



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



**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE SEMILLA DE 50  
ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) DEL  
BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA, PUNO-PERÚ**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**RONALD REYNALDO MIRAMIRA CHIPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERU**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE SEMILLA DE 50 ACCESIONES DE QUINUA A (*Chenopodium quinoa* Willd.) DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA, PUNO-PERU**

AUTOR

**RONALD REYNALDO MIRAMIRA CHIPANA**

RECUENTO DE PALABRAS

**18581 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**107612 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**101 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 15, 2024 9:25 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 15, 2024 9:28 AM GMT-5**

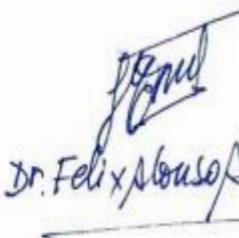
### ● 9% de similitud general

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

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

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

  
Dr. Felix Alonso Astete Maldonado

  
Dr. Manuel Alfredo Callahuanca P.  
Cod. 82081 CIP: 24842

Resumen



## DEDICATORIA

Agradezco a Dios, quien ha sido la fuente de luz que ha guiado cada paso de mi vida, dándome la fortaleza para superar desafíos y alcanzar mis metas. Su generosidad y bendiciones han sido fundamentales en mi camino.

A mis padres Antonio Miramira Rafael y madre Nelly Chipana Condori, quienes me han brindado la existencia y han sido mi apoyo constante, les agradezco por sus lecciones y sus buenos deseos, los cuales han enriquecido mi entendimiento sobre la importancia del trabajo arduo y la entrega. Mi afecto y gratitud hacia ustedes son profundos y sinceros.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi pareja T.S.P.M y queridos hermanos por el constante respaldo que me han brindado con su motivación, energía y perseverancia, aspectos fundamentales en mi desarrollo personal y profesional. Como muestra de mi reconocimiento, dedico este trabajo de investigación.

A mis amigos (as) y compañeros (as), por darme su aliento para seguir adelante, por siempre estar presentes durante mi formación profesional, pero sobre todo durante la ejecución de mi tesis.

***Ronald Reynaldo Miramira Chipana***



## AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han colaborado de diversas formas en la elaboración de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional del altiplano, específicamente a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por proporcionar la educación académica necesaria para mi formación profesional.

Quiero expresar mi gratitud al Dr. Felix Astete Maldonado, por su participación en el asesoramiento de la presente tesis, quien me ha guiado con paciencia y constante apoyo a lo largo de toda la investigación. Sus sugerencias y comentarios han sido de gran importancia para alcanzar los objetivos establecidos.

A al M.Sc. Erika Samantha Pacheco Arenas por el apoyo que me brindaron y sobre todo por compartir sus conocimientos y aportar en la ejecución del presente trabajo de investigación.

**Ronald Reynaldo Miramira Chipana**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.1.1. Problema general.....	20
1.1.2. Problemas específicos .....	20
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
1.2.1. Objetivo general .....	21
1.2.2. Objetivos específicos .....	21
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>1.4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>22</b>
1.4.1. Hipótesis alterna.....	22
1.4.2. Hipótesis específicas .....	22



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
2.1.1. Internacionales .....	24
2.1.2. Nacionales .....	26
2.1.3. Regionales .....	28
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>30</b>
2.2.1. Origen de la Quinua .....	30
2.2.2. Antecedente arqueológicos e historia.....	30
2.2.3. Ubicación botánica.....	31
2.2.4. Distribución.....	32
2.2.5. Descripción botánica de la planta .....	33
2.2.5.1. Raíz .....	33
2.2.5.2. Tallo .....	34
2.2.5.3. Hojas .....	34
2.2.5.4. Inflorescencia .....	35
2.2.5.5. Flores.....	35
2.2.5.6. Semilla .....	36
2.2.5.7. Forma de la semilla .....	36
2.2.5.8. Tamaño de la semilla .....	37
2.2.5.9. Color de la semilla .....	37
2.2.6. Caracterización.....	38
2.2.7. Descriptores.....	38
2.2.1.1. Morfológicos .....	40
2.2.1.2