, los sistemas de producción de quinua real en el Altiplano sur, son tres: Sistema tradicional manual, sistema intermedio entre manual y mecanizado y sistema semi mecanizado; las principales diferencias entre ellos radican en las técnicas de preparación del terreno, la siembra, la cosecha y postcosecha. La tendencia es aumentar más la superficie cultivada, debido al incremento gradual de los precios y de la demanda, particularmente del mercado internacional. Si bien el incremento de la producción es resultado del incremento del área dedicada al cultivo de esta forma denota un alto rendimiento. Oruro, lidero la producción de quinua con más de 8.260 toneladas en promedio en el periodo neoliberal,1999-2000 y 2004-2005. En el segundo periodo 2005- 2006 para adelante hasta 2017-2018 se registró 26.257 toneladas ocupa el primer lugar, seguida Potosí y La Paz fueron incrementando su producción.

El periodo 2014-2015 se registró Oruro, como el principal productor con un pico más alto en todo el periodo de estudio con 40.057 toneladas, Potosí con 26,448 toneladas y la paz con 8.432 toneladas. Los próximos años siguientes se registró

una disminución consecuencia, del cambio climático habiendo zonas con bastante sequía, una falta de implementación tecnificada para la siembra y cosecha, y una disminución de los precios internacionales desincentivados esfuerzos en incrementar la producción, a pesar de ello, las principales regiones productoras tienen a la quinua como su motor económico de desarrollo.

**Figura 2.** Producción de Quinua según principales Departamentos (toneladas métricas) en Bolivia



Fuente: MDRyT, INE (2021)

**3.6 Clasificación taxonómica de la Quinua**

Rojas (2013), menciona la clasificación taxonómica de la quinua (*Chenopodium quinua* Willd) que se muestra en el cuadro 3.

## Cuadro 1. Características botánicas de la Quinoa.

### TAXONOMIA

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Sub clase:	Angiospermas
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Amaranthaceae
Genero:	Chenopodium
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd

### 3.7 Características de la Quinoa

#### 3.7.1 Características botánicas de la Quinoa

La quinoa es una planta herbácea con una raíz pivotante, vigorosa, profunda, fibrosa y bastante ramificada, alcanzando en casos de sequía hasta 1,80 m de profundidad, las raíces pivotantes aprovechan el agua a mayor profundidad y las raíces fasciculadas el agua superficial (Osco, 2009).

La planta es erguida y alcanza alturas variables desde 30 a 300 cm, dependiendo del tipo de quinoa de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece y de la fertilidad de los suelos (FAO, 2001).

Según Tapia (1997) la quinoa es una planta de tamaño muy variable, según los ecotipos las razas y el medio ecológico donde se cultiven, describen a la quinoa de la siguiente forma

- **Raíz.** Es pivotante, vigorosa llegando a tener una profundidad de 0,5 a 2,8 m, bastante ramificado y fibrosa, la cual posiblemente le dé resistencia a la sequía y buena seguridad de la planta.
- **Tallo.** La altura del tallo puede variar según la variedad que va desde 0,5 hasta 2,0 m, El color puede ser verde, verde con axilas coloreadas, verde con rayas coloreadas o púrpuras o completamente rojo.

- **Hojas.** Las hojas son alternas y de carácter polimorfo porque las hojas basales son romboidales, mientras las hojas superiores alrededor de la inflorescencia son lanceoladas son dentadas en el borde, la coloración varía de verde a rojo con diferentes tonalidades, las hojas inferiores pueden medir hasta 15 cm de largo y 12 cm de ancho.
- **Inflorescencia.** La inflorescencia es una panoja típica constituida por un eje central, secundario, terciario y pedicelos que sostienen a los glomérulos, así como la disposición de las Flores, puede ser la ser laxa puede ser laxa (amarantiforme) o compacta (glomerulada).
- **Flores.** Son pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos, pueden ser hermafroditas pistiladas (femeninas) y Androestériles, lo que indica que podría tener hábito autógeno como alógamo.
- **Fruto.** El fruto de la quinua es un aquenio, el perigonio cubre una sola semilla y se desprende con facilidad al frotarlo, a su vez la semilla está envuelta por una episperma casi adherida.

### 3.7.2 Características morfológicas de la semilla

Presenta tres partes bien definidas que son: Epispermo, embrión y polispermo. El epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula, y constituye, aproximadamente, el 30% del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo, con una curvatura de 320 grados. La radícula muestra una pigmentación de color castaño oscuro. El perispermo es el principal tejido de almacenamiento; reemplaza al endospermo y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la semilla. El color de los granos depende de la capa en observación. Si las variedades mantienen el perigonio sepaloide (tépalos de las flores) los colores son verdes, rojos y púrpura. Si se observa el pericarpio los colores pueden ser blanco, crema, amarillo, naranja, rojo, rosado, púrpura, marrón, gris y negro. Por otro lado, si el pericarpio se desprende durante el proceso de eliminación de la saponina, la capa observada es la envoltura de la semilla o epispermo y puede ser blanca, crema, roja, marrón, gris o negra. La



intensidad del color puede disminuir o desaparecer en el proceso de secado de los granos en maduración en campo y la luminosidad del ambiente de almacenamiento del grano o puede ser eliminada en el agua durante el lavado de la quinua. El color del pericarpio o capa del fruto y el color del epispermo o capa de las semillas puede ser diferente en la misma semilla (Gomez & Aguilar, 2016).

### **3.8 Variedades cultivadas de Quinua**

Se entiende por variedad a una población de plantas que por características comunes se diferencia de otra población de plantas de la misma especie. Así, por ejemplo, la variedad Sajama tiene plantas de color verde, mientras que la Chucapaca tiene plantas rojas. Las variedades de quinua que se utilizan tienen, en términos generales, dos orígenes: algunas son resultado de un proceso de selección por parte de los agricultores y han sido utilizadas desde el inicio de la agricultura, y otras son producto de los programas de investigación y mejoramiento genético descritos en los puntos anteriores.

Existen variedades nativas y mejoradas de quinua adaptadas a condiciones diversas. Algunas se cultivan en regiones de precipitación escasa, como el altiplano sur, sugiriendo la resistencia a sequías, sin embargo, estas son susceptibles al mildiu cuando se cultivan en zonas del altiplano centro y norte. Por otro lado, se observan cultivos en áreas donde los niveles de precipitación son mayores, por ejemplo: Morochata y Mizque en Cochabamba, Tarabuco en Chuquisaca e Iscayachi en Tarija, donde la precipitación pasa los 800 mm al año, lo que sugiere resistencia al mildiu. Sin embargo, poco se conoce acerca de la base fisiológica para los mecanismos y los niveles de estrés reales conferidos por el ambiente. En el país son 22 las variedades mejoradas de quinua, es decir aquellas obtenidas por mejoramiento genético a través de hibridaciones o selección (Risi, Rojas , & Pacheco, 2015).

**Cuadro 2.** Variedades de quinua en Bolivia obtenidas mediante mejoramiento genético

N°	Variedad	Año	Características morfológicas		Características Agronómicas		
			Color de planta	Color de grano	Altura de la planta (cm)	Ciclo (días)	Tolerancia
1	Sajama	1967	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	110	160	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
2	Samaranti	1982	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	120	160	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
3	Huaranga	1982	Verde	Blanco	97	160	Susceptible a heladas y mildiu
4	Kamiri	1986	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	120	180	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
5	Chucapaca	1986	Rojo	Blanco calcáreo	130	180	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
6	Sayaña	1992	Anaranjado	Amarillo	110	145	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
7	Ratuqui	1993	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	90	150	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
8	Robura	1994	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	120	175	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
9	Jiskitu	1994	Amarillo	Crema suave	110	145	Buena tolerancia a heladas y mildiu
10	Amilda	1994	Amarillo	Crema suave	113	151	Buena tolerancia a heladas y mildiu
11	Santa María	1996	Amarillo	Blanco terroso	100	155	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
12	Intinaira	1996	Anaranjado	Amarillo intenso	110	140	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
13	Surumi	1996	Rosado	Rosado leve	130	182	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
14	Jilata	1996	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	110	160	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
15	Jumataqui	1996	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	106	140	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía
16	Patacamaya	1996	Amarillo pálido	Blanco calcáreo	100	160	Heladas (-5 °C) Mediana a sequía

17	J'acha Grano	2003	Verde amarillento	Blanco	120	145	Resistencia parcial al mildiu
18	Kosuña	2005	Amarillo pálido	Blanco	110	160	Tolerancia media a sequía, helada, granizo
19	Kurmi	2005	Amarillo opaco	Blanco	120	160	Resistente al mildiu, susceptibles heladas
20	Horizontes	2007	Amarillo opaco	Crema	120	165	Tolerancia moderada a sequía, helada, granizo
21	Aynoka	2007	Amarillenta	Blanco intenso	100	145	Susceptible a mildiu
22	Blanquita	2007	Amarillo blanquecino	Blanco intenso	120	175	Resistente a mildiu, tolerante a granizo

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Espíndola y Bonifacio (1996); Rojas, Cayoja et ál. (2001); Bonifacio, Rojas et ál. (2006); Rojas-Beltrán, Bonifacio et ál. (2010).

**Cuadro 3.** Variedades nativas de Quinoa Real del altiplano sur, purificadas mediante selección masal

Cultivar	Características morfológicas		Características agronómicas			
	Color de planta	Color de Grano	Altura planta (cm)	Ciclo (días)	Tolerancia	Susceptibilidad
Real Blanca	Amarillo Claro	Blanco	105	190	Heladas	
Toledo	Naranja Oscuro	Naranja	120	190	Ticonas	
Utusaya	Rosado Claro	Blanco	73	150	Heladas	
Rosa Blanca	Rojo Oscuro	Blanco	134	200		Heladas
Q'illu	Amarillo Oscuro	Amarillo	95	185	Heladas	
Pandela	Rosado Claro	Rosado	90	170	Heladas	Liebre
Chullpi	Amarillo Claro	Chillpi	75	170	Polilla	
Achachino	Rojo Oscuro	Rojo	125	195	Heladas	
Manzana	Rojo Oscuro	Rojo	110	195	Desgrane	
Toledo Amarilla	Naranja	Amarillo	90	180	Heladas	Sequía

Real Blanca	Amarillo Claro	Blanco	90	180	Heladas	
Real Elba	Amarillo Claro	Blanco	80	160	Heladas	Liebre
Rosada	Rosado	Rosado	80	185	Heladas	Sequía

Fuente: Aroni y Lugones, citado por Risi 1995.

### **3.9 Categorías de semillas**

Se establecen categorías de semillas, con la finalidad de asegurar que en las distintas multiplicaciones se mantengan las características genéticas y fitosanitarias de las variedades (INIAF, 2006).

#### **3.9.1 Semilla genética:**

Semilla producida bajo la responsabilidad y control directo del obtentor de la variedad, de acuerdo a la(s) metodologías(s) de mantenimiento de la variedad, descrita al momento de su registro. Es la categoría más alta del proceso de producción de semilla certificada.

#### **3.9.2 Semilla pre-básica:**

Semilla resultante de la multiplicación de semilla genética. Esta categoría está destinada para semillas de aquellas especies que por su naturaleza requieren de una multiplicación vegetativa mediante el cultivo de tejidos, de acuerdo a la reglamentación específica.

#### **3.9.3 Semilla básica:**

Producida bajo la responsabilidad y control directo del obtentor responsable del registro de la variedad, de acuerdo a la metodología de mantenimiento de la variedad, descrita al momento de su registro.

Para producir esta categoría se deberá sembrar semilla de las categorías "Genética, Pre-básica, o Básica". Podrá ser mantenida dentro de su categoría siempre y cuando cumpla con los requisitos de calidad exigidos para la categoría. Se le otorgará una etiqueta especial de color blanco.

#### **3.9.4 Semilla registrada:**

Semilla resultante de la multiplicación de semilla Básica. Se le otorga una etiqueta oficial de color rosado.

#### **3.9.5 Semilla certificada:**

Semilla resultante de la multiplicación de semilla Registrada. Se le otorgará una etiqueta oficial de color celeste.

La semilla certificada es, aquella semilla que ha seguido todo el manejo en forma tal que su identidad y pureza genética se preservan satisfactoriamente, bajo el proceso de certificación de semillas, desde la fase de campo hasta la etiquetación de semillas, distinguiéndose en sus diferentes categorías.

### **3.10 Tipos de almacenamiento de semillas**

Para una conservación adecuada de granos y semillas, en cualquier parte del mundo, se deben considerar aspectos como ecología de la región, tipo y condición del material a guardar; almacén disponible y la duración del almacenamiento (Cerovich & Miranda, 2004).

En los países tropicales, donde la temperatura y la humedad relativa son altas y exceden los valores recomendados, aún para periodos cortos de almacenamiento, la conservación de granos y semillas constituye una labor de alto riesgo, pues esta condición no sólo acelera el deterioro fisiológico de las semillas, sino que también propicia el desarrollo de muchas plagas como hongos, bacterias, insectos, roedores y pájaros que afectan la calidad de la semilla, por lo tanto, para garantizar su conservación adecuada, a corto o largo plazo, se le debe proporcionar la mayor protección posible durante ese periodo.

#### **3.10.1 Almacenamiento artesanal de las semillas**

En pequeños predios, almacena sus mejores lotes/variedades que se van a utilizar en el próximo ciclo. Para ello, puede usar tambores desinfectados en donde se

coloca la semilla bien seca, por ejemplo, el maíz con (11 a 12) % de humedad y trasvasado en envase hermético. En algunos países de Latinoamérica y África usan un "troj" que consiste de una estructura elevada, parecida a una jaula, que puede hacerse de palos, bambú, de forma variable, protegiéndolo en las bases contra roedores. Estas estructuras, sin embargo, no garantizan la efectividad de almacenamiento y su principal desventaja es la absorción de humedad por la semilla y la infestación con plagas, insectos y patógenos. En general, el tiempo de permanencia bajo estas condiciones no debe exceder de unos días a unas pocas semanas (Cerovich & Miranda, 2004).

### **3.10.2 Almacenamiento controlado corto de las semillas**

Este almacenamiento es destinado generalmente a lotes de semillas comerciales y cuya permanencia es también relativamente corta, desde su cosecha hasta el próximo ciclo de siembra (uno a nueve meses). Este tipo de almacenamiento está más relacionado con empresas productoras de semillas, oficiales o privadas, y varía en tamaño y construcción, desde pequeños silos de madera o metal, tanques o fosas de almacenamiento, hasta galpones medianos de concreto. Muchas veces, bajo estas condiciones también es difícil controlar la humedad y la temperatura, y frecuentemente ocurren grandes pérdidas por factores bióticos como insectos, hongos o roedores. Cuando estas estructuras disponen de controles para temperatura, humedad, y para garantizar un almacenamiento seguro, se recomienda usar las siguientes combinaciones de los factores físicos ambientales (Cerovich & Miranda, 2004).

### **3.10.3 Almacenamiento controlado prolongado de las semillas**

Generalmente el tiempo de almacenamiento excede el año, de 18 a 30 meses, y usualmente es destinado a guardar semillas de alto valor comercial, como son las clases genética o fundación, semillas de líneas parentales, semillas ornamentales o forestales. Para garantizar un almacenamiento seguro, en cereales y oleaginosas se recomienda las combinaciones de temperatura, humedad relativa y contenido máximo de humedad (Cerovich & Miranda, 2004).

### **3.10.4 Almacenamiento para bancos de germoplasma de semillas**

La devastación de amplias áreas vegetales, la presión de selección en materiales genéticos y las modernas prácticas agrícolas han propiciado la desaparición de muchas especies silvestres y cultivares primitivos de los cultivos agrícolas, con la consecuente disminución de valiosos recursos genéticos vegetales. Esto impulsó en la década de los 40, la necesidad de evaluar métodos, para restringir esta tendencia creando organizaciones y estableciendo estructuras especializadas para ese fin. En muchos países del mundo surgieron los laboratorios de almacenamiento de semillas para recursos fitogenéticos, con estructuras y equipamientos sofisticados y en donde la mayoría de las especies de semilla mantienen su viabilidad, aún almacenadas por largos años. En algunos de ellos usan envases sellados y en otros abiertos, pero siempre a bajas humedades relativas y a bajas temperaturas, algunas de ellas menores a 18°C y un contenido de humedad de la semilla que fluctúa entre 4% y 7%, (Cerovich & Miranda, 2004).

Con las características de almacenamiento descritas, la mayoría de las especies mantendrán su viabilidad por largos períodos, Sin embargo, para garantizar un adecuado almacenamiento y reducir al máximo cualquier riesgo de pérdida de calidad, se resume a continuación,

- Guardar siempre semillas de alta calidad.
- El contenido de humedad de la semilla y la temperatura de almacenamiento, son los factores más importantes que influyen en el almacenamiento. La temperatura se mantiene con equipos de frío (compresor- evaporador) regulados para encendido/apagado con sensores de temperatura. La humedad se mantiene con equipos deshumificadores regulados para encendido/apagado con sensores de humedad.
- El contenido de humedad está fuertemente afectado por la humedad relativa y en menor grado por la temperatura del ambiente. Porque el producto almacenado tiende a hidratarse o adsorber humedad del medio.

- El contenido de humedad es más importante que la temperatura, con altos valores de humedad relativa encuentran las mejores condiciones para desarrollarse las plagas, que reducen su calidad de la semilla.
- Disminuyendo en 1% el contenido de humedad o en 5°C la temperatura, casi se duplica el potencial de almacenamiento.
- La longevidad o mayor vida de la semilla es una característica genética de las especies.
- La calidad de la semilla es un factor determinante de la potencialidad de su almacenamiento.
- Para un almacenamiento sellado, el contenido de humedad en la semilla deberá ser de 2 a 3% inferior que cuando es almacenado en condiciones abiertas. Para un buen almacenamiento se debe seleccionar un lugar seco y fresco, tiempo de permanencia y su condición fisiológica.

### **3.11 Almacenamiento de las semillas**

La semilla de quinua se la puede almacenar a baja temperatura y contenido de humedad por largos periodos de tiempo.

Existe un efecto directo de la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad en el tiempo de almacenamiento de las semillas, por lo que reduciendo la temperatura y el contenido de humedad de la semilla aumenta el periodo de almacenamiento (Castillo, 1988).

#### **3.11.1 Almacenamiento de semillas ortodoxas**

Las semillas ortodoxas por su fisiología son las que tienen, más tolerancia a la deshidratación, esta sucede hacia la fase final de su maduración con deshidratación celular debido a la disminución de agua hacia la semilla, que se hace a través del suministro vascular de la planta madre, es la deshidratación la que mejora la viabilidad de la semilla y su posibilidad de ser almacenada. La tolerancia a la desecación se refiere a la capacidad de un organismo para soportar la pérdida extrema de agua celular sin daños irreversibles, en las semillas se adquiere durante el desarrollo antes de la etapa de maduración (Bewley & Black, 1994).



La maduración de las semillas ortodoxas, invariablemente parece estar acompañada por la acumulación de oligosacáridos no reductores que coincide con la reducción de monosacáridos, y el mantenimiento del estado de deshidratación se asocia con niveles altos de sacarosa (hipótesis de reemplazo de agua por sacarosa) y otros oligosacáridos, y esto contribuye a mantener el espaciamiento y almacenarse a bajas temperaturas (Bewley & Black, 1994).

La habilidad para germinar de las semillas, depende del grado de tolerancia a la pérdida del agua, de las condiciones de almacenamiento, duración de este y las condiciones abióticas donde se almacena de temperatura y humedad relativa (Bewley & Black, 1994).

### **3.11.2 Almacenamiento de semillas recalcitrantes**

Las semillas que no son ortodoxas carecen de la tolerancia a la deshidratación y por ende de los mecanismos de protección que estas tienen, lo que implica una respuesta variada ante el estrés de la deshidratación, que muchas veces se dispersan más eficientemente después de llegar a un bajo porcentaje de humedad o bien germinar antes de ser dispersas como sucede con las semillas recalcitrantes. (Serrano, 2024).

Las semillas recalcitrantes son sensibles a la deshidratación y con ello también pierden viabilidad, posterior a la diseminación, lo que implica limitaciones graves para el almacenamiento de la semilla. La recalcitrancia de las semillas es frecuente tanto en Angiospermas como en Gimnospermas. Muchos árboles tropicales presentan este tipo de semilla como mango (*Manguifera indica*), mamey (*Pouteria sapota*), aguacate (*Persea americana*). Pierden rápidamente su viabilidad debido a que sus contenidos de aceite que se oxidan rápidamente con ácido palmítico, esférico, oleico, linoleico y linolénico (Serrano, 2024).

Las semillas recalcitrantes no pueden sobrevivir si su contenido de humedad alto disminuye por debajo del 30 al 50%, y no toleran el almacenamiento por periodos largos ni tampoco toleran las temperaturas bajas prolongadas, lo que

comercialmente implica limitaciones muchas especies recalcitrantes son tropicales. (Serrano, 2024).

### 3.11.3 Almacenamiento de semillas intermedias

Las semillas intermedias se encuentran entre semillas ortodoxas y semillas recalcitrantes, pueden tolerar la desecación entre 10 y 125% de humedad relativa y son parcialmente tolerantes a bajas temperaturas, mantienen su viabilidad alrededor de cinco años. Tienen cierta sensibilidad a la desecación como se ha mencionado y una humedad ambiental de 30 al 50%, toleran poco las temperaturas por debajo de 5°C y no toleran el almacenamiento a largo plazo pues en pocos meses mueren.

### 3.12 Germinación

Las semillas de quinua en condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura pueden germinar muy rápidamente. El agua es esencial para la iniciación del proceso y el mantenimiento de un metabolismo apropiado. Las temperaturas del suelo son igualmente importantes para la iniciación del proceso. La primera estructura en emerger es la radícula la cual se alarga hacia abajo dentro del suelo y da inicio a la formación del sistema radicular. El hipocótilo sale de la semilla y crece hacia arriba y atraviesa el suelo o emerge llevando los cotiledones que se abren y se tornan verdes iniciando el proceso de fotosíntesis (Gomez & Aguilar, 2016).

La germinación tiene tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente en:

- **Imbibición.** proceso de absorción de agua por la semilla, que se da por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición el tejido de reserva, absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación
- **Activación enzimática.** en esta etapa se da una reducción considerable de la absorción de agua para dar inicio a transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula.

- **Crecimiento.** se asocia con la emergencia de la radícula y paralelamente un incremento de la actividad metabólica ocurriendo una nueva actividad de absorción de agua La germinación es un proceso que está influenciado por factores internos y externos. Dentro de los factores internos está la viabilidad, que se puede medir a través de la prueba bioquímica de tetrazolio que consiste en la diferenciación de tejidos vivos de muertos por la tinción del formazán sobre las células vivas; al ser hidratada la semilla se incrementa la actividad de enzimas hidrogenasas que resulta en la liberación de iones hidrogeno, reduciendo a la solución de tetrazolio -2,3,5, triphenil tetrazolium cholride, incoloro a formazán, color rojo el mismo autor señala que la viabilidad será determinada en función del patrón de tinción del embrión y conjuntamente de la intensidad de la coloración (Melgarejo, 2010).

Las semillas de quinua son capaces de germinar muy rápidamente en presencia de humedad, esta semilla está recubierta de una cutícula y por el hilio que esta absorbe la mayor parte del agua necesaria para la germinación, el embrión va a encontrar en el perisperma la energía necesaria para el desarrollo muy rápido de la raicilla luego de los cotiledones, el perisperma está compuesto de células más o menos llenas de montones de granos de almidón (Bonifacio & Dizes, 1992).

### **3.13 Viabilidad**

Las semillas poseen la característica de poder lograr germinar en condiciones adversas a las condiciones ideales de crecimiento y desarrollo, donde las temperaturas y humedades relativas del medio ambiente circundante no son adecuadas. Vigor es la cualidad de la semilla que permite que ésta logre germinar y desarrollarse en condiciones de estrés para la semilla, donde prevalecen altas temperaturas Y elevadas humedades relativas. De acuerdo a la Asociación Internacional de Ensayos para Semillas (I.A.S.T.) por sus siglas en inglés, existen métodos apropiados para poder determinar el vigor en semillas. Entre las pruebas más comunes que se usan están: envejecimiento acelerado y Tetrazolio. El envejecimiento acelerado es un ensayo que consiste en colocar 400 semillas a partir de una muestra homogenizada, en un horno donde las condiciones de temperatura

de estrés para las semillas son: ( $> 40^{\circ}\text{C}$ ), y humedades relativas superiores al 70%, por periodos comprendidos entre las 72 y 96 horas, seguidamente se procede a su siembra en medios de germinación en un germinador por el tiempo apropiado.

Otra técnica aprobada por la LS.T.A. es mediante la utilización de Tetrazolio, que consiste en someter a las semillas en una imbibición de sal de Tetrazolio, donde reaccionará con las partes vivas de las semillas, sirviendo como base para su evaluación, posteriormente se pueden colocar en un germinador, pero no es recomendable debido a que puede ocurrir anomalías debido a la imbibición de la sal de Tetrazolio (Silmar, 2004).

### **3.14 Conservación de recursos Fitogenéticos**

Según Jaramillo & Baena (2000), las plantas se conservan dependiendo de su necesidad y/o utilidad actual y futura. Los recursos filogenéticos se pueden conservar fuera de su hábitat natural (ex situ), o combinando los métodos in situ y ex situ, de manera complementaria. La selección de uno o varios métodos depende de las necesidades, las posibilidades y del objetivo de la especie. Los recursos filogenéticos se conservan para utilizarlos y ello sólo es posible si se conocen su característica.

La preservación implica, recolección, conservación, caracterización, evaluación, documentación, intercambio y capacitación del personal que trabaje con ellos (Aboites, Conservación de los recursos filogenéticos: Utilización de los recursos genéticos vegetales de interés para América del Sur, 1989).

### **3.15 Conservación ex situ – in situ**

Según Jaramillo & Baena (2000), la conservación ex-situ es la conservación de genes o genotipos de plantas fuera de su ambiente de ocurrencia natural, para uso actual o futuro. Abarca un amplio espectro taxonómico, sirve para proteger desde especies silvestres y formas regresivas hasta especies cultivadas, la conservación ex situ busca conservar fuera de su centro de origen o diversidad tanto las especies como la variabilidad producida durante el proceso evolutivo de domesticación.

Al respecto Sevilla & Holle (2004), expresan que el germoplasma ex-situ está perdiéndose en condiciones naturales, su existencia está amenazada por una serie de factores como: destrucción de los ecosistemas naturales, cambio de muchas variedades locales por pocas variedades mejoradas, la destrucción de cultivos por fenómenos atmosféricos o desastres naturales, el cultivo generalizado de una sola especie en ecosistemas diversos y las exigencias del mercado que premian la uniformidad del producto.

La conservación in situ define como el mantenimiento de los recursos fitogenéticos en su hábitat natural y sus formas silvestres. Sin embargo, los sistemas tradicionales conservan la diversidad de cultivos y son considerados espacios locales para la agricultura y la alimentación. Los conocimientos tradicionales son un componente determinante de la diversidad biológica agrícola existente, donde las comunidades rurales son responsables de su existencia y evolución. Por otra parte, la colección de quinua a cargo del INIAF se encuentra vinculada a dos microcentros del área circundante al lago Titicaca, que están ubicados en la comunidad de Cachilaya (Provincia los Andes) y de Titijoni (Provincia Ingavi) del Altiplano Norte de La Paz (Rojas, y otros, 2014).

Los Andes constituyen uno de los sistemas montañosos más importantes del mundo, esta gran ecoregión contiene muchos nichos especiales con gran cantidad de asociaciones de plantas. Estas características propias de la región han permitido el desarrollo de la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada y que todavía se encuentra en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos (Rojas, 2021).

### **3.16 Bancos de Germoplasma**

El banco de germoplasma, es un conjunto de valores o especies, que contienen información sobre un determinado aspecto específico y que son almacenados en forma ordenada (Lescano, 1994). Es un Banco de genes (semillas, cultivos, tubérculos raíces reservantes), donde se guardan recursos genéticos que ayudan a proteger la biodiversidad, cuya pérdida reduciría conjuntos genéticos vegetales disponibles para agricultores y científicos.

Un banco de germoplasma es una estructura organizativa, que se establece dentro de una estrategia global de conservación de recursos genéticos y cuyos objetivos son propios de la conservación genética y la disponibilidad de germoplasma. Esta disponibilidad puede tener propósitos prácticos o de investigación y se constituye en un factor fundamental para la certificación de semillas (Aboites, 1989).

### **3.17 Conservación de Germoplasma**

La importancia de conservar la variación genética en cada uno de los cultivos, ha originado la creación de los bancos de germoplasma, en los que toda muestra que representa la variación genética de una población es cualificada con el término *accesión* (Vilela & Candeira, 1994).

La conservación de germoplasma es el proceso mediante el cual se logra preservar la materia prima de la variación genética, no sólo con el afán de evitar su desaparición, sino fundamentalmente para disponer de una reserva de material listo para ser utilizado. De nada serviría si luego de los esfuerzos desplegados en la colección, el material no se conserve bajo condiciones apropiadas, así poder mantenerlo por periodos de tiempo más o menos largos (Esquinas, 1983).

### **3.18 Características del Tetrazolio**

La prueba del tetrazolio, con diferentes concentraciones y el tiempo de tinción se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas especialmente la deshidrogenasa del ácido málico, que reduce la sal del tetrazolio en los tejidos vivos de la semilla formando trifenilformazan (compuesto de color rojo), indicativo de la actividad respiratoria en la mitocondria y la viabilidad del embrión de la semilla. Por el contrario, en los tejidos muertos no se lleva a cabo esta reacción y, en consecuencia, no se presenta una coloración característica (Botello, 2018).

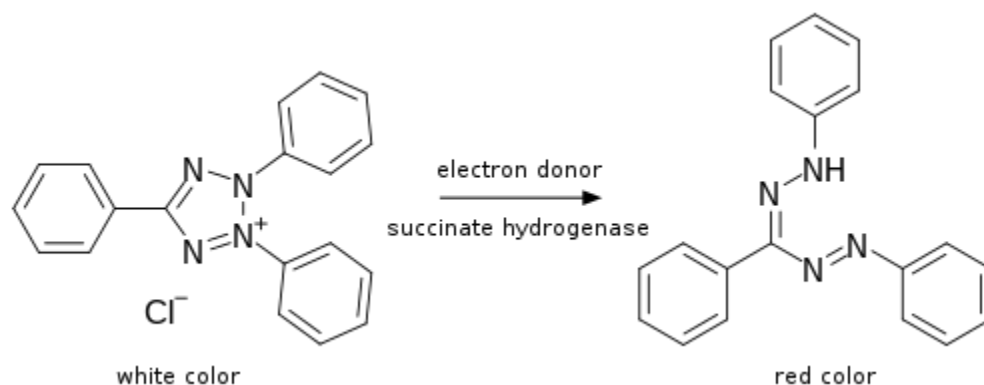
Las sales de tetrazolio permiten medir la actividad respiratoria asociada a la cadena transportadora de electrones. Estas sales presentan la ventaja de ser reducidas por la mayoría de los sistemas de deshidrogenasas, y de requerir cortos periodos de tiempo para su reducción y consecuente cambio de color (Vallejo, Habid, & Roldan, 2010).

El Tetrazolio (TZ) puede ser utilizado sin importar el grado de dormición de las semillas, tornándose muy importante para productores de semilla, clasificadores y comerciantes ya que puede ayudar en decisiones que deben ser tomadas rápidamente. Durante los meses de verano, inmediatamente a la cosecha, muchas semillas poseen un alto nivel de dormición; y para completar un ensayo de poder germinativo se necesitan alrededor de cuatro semanas para romper dicha dormición y que se logre la germinación (Ruiz, 2020).

### 3.19 Composición química del Tetrazolio

El cloruro de tetrazolio es un indicador redox empleado comúnmente en experimentos bioquímicos para indicar principalmente la respiración celular. Es un polvo de color blanco cristalino, soluble en agua, etanol y acetona, pero insoluble en éter, cuya fórmula general es  $C_{19}H_{15}ClN_4$  (figura 3).

Figura 3. Composición química del Tetrazolio



*Cloruro de 2,3,5-trifenil-2H-tetrazolio*

### 3.20 Ventajas y desventajas del Tetrazolio

#### 3.20.1 Ventajas del Tetrazolio

Esta prueba determina rápidamente la viabilidad de semillas, particularmente de aquellas que presentan dormancia, de especies recalcitrantes y las que germinan lentamente en pruebas de rutina. Se determina la viabilidad de las semillas en muestras o individualmente cuando al final de la prueba de germinación ocurre un alto porcentaje de semillas no germinadas (ISTA, 2007).

Según Ruiz (2020) menciona las ventajas del tetrazolio:

Rápida determinación de la viabilidad del lote de semillas, importante para la toma de decisiones rápidas en la industria de semillas.

Adecuada evaluación de la capacidad germinativa potencial, especialmente para lotes con elevada cantidad de semillas dormidas.

Guía en el control de calidad de semillas que deben ser guardadas de un año para otro, conocido como “carry over”, puede llegar a detectar deterioro aún antes que el poder germinativo.

Útil para estudiar la biología de las semillas y procesos de deterioro.

### **3.20.2 Desventajas del Tetrazolio**

Según Ruiz (2020) menciona las desventajas del tetrazolio.

La interpretación visual de la tinción es subjetiva y requiere experiencia, especialmente en semillas pequeñas, esta necesidad de entrenamiento y experiencia, posiblemente haya sido la razón por la cual se lo ha utilizado poco en el pasado.

Labor intensiva que implica al tener que cortar y evaluar las semillas.

Puede no detectar daños menores, presencia de infección fúngica o daños por insecticidas.

En nuestro país y en el mundo se ha trabajado mucho en TZ; sin embargo, el método es utilizado en trabajos rutinarios de análisis, y generalmente no se intenta sacar mayor información del lote, limitándose a expresar el número de semillas viables sin otro tipo de detalles, por ejemplo, tipo de daño encontrado, que en algunos casos es posible establecer.

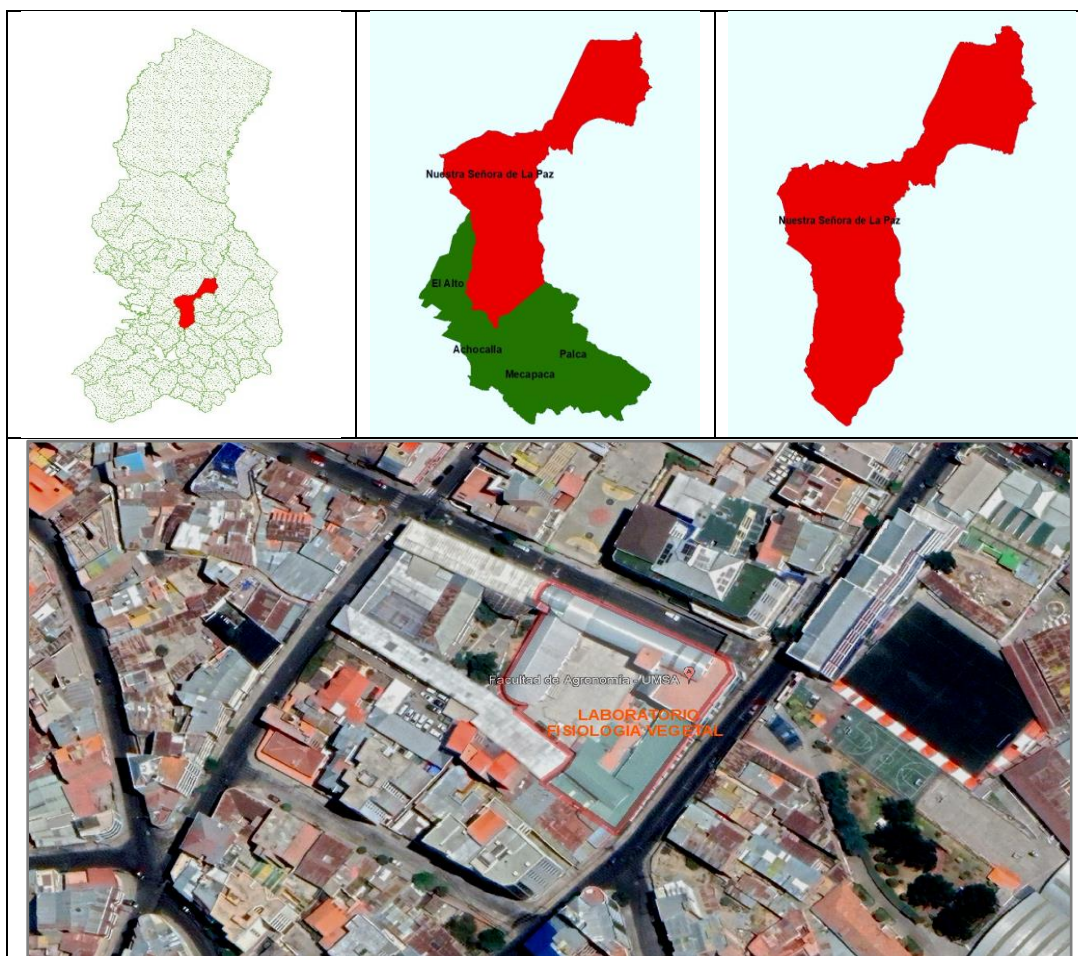


## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización

La figura 4 presenta la ubicación donde se realizó el trabajo de investigación.

Figura 4. Localización del trabajo de investigación



*(Google Earth Pro - 2024) Facultad de Agronomía*

La investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, perteneciente a la Carrera de Ingeniería Agronómica, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado en la Calle Landaeta de la ciudad de La Paz, Bolivia.

La ubicación geográfica del municipio de La Paz, es de 16° 29' Latitud Sur y 68° 08' de Longitud Oeste, a una altitud de 3.640 metros sobre el nivel del mar.

## 4.2 Materiales

### 4.2.1 Material vegetal

El Banco de Germoplasma de Granos Andinos de la Facultad de Agronomía, cuenta con 231 accesiones de cañahua, 345 accesiones de Tarwi, 16 accesiones de amaranto, 22 accesiones de cebada, 42 accesiones de maíz andino y 1153 accesiones de quinua.

Para la prueba de viabilidad de semillas de quinua se utilizó la accesión 85N.



Figura 5. Semillas de Quinua de la Estación Experimental Choquenaira.

### 4.2.2 Material del laboratorio

- Cajas Petri
- Vasos precipitados
- Varillas de vidrio
- Pissetas
- Pipetas
- Goteros
- Pinzas

- Mufla
- Algodón
- Balanza analítica
- Microscopio
- Estereoscopio

#### **4.2.3 Material químico o reactivo**

- Tetrazolio
- Alcohol al 70%
- Agua destilada

#### **4.2.4 Material de escritorio**

- Bolígrafos y marcadores
- Cuadro de registros
- Laptop
- Software InfoStat
- Excel, Word y otros programas
- Impresora
- Cámara fotográfico
- Calculadora
- Cinta masquin

### **4.3 Métodos**

#### **4.3.1 Tipo de investigación**

Según Hernandez & Mendoza (2018) definen que los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.

Teniendo claro la definición, la investigación nos muestra tanto como el método cuantitativo y cualitativo, por lo tanto, el tipo de esta investigación un estudio mixto.

#### **4.3.2 Desinfección de los materiales**

Para la utilización de los materiales se realizó el lavado y desinfección con Etanol al 70%, materiales como las cajas Petri, vasos precipitados, varilla agitadora, morteros y la balanza analítica donde se utilizaron en el laboratorio, esto con el objetivo de no contaminar con los microorganismos, así como los hongos que suelen afectar en los tratamientos pregerminativos en cajas Petri (figura 6).



Figura 6. Desinfección y secado de los materiales del laboratorio

#### **4.3.3 Preparación de las soluciones de Tetrazolio**

Según Salazar, Maldonado, & Quintero (2018), utilizó concentraciones del tetrazolio de 0.5 y 1.0%, con un tiempo de 20 y 24 horas en semillas de linaza, así mismo, menciona que en menos de una hora fueron teñidas la semillas.

Entonces el trabajo de investigación se basa a las concentraciones que utilizaron. Por lo tanto, se tomó en cuenta las concentraciones de tetrazolio 0.10%, 0.50% y 0.90 % (figura 7).



Figura 7. Soluciones del Tetrazolio 0,10%, 0,50% y 0,90%

#### 4.3.4 Acomodado del algodón en las cajas Petri

En la figura 8, se muestra el acomodado de algodón en las cajas Petri y marcado para las tres diferentes concentraciones de tetrazolio.

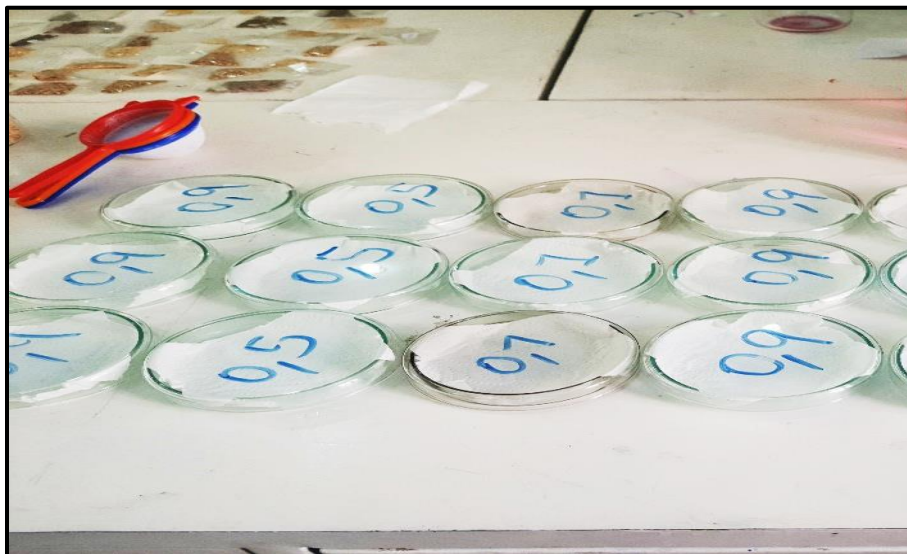


Figura 8. Cajas con algodón para diferentes soluciones de Tetrazolio

#### 4.3.5 Intervalos de tiempo tinción con Tetrazolio

Se tomaron en cuenta tres tiempos diferentes de 10, 20, 30 minutos para determinar el tiempo de tinción óptimo de tetrazolio en semillas de Quinua con el propósito de determinar el tiempo más adecuado, donde se obtiene mediante el número de semillas viables que respondieron a los tres diferentes tiempos utilizados (figura 9).



Figura 9. Soluciones de tetrazolio con los tiempos de tinción de 10, 20 y 30 minutos

#### 4.3.6 Distribución de las semillas sumergidas en cajas Petri

En la figura 10 se muestra la distribución de las semillas sumergidas con la solución del tetrazolio de 0,10%, 0,50% y 0,90% con tres diferentes tiempos de 10, 20 y 30 minutos en las cajas Petri, por otro lado, en cada caja Petri se puso 50 semillas de quinua.



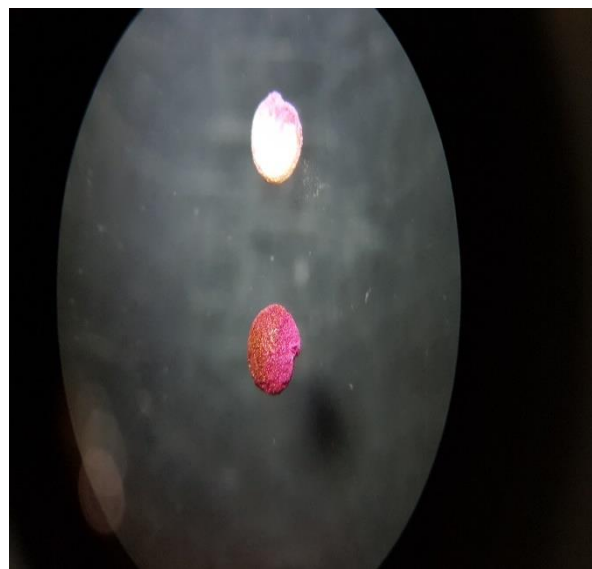
Figura 10. Distribución de las semillas sumergidas con la solución del tetrazolio en las cajas Petri

#### 4.3.7 conteo de las semillas viables y no viables

La figura 11 presenta el microscopio, donde las semillas de color rosado claro nos indica que son semillas viables y las semillas que no absorbieron la solución del tetrazolio nos indica que no son viables.



Figura 11. a) Microscopio



b) Semillas viables y no viables

#### 4.4 Diseño experimental

El ensayo fue realizado bajo el arreglo bi-factorial con el diseño completamente al azar (DCA Bi-factorial).

**Factor A:** Está constituido por tres soluciones con diferentes Concentraciones de tetrazolio de: 0.10%, 0.50% y 0.90%.

**Factor B:** Se tomó un ensayo de tres tiempos diferentes (Tiempo de tinción) de: 10, 20 y 30 minutos.

##### 4.4.1 Modelo estadístico

para este trabajo de investigación el modelo estadístico utilizado fue Diseño Completamente al Azar con arreglo Bi-factorial siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

**Donde:**

$Y_{ijk}$  = Una observación, valor de Y en la k-ésima unidad que recibió el i-ésimo nivel de A y el j-ésimo nivel de B

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor A (concentración)

$\beta_j$  = Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor B (tiempo de tincion)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto fijo de interacción del i-ésimo nivel de A con el j-ésimo nivel del factor B (interacción concentración y el tiempo de tinción)

$\varepsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio de residuales



El cuadro 4, representa la distribución de las unidades experimentales

**Cuadro 4.** Descripción del número de unidades experimentales

Semilla	Quinua			1
Concentración	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	3
Tiempo	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	3
Repetición				4
<b>Total</b>				<b>36 Unidades Experimentales</b>

#### 4.5 Variables de respuesta

##### 4.5.1 Porcentaje de viabilidad

El porcentaje (%) de viabilidad de las semillas se refiere a aquellas que representan la cantidad de semillas coloreadas y denominadas como semillas viables, asimismo, se realizó una evaluación porcentual por unidad experimental:

$$\%Viabilidad = \frac{\text{cantidad de embriones viables (coloreadas)}}{50} * 100$$

##### 4.5.2 Porcentaje de germinación

Para determinar el porcentaje de semillas germinadas de la quinua. se realizó el conteo por unidad experimental, utilizando la siguiente formula:

$$\%Germinación = \frac{\text{cantidad de semillas germinadas}}{50} * 100$$

## 4.6 Tratamientos

**Cuadro 5.** Repeticiones de los tratamientos

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
T <sub>1</sub>	0.10 - 10	0.10 - 10	0.10 - 10	0.10 - 10
	0.10 - 20	0.10 - 20	0.10 - 20	0.10 - 20
	0.10 - 30	0.10 - 30	0.10 - 30	0.10 - 30
T <sub>2</sub>	0.50 - 10	0.50 - 10	0.50 - 10	0.50 - 10
	0.50 - 20	0.50 - 20	0.50 - 20	0.50 - 20
	0.50 - 30	0.50 - 30	0.50 - 30	0.50 - 30
T <sub>3</sub>	0.90 - 10	0.90 - 10	0.90 - 10	0.90 - 10
	0.90 - 20	0.90 - 20	0.90 - 20	0.90 - 20
	0.90 - 30	0.90 - 30	0.90 - 30	0.90 - 30

La descripción de los factores de estudio se presenta en el cuadro 6.

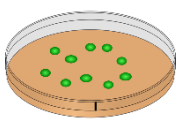
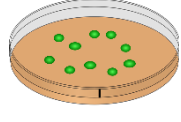
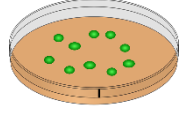
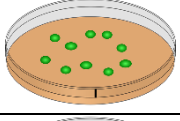
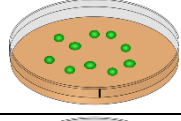
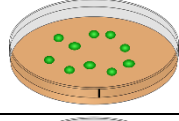
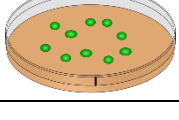
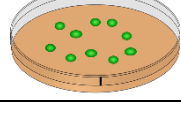
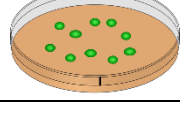
**Cuadro 6.** Descripción de los factores

Factor A (concentración del tetrazolio)	Unidades	Factor B (tiempo de tinción)	Unidades
0.10	%	10	Minutos
0.50	%	20	Minutos
0.90	%	30	Minutos

## 4.7 Croquis del Experimento

El croquis experimental y la distribución de factores de estudio se presentan en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Distribución de los factores de estudio

<b>C<sub>1</sub>T<sub>1</sub></b>		<b>C<sub>2</sub> T<sub>1</sub></b>		<b>C<sub>3</sub> T<sub>1</sub></b>	
<b>C<sub>1</sub>T<sub>2</sub></b>		<b>C<sub>2</sub>T<sub>2</sub></b>		<b>C<sub>3</sub> T<sub>2</sub></b>	
<b>C<sub>1</sub>T<sub>3</sub></b>		<b>C<sub>2</sub>T<sub>3</sub></b>		<b>C<sub>3</sub> T<sub>3</sub></b>	

La descripción de los factores de estudio se presenta en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Descripción de los factores dentro del croquis experimental

<b>Factor A</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor B</b>	<b>Descripción</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	0.10%	<b>T<sub>1</sub></b>	10 Minutos
<b>C<sub>2</sub></b>	0.50%	<b>T<sub>2</sub></b>	20 Minutos
<b>C<sub>3</sub></b>	0.90%	<b>T<sub>3</sub></b>	30 Minutos

## **5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Concentración de Tetrazolio**

Para la investigación se utilizaron tres diferentes concentraciones del tetrazolio de (0.10%, 0.50%, y 0.90%), con el objetivo de determinar, qué concentración será la más adecuada. Asimismo, este método del tetrazolio consiste en evaluar mediante el número de semillas viables, donde las semillas absorben la solución líquida del tetrazolio, que, generalmente tiende a tener un color transparente y las semillas viables se tiñen de un color rosado o más oscuro, por otra parte, las semillas que no logran teñirse nos indica claramente que, son semillas no viables.

## 5.2 Porcentaje de semillas viables de Quinua

Para determinar el porcentaje de semillas viables se realizó el conteo de las semillas o semillas que absorbieron la solución de tetrazolio con la ayuda de un microscopio, donde, en el cuadro 9, presenta los datos registrados en el análisis de viabilidad, considerando la concentración de tetrazolio, tiempo de tinción. Cada tratamiento tiene 4 repeticiones (unidades experimentales), cada una con 50 semillas. Asimismo, presenta número de semillas viables y el porcentaje de semillas viables.

**Cuadro 9.** Número de semillas viables de quinua en relación a los factores (A y B)

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABLES (Y)	PROMEDIO	VIABILIDAD
0.1	10	33	29	65
		33		65
		26		51
		25		49
0.1	20	25	29	50
		29		58
		29		58
		31		62
0.1	30	34	32	68
		30		60
		29		58
		35		70
0.5	10	41	44	82
		44		88
		46		92
		43		86
0.5	20	43	43	85
		45		90
		47		94
		37		74
0.5	30	45	45	89
		48		95
		48		96
		41		82
0.9	10	50	49	99
		48		96
		50		100
		50		100
0.9	20	50	50	100
		49		97

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABLES (Y)	PROMEDIO	VIABILIDAD
		50		100
		50		99
0.9	30	49	49	98
		50		99
		48		96
		50		100

**Cuadro 10.** Análisis de Varianza para la variable porcentaje de semillas viables de quinua.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(N-S) al 5%
Modelo	9524.00	8	1190.50	109.70	<0.0001	**
Concentración (TZ)	8625.50	2	4312.75	397.42	<0.0001	**
Tiempo (Min)	804.50	2	402.25	37.07	<0.0001	**
Concentración *Tiempo	94.00	4	23.50	2.17	0.1000	<b>NS</b>
Error	293.00	27	10.85			
Total	9817.00	35				

**Descripción:** (N-S) Nivel de significancia al 5%, (\*\*) Altamente significativo, (N.S.) no significativo

$$CV = 4.04\%$$

En el cuadro 10, se muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje de semillas viables de quinua, reporta un coeficiente de variación  $CV = 4.04\%$ , donde se encuentra dentro de los rangos de aceptación, e indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales dentro del laboratorio. El análisis de varianza del factor A (Concentración de tetrazolio) resulta altamente significativo, mostrándonos que son independiente, donde el factor A afecta a su comportamiento.

para determinar el porcentaje de semillas viables en las semillas de quinua. Por otro lado, el factor B que es el tiempo de tinción también es altamente significativo, por lo tanto, es un factor independiente.

Observando el cuadro de análisis de varianza los resultados muestran que no existe interacción entre los dos factores, donde cada factor es independiente para determinar el porcentaje de la viabilidad de las semillas de quinua.

Por otra parte, con los resultados obtenidos, se realizó la prueba de Duncan al 5 por ciento.

**Cuadro 11.** Comparación de medias del factor A y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de semillas viables de quinua.

*Error: 10.8519 gl: 27*

<b>Concentración (TZ)</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan 5%</b>
0.90	96.42	12	0.95	A
0.50	87.92	12	0.95	B
0.10	60.17	12	0.95	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

En el cuadro 11, se muestra que mediante la prueba de Duncan al 5%, para el factor A, en la comparación de medias, obtuvo el promedio más alto la concentración con 0.90% con una media de 96.42%, de semillas viables de quinua, y el segundo lugar con concentración de 0.50% con una media de 87.92% de semillas viables de quinua, y la concentración de 0.10%, obtuvo el último lugar con una media de 60.17% de semillas viables de las semillas de quinua.

Asimismo, la comparación de medias y prueba Duncan al 5%, estadísticamente indica que existe diferencia en el factor B (concentración del tetrazolio 0.10, 0.50 y 0.90).

Entonces podemos mencionar que la solución del tetrazolio con una concentración de 0.90%, es adecuada para determinar el porcentaje de las semillas viables de quinua.

**Cuadro 12.** Comparación de medias del factor B y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de semillas viables de quinua.

*Error: 10.8519 gl: 27*

<b>Tiempo (Min)</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan 5%</b>
30	86.33	12	0.95	A
20	83.08	12	0.95	B
10	75.08	12	0.95	C

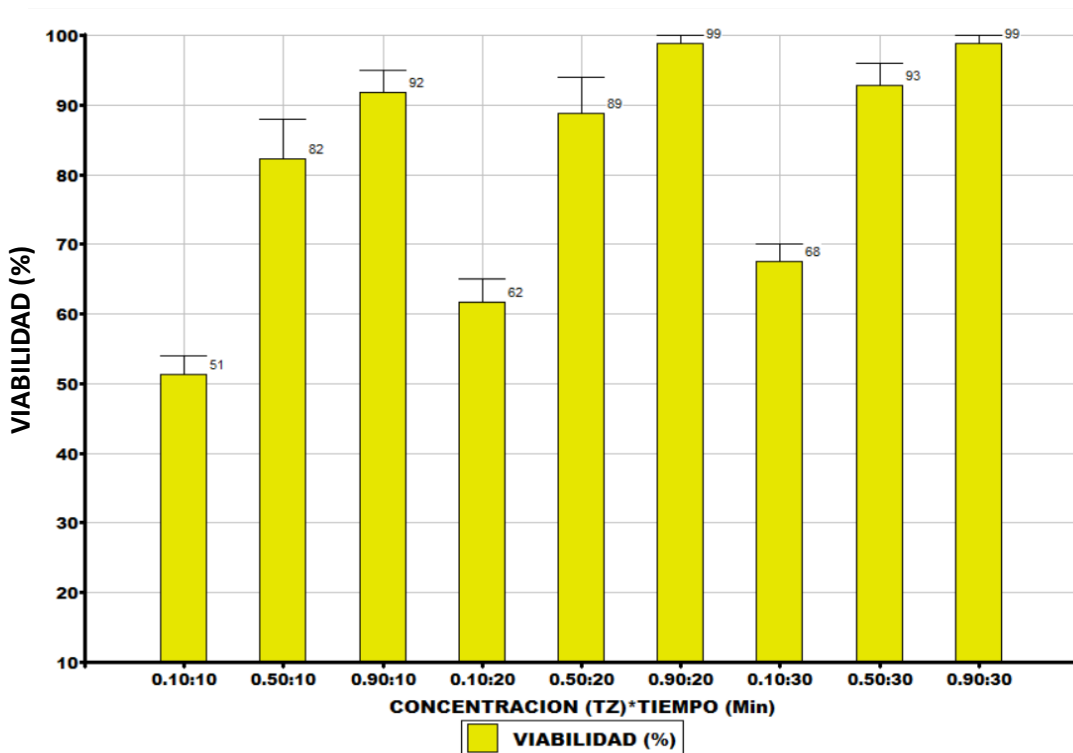
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

En el cuadro 12, se presenta que mediante la prueba de Duncan a un nivel de significancia al 5%, estadísticamente indica que existe diferencia entre los tiempos de tinción de 10, 20 y 30 minutos, ya que el tiempo de tinción de 30 minutos tiende a obtener un porcentaje de semillas viables de las semillas de quinua de 86.33%, y el de 20 minutos obtiene un promedio de porcentaje de semillas viables de 83.08%. Por otra parte, el tiempo de tinción de 10 minutos, obtiene un promedio de porcentaje de semillas viables de las semillas de quinua de 75.08%.

Entonces observando los resultados de la comparación de medias del factor B (tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos) prácticamente influye para determinar el porcentaje de semillas viables de las semillas de quinua ya que existe diferencia entre los tres tiempos de tinción.

La figura 12, presenta el promedio de la variable porcentaje de semillas viables de quinua.

**Figura 12.** Promedios de la variable porcentaje de semillas viables de quinua.



En la figura 12, se puede apreciar los promedios de la variable porcentaje de viabilidad de las semillas de quinua, donde, la concentración de 0.90% con un tiempo de 20 y 30 minutos obtuvieron el promedio más alto con una media de 99% de semillas viables de quinua, asimismo la concentración de 0.10% con un tiempo de 10 minutos obtuvo el promedio de 51% de semillas viables de quinua.

La concentración con 0.90% con los tiempos de tinción de 10, 20 y 30 minutos obtuvieron los promedios entre 92 y 99% de semillas viables de quinua.

### **5.3 Porcentaje de semillas germinadas de Quinua**

Para determinar el porcentaje de semillas germinadas de la quinua, se esperó un tiempo 4 días hasta que la semilla logre a germinar, posteriormente se realizó el conteo de las semillas germinadas y se llevó a calcular el porcentaje de semillas germinadas al 100% y obteniendo los datos se realizó el análisis de la varianza y la comparación de medias de ambos factores.



**Cuadro 13.** Número de semillas germinadas de quinua en relación a los factores (A y B)

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	GERMINADAS (X)	PROMEDIO	GERMINACIÓN
0.1	10	50	49	99
		50		100
		49		97
		49		98
0.1	20	49	50	98
		50		100
		50		100
		49		98
0.1	30	48	48	96
		48		96
		45		90
		50		100
0.5	10	50	49	100
		50		99
		48		95
		50		100
0.5	20	49	49	98
		49		98
		49		98
		48		95
0.5	30	49	50	98
		50		100
		50		100
		49		98
0.9	10	50	49	99
		48		96
		50		100
		50		100
0.9	20	50	50	100
		49		97
		50		100
		50		99
0.9	30	49	49	98
		50		99
		48		96
		50		100

**Cuadro 14.** Análisis de Varianza para la variable porcentaje de semillas germinadas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(N-S) al 5%
Modelo	43.50	8	5.44	1.27	0.2977	NS
Concentración (TZ)	8.17	2	4.08	0.96	0.3968	NS
Tiempo (Min)	4.67	2	2.33	0.55	0.5852	NS
Concentración *Tiempo	30.67	4	7.67	1.80	0.1588	NS
Error	115.25	27	4.27			
Total	158.75	35				

**Descripción:** (N-S) nivel de significancia al 5% (NS) no significativo

$$CV = 2.10 \%$$

En cuadro 14, muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje de semillas germinación de la quinua, el coeficiente de variación  $CV = 2.10 \%$ , el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, que indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales dentro del laboratorio. En el cuadro 12, del análisis de varianza del porcentaje de germinación de las semillas de la quinua se puede observar que, prácticamente no son significativos ambos factores, esto nos indica que, el factor A (concentraciones de 0.10, 0.50 y 0.90) y el factor B (tiempo de tinción 10, 20 y 30 minutos) no influye para determinar el porcentaje de germinación en las semillas de la quinua.

**Cuadro 15.** Comparación de medias del factor A y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje de germinación en las semillas de quinua

Error: 4.2685 gl: 27

Concentración (TZ)	Medias	n	E.E.	Duncan 5%
0.90	98.83	12	0.60	A
0.50	98.25	12	0.60	A
0.10	97.67	12	0.60	A

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

En el cuadro 15, se presenta que mediante la prueba de Duncan a un nivel de significancia al 5%, para el factor que no existe diferencia ya que los rangos del promedio estan entre 97.67 y 98.83% de germinación de las semillas de la quinua. Entonces observando los resultados podemos mencionar que, el factor A no influye en la determinación del porcentaje de germinación en las semillas de quinua.

**Cuadro 16.** Comparación de medias del factor B y prueba Duncan al 5% para efecto de determinar el porcentaje semillas germinadas de quinua.

*Error: 4.2685 gl: 27*

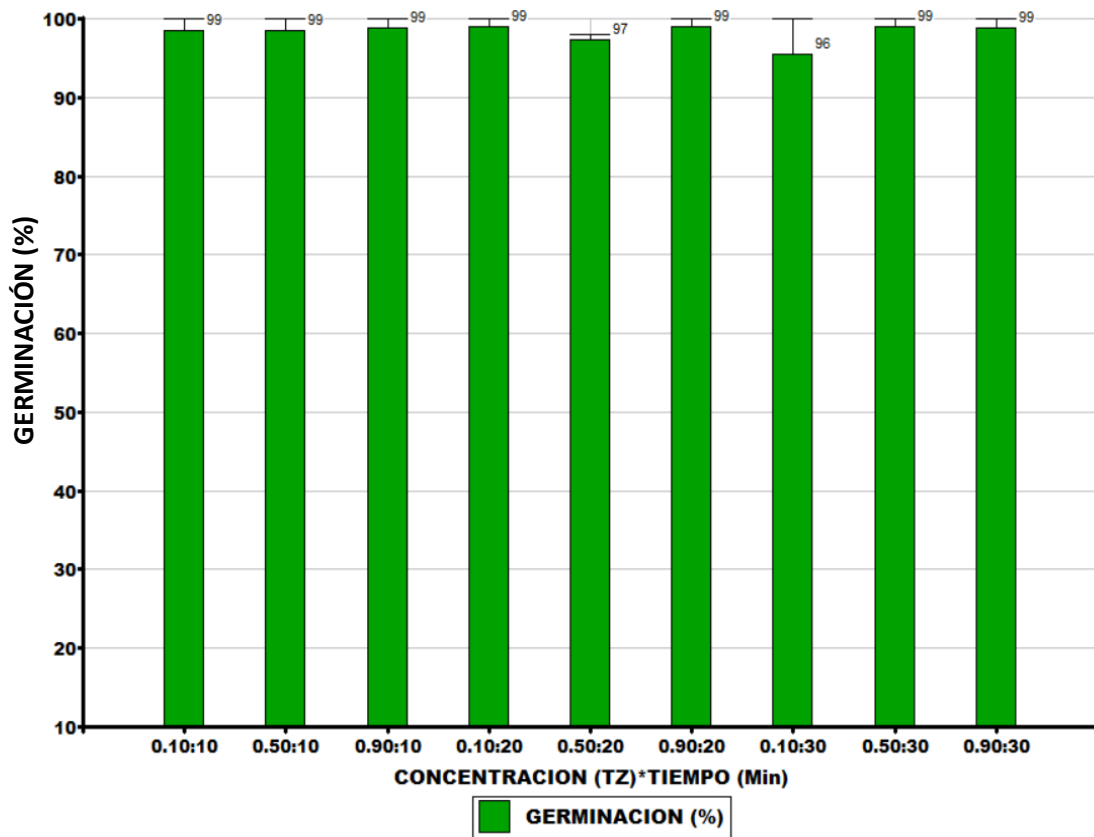
<b>Tiempo (Min)</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Duncan 5%</b>
10	98.58	12	0.60	A
20	98.42	12	0.60	A
30	97.75	12	0.60	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

En el cuadro 16, se presenta que mediante la prueba de Duncan a un nivel de significancia al 5%, estadísticamente nos indica que no existe diferencia en el factor B (Tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos) para determinar el porcentaje de germinación de las semillas de quinua, la variación de las medias está entre 97.75 y 98.58%, esto nos indica que el factor B (tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos) no influye para determinar el porcentaje de germinación de las semillas de quinua.

La figura 13, presenta el promedio de la variable porcentaje de semillas germinadas.

**Figura 13.** Promedios de la variable porcentaje de semillas germinadas de quinua

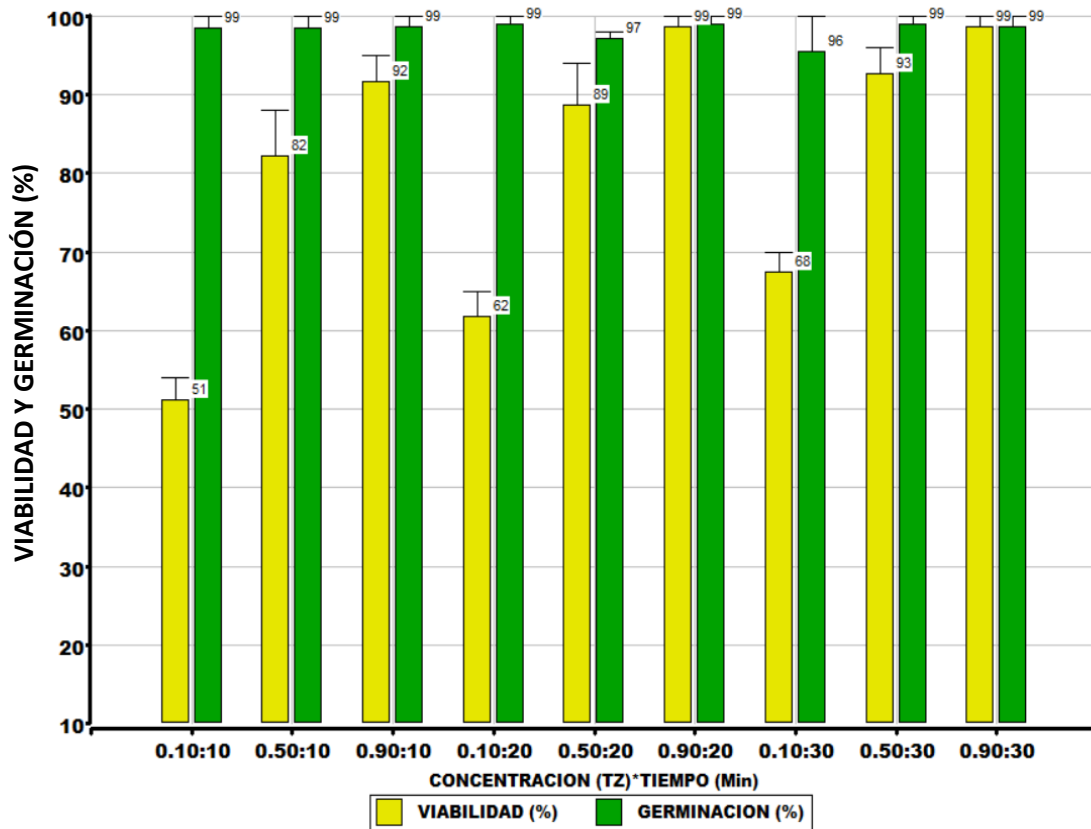


En la figura 13, se observa que la variable porcentaje de germinación de las semillas de quinua las medias están entre 96 y 99%.

De acuerdo a las medias de la variable porcentaje de germinación que el factor A (concentración del tetrazolio 0.10, 0.50 y 0.90%) y el factor B (tiempo de tinción de 10, 20 y 30 minutos) no influyen en la germinación de las semillas de quinua.

La figura 14, presenta los promedios de la variable porcentaje de semillas viables y porcentaje de germinación de semillas de quinua.

**Figura 14.** Promedio general de las variables porcentaje de semillas viables y porcentaje de semillas germinadas de la quinua.



En la figura 14, se puede apreciar que el mayor promedio de viabilidad y germinación obtuvieron el factor A (con una concentración del tetrazolio de 0.90%) con el factor B (tiempo de tinción de 30 y 20 minutos). Por otro lado el promedio mas bajo tiende a tener el factor A (concentración del tetrazolio de 0.10%) con el factor B (tiempo de tinción de 10 minutos).

Por lo tanto estas diferencias obtenidas en el tema del porcentaje de semillas viables de las semillas de la quinua, se puede atribuir a las concentraciones bajas del tetrazolio ejemplo de 0.10% se alejan al factor A, que tiene una concentración de 0.90%. Asimismo, en el porcentaje de germinación de las semillas de la quinua se obtiene poca diferencia en la comparación de medias, por lo tanto se tiene claro que ambos factores no influyen en la germinación de las semillas de la quinua.

#### 5.4 Relación entre porcentaje de viabilidad y porcentaje de germinación de quinua

La relación entre el porcentaje de viabilidad con el porcentaje de germinación, indica la coherencia de los resultados encontrados en relación al comportamiento de las semillas de quinua, resultados que pueden ser aceptados o rechazados.

En el cuadro 17, muestra los tratamientos, 4 repeticiones, cada repetición con 50 semillas, porcentaje de viabilidad, germinación y el valor de correlación. Asimismo, muestra que los valores del porcentaje de germinación son mayores o iguales al porcentaje de germinación cuyos valores son diferentes por las bajas concentraciones del tetrazolio o por un error visual de lectura. Por lo tanto, el tratamiento de 0.5 con un tiempo de 30 minutos, 0.9 con 10, 20 y 30 minutos presentan resultados casi homogéneos en el porcentaje de viabilidad y germinación.

**Cuadro 17.** Correlación entre los resultados de viabilidad y germinación en semillas de quinua

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%	%	VALOR DE
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABLES (Y)	GERMINADAS (X)	VIABILIDAD	GERMINACIÓN	CORRELACIÓN
0.1	10	33	50	65	99	1.00
		33	50	65	100	
		26	49	51	97	
		25	49	49	98	
0.1	20	25	49	50	98	1.00
		29	50	58	100	
		29	50	58	100	
		31	49	62	98	
0.1	30	34	48	68	96	1.00
		30	48	60	96	
		29	45	58	90	
		35	50	70	100	
0.5	10	41	50	82	100	1.00
		44	50	88	99	
		46	48	92	95	
		43	50	86	100	
0.5	20	43	49	85	98	1.00
		45	49	90	98	
		47	49	94	98	
		37	48	74	95	

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%	%	VALOR DE
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABLES (Y)	GERMINADAS (X)	VIABILIDAD	GERMINACIÓN	CORRELACIÓN
0.5	30	45	49	89	98	1.00
		48	50	95	100	
		48	50	96	100	
		41	49	82	98	
0.9	10	50	50	99	99	1.00
		48	48	96	96	
		50	50	100	100	
		50	50	100	100	
0.9	20	50	50	100	100	1.00
		49	49	97	97	
		50	50	100	100	
		50	50	99	99	
0.9	30	49	49	98	98	1.00
		50	50	99	99	
		48	48	96	96	
		50	50	100	100	
<b>PROMEDIO:</b>				<b>82</b>	<b>98</b>	

Los valores aceptables de correlación (r) oscilan entre - 1 y +1, utilizando el programa Info Stat se realizó el cálculo de correlación para cada tratamiento y obteniendo el valor de correlación de 1,00, este valor indica que existe una correlación directa perfecta o fuerte entre los porcentajes de viabilidad y germinación en semillas de quinua.

## 6 CONCLUSIONES

- Para determinar el porcentaje de semillas viables en las semillas de quinua, las concentraciones aplicadas en el trabajo de investigación si tuvo efecto, por lo tanto, la solución de tetrazolio con concentración de 0.90% y con un tiempo de tinción de 30 y 20 minutos obtuvieron medias al 100% en el porcentaje de semillas viables.
- Por otra parte, la solución de tetrazolio con concentraciones de 0.10% con un tiempo de tinción de 10 minutos si tienen efecto, pero obtienen resultados muy bajos una media de 51%, en el porcentaje de semillas viables en las semillas de quinua, esto debido a la aplicación de bajas concentraciones y un tiempo de tinción menor.
- En cuanto al tiempo de tinción también tuvo efecto para determinar el porcentaje de semillas viables en las semillas de quinua ya que presenta un nivel de significancia altamente significativo el tiempo de tinción de 30 minutos, presenta un porcentaje de semillas viables de las semillas de quinua de 86.33% y el de 20 minutos, obtiene un promedio de porcentaje de semillas viables de 83.08%.



## **7 RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS**

- Según los resultados obtenidos de este trabajo de investigación, se recomienda utilizar en los siguientes trabajos de investigación que, las soluciones de tetrazolio con una concentración de 0.90% con un tiempo de tinción de 30 y 20 minutos obtuvieron los resultados al cien por ciento en la prueba de porcentaje de viabilidad de las semillas de quinua.
- Se recomienda en un siguiente trabajo de investigación utilizar las mismas concentraciones del tetrazolio para determinar el porcentaje de semillas viables de las semillas.
- Por otro lado, el factor B (Tiempo de tinción) es importante para la determinación del porcentaje de semillas viables de las semillas. En las posteriores pruebas de viabilidad con el tetrazolio utilizar los tiempos de tinción mayores o diferentes a la que se utilizó en el presente trabajo de investigación, esto dependerá de la capa externa que presenta la semilla, como un ejemplo claro podemos mencionar las semillas de cucurbitáceas presentan capas externas más resistentes a la humedad a comparación con las semillas de la quinua, por lo tanto, se recomienda tiempo de tinción mayores o diferentes del presente trabajo de investigación.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Aboites, G. (1989). Conservación de los recursos filogenéticos: Utilización de los recursos genéticos vegetales de interés para América del Sur. Lima, Perú.
- Aboites, G. (1989). Conservación de los recursos filogenéticos: Utilización de los recursos genéticos vegetales de interés para América del Sur. Lima, Perú.
- Bewley, D., & Black, M. (31 de 07 de 1994). Fisiología del desarrollo y la germinación. *agriTek*.
- Bonifacio, A., & Dizes, J. (1992). Estudio en microscopía electrónica de la morfología de los órganos de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de la cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en relación con la resistencia a la sequía. La Paz, Bolivia: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. Recuperado el 31 de Mayo de 2024
- Botello, E. A. (2018). Viabilidad de semillas de *Glycine max* (L.) utilizando la prueba de tetrazolio. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 3-99.
- Campos Amoedo, S., & Kossmann Ferraz, I. D. (Marzo de 2017). Evaluación de la calidad de la semilla por tinción con tetrazolio durante un estudio de desecación de las semillas recalcitrantes de *Carapa guianensis* Aubl. y *Carapa surinamensis* Miq. - Meliáceas. *REVISTA AFRICANA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA*, 12, 2-9. Obtenido de <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11854>
- Castillo, R. (1988). Almacenamiento a largo plazo de semillas de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y sus efectos en daños cromosómicos. Quito, Ecuador: Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, 1988. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3530>
- Cerovich, M., & Miranda, F. (2004). Almacenamiento de las semillas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela CENIAP.

- Esquinas, J. (1983). *Los recursos fitogenéticos una inversión segura para el futuro*. Madrid, España: Instituto Nacional de investigaciones Agrarias: Consejo internacional de recursos Fitogenéticos. FAO.
- Estrada, R. (2013). Programa nacional de innovacion agraria en cultivos andinos. cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa willd*) en la region de Cusco. JOURNAL ARTICLE, 5-35.
- FAO. (2001). Organizacion de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación UNA. Puno, Perú.
- Gandarillas, A., Rojas, W., Bonifacio, A., & Ojeda, N. (2015). *La Quinua en Bolivia*. La Paz, Bolivia: PROIMPA.
- Gomez Dias, J. M. (2017). Análisis de pureza física y pruebas de germinación en semillas para siembra, en el laboratorio de semillas del ICA, sede Bucaramanga, Santander. Obtenido de [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1870/1/G%C3%B3mez\\_2017\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1870/1/G%C3%B3mez_2017_TG.pdf)
- Gomez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Obtenido de [www.fao.org/publications/es](http://www.fao.org/publications/es)
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metología de la investigación*. Mexico. Recuperado el 25 de Mayo de 2024
- INIAF. (2006). Norma general sobre Semillas de Especies Agrícolas. La Paz, Bolivia: Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF. Recuperado el 29 de Mayo de 2024
- ISTA. (2007). Evaluacion de Plantulas. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo , S., & Baena, M. (2000). *Conservación Ex Situ de Recursos Fitogenéticos*. (I. I. (IPGRI), Ed.) Cali, Colombia. Recuperado el 31 de Mayo de 2024, de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/7f5737a0-d8aa-495d-a9bc-0fdb3c8a32af/content>

- Jaramillo, Sildana; Baena, Margarita. (2000). Material de apoyo a la capacitación en conservación ex situ de recursos fitogenéticos. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Recuperado el 31 de Mayo de 2024, de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10123/T-1478.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lescano, J. (1994). Genética y Mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, cañahua, tarwi, kiwicha, papa amarga, ullucu, mashua y oca. Puno, Perú: Programa Internacional de Waru Waru, convenio INADE/PELT-COTESU. Recuperado el 31 de Mayo de 2024
- MDRyT. (2010). POLITICA NACIONAL DE LA QUINUA. (M. D. (MDRyT), Ed.) La Paz.
- Melgarejo, L. M. (2010). BIOLOGÍA Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS. COLOMBIA. Obtenido de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2019/02/Melgarejo-2010.pdf>
- Murra, J. (1975). Formaciones Económicas y Políticas del Mundo Andino. Lima, Perú.
- Oscó, S. (2009). Productividad de variedad de Quinua (*Chenopodium quinoa*) con la aplicación de diferentes niveles de fertilización orgánica en la localidad de tihuanacu. (f. d. agronomía-umsa, Ed.) La Paz, Bolivia.
- Pulgar, J. (1954). La quinua o suba en Colombia. (F. C. Ministerio de Agricultura, Ed.) Bogotá, Colombia. Obtenido de [https://books.google.com.bo/books/about/La\\_Quinoa\\_o\\_suba\\_en\\_Colombia.html?id=qSoOkAEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.bo/books/about/La_Quinoa_o_suba_en_Colombia.html?id=qSoOkAEACAAJ&redir_esc=y)
- Quelal, M. B., Nazate, K., Villacrés, C. E., & Cuarán, J. (2010). Obtención y Caracterización de un Hidrolizado Proteico de Quinua (*Chenopodium quinoa* willd). *JOURNAL ARTICLE*, 10, 1-11.

- Risi, J., Rojas, W., & Pacheco, M. (2015). PRODUCCIÓN Y MERCADO DE LA QUINUA EN BOLIVIA. La Paz, Bolivia. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>
- Rojas, F. (2013). Botánica Sistemática. La Paz, Bolivia: Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía UMSA.
- Rojas, W. (2021). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua.
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez, P., Leon, P., Alercia, A., . . . Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jager, M., & Padulosi, S. (2010). *Granos andinos*. Obtenido de PROINPA: [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/104701/Granos\\_andinos\\_avances\\_logros\\_y\\_experiencias\\_desarrolladas\\_en\\_quinua\\_ca%C3%B1a\\_y\\_amaranto\\_en\\_Bolivia\\_1413.pdf?sequence=3](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/104701/Granos_andinos_avances_logros_y_experiencias_desarrolladas_en_quinua_ca%C3%B1a_y_amaranto_en_Bolivia_1413.pdf?sequence=3)
- Ruiz, M. (16 de julio de 2020). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. *Technical Report*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/280776094\\_El\\_analisis\\_de\\_tetrazolio\\_en\\_el\\_control\\_de\\_calidad\\_de\\_semillas\\_Caso\\_de\\_estudio\\_cebadilla\\_chaqueña?enrichId=rgreq-413748c5dc73b79e0f63a298369b5080-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MDc3NjA5NDtBUzo5MTM5MTQyN](https://www.researchgate.net/publication/280776094_El_analisis_de_tetrazolio_en_el_control_de_calidad_de_semillas_Caso_de_estudio_cebadilla_chaqueña?enrichId=rgreq-413748c5dc73b79e0f63a298369b5080-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MDc3NjA5NDtBUzo5MTM5MTQyN)
- Salazar, A., Maldonado, A., & Quintero, D. (Septiembre de 2018). Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas de *Linum usitatissimum* L. con la prueba de tetrazolio. *AIA*, 22(3). Recuperado el 29 de Mayo de 2024, de <https://www.redalyc.org/journal/837/83758178005/html/>
- Serrano, H. (2024). Semillas ortodoxas, Recalcitrantes e intermedias en los cultivos. *agriTek*.

- Sevilla, R., & Holle, M. (2004). Recursos Genéticos Vegetales (Primera ed.). (L. L. S.R.L., Ed.) Perú.
- Silmar, B. (2004). Prueba Tetrazolium: Maíz. Obtenido de <https://www.mejoravegetal.criba.edu.ar/semillap/viabilid/maizviab.htm>
- Tapia, M. (1997). Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentacion (Segunda ed.). (O. d. Alimentacion, Ed.) Santiago, Chile.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, V., . . . Zanabria, E. (1979). *LA QUINUA Y LA KAÑIWA*. Bogota, Colombia. Recuperado el 12 de Mayo de 2024, de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16254>
- Vallejo, V. E., Habid, Y., & Roldan, F. A. (2010). Aplicacion de sales de tetrazolide nueva generacion (XTT) para la estimacion de la densidad de microorganismos degradadores de hidrocarburos empleando la tecnica del numero mas probable. *Acta Biologica Colombiana*, 75-90.
- Vilela, E., & Candeira, A. (1994). Principios genéticos para recursos genéticos Curso de conservación de germoplasma – semente. EMBRAPA – *CENARGEM*. Brasilia, Brasil. Recuperado el 31 de Mayo de 20024

## 9 ANEXOS

**Anexo 1.** Presenta los tratamientos, número de semillas viables y germinadas y el porcentaje de viabilidad y germinación en semillas de quinua

TRATAMIENTOS		NÚMERO DE SEMILLAS (50)		%	%
CONCENTRACIÓN (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABLES (Y)	GERMINADAS (X)	VIABILIDAD	GERMINACIÓN
0.1	10	33	50	65	99
		33	50	65	100
		26	49	51	97
		25	49	49	98
0.1	20	25	49	50	98
		29	50	58	100
		29	50	58	100
		31	49	62	98
0.1	30	34	48	68	96
		30	48	60	96
		29	45	58	90
		35	50	70	100
0.5	10	41	50	82	100
		44	50	88	99
		46	48	92	95
		43	50	86	100
0.5	20	43	49	85	98
		45	49	90	98
		47	49	94	98
		37	48	74	95
0.5	30	45	49	89	98
		48	50	95	100
		48	50	96	100
		41	49	82	98
0.9	10	50	50	99	99
		48	48	96	96
		50	50	100	100
		50	50	100	100
0.9	20	50	50	100	100
		49	49	97	97
		50	50	100	100
		50	50	99	99
0.9	30	49	49	98	98
		50	50	99	99
		48	48	96	96
		50	50	100	100
<b>PROMEDIO:</b>				<b>82</b>	<b>98</b>

**Anexo 2.** Promedio de datos porcentuales de las variables (Viabilidad y Germinación en semillas de quinua)

CONCENTRACION (TZ)	TIEMPO (Min)	VIABILIDAD (%)	GERMINACION (%)
0.1	10	65	99
0.5	10	82	100
0.9	10	99	99
0.1	20	50	98
0.5	20	85	98
0.9	20	100	100
0.1	30	68	96
0.5	30	89	98
0.9	30	98	98
0.1	10	65	100
0.5	10	88	99
0.9	10	96	96
0.1	20	58	100
0.5	20	90	98
0.9	20	97	97
0.1	30	60	96
0.5	30	95	100
0.9	30	99	99
0.1	10	51	97
0.5	10	92	95
0.9	10	100	100
0.1	20	58	100
0.5	20	94	98
0.9	20	100	100
0.1	30	58	90
0.5	30	96	100
0.9	30	96	96
0.1	10	49	98
0.5	10	86	100
0.9	10	100	100
0.1	20	62	98
0.5	20	74	95
0.9	20	99	99
0.1	30	70	100
0.5	30	82	98
0.9	30	100	100



**Anexo 3. Imágenes del trabajo de investigación en el laboratorio**



a) Semillas de quinua blanca



b) Soluciones de tetrazolio



c) Solución mas semillas



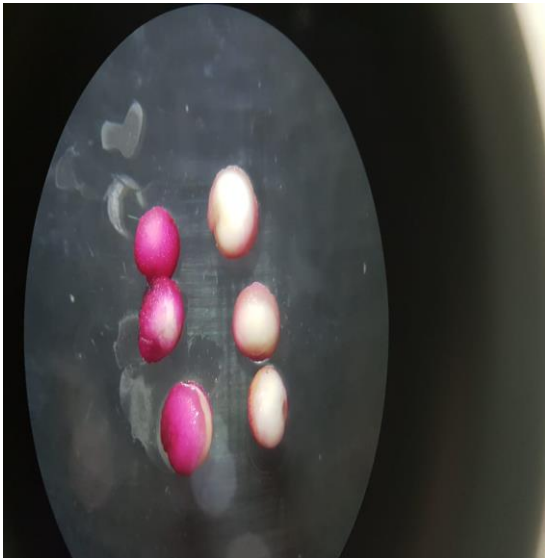
d) tinción de las semillas



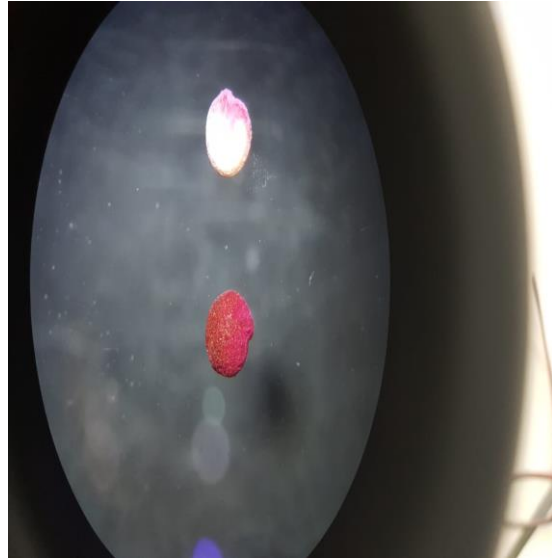
e) Lavado y secado de las cajas Petri



f) Acomodado del algodón en las cajas Petri



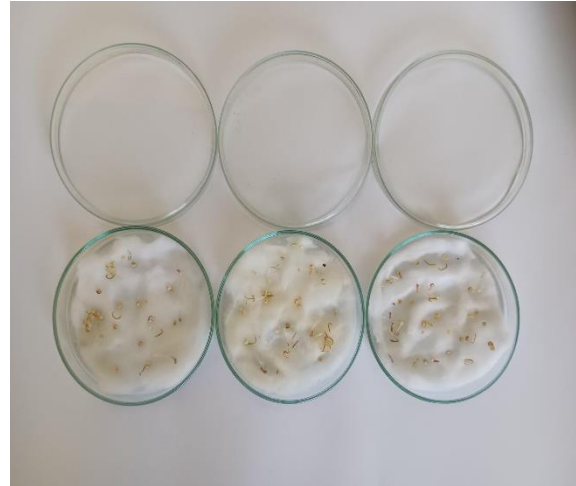
g) Conteo de las semillas



h) Semillas teñidas (viables)  
Semillas blancas (no viables)



i) Siembra de las semillas de quinua en las cajas Petri



j) Semillas germinadas



k) Conteo de las semillas germinadas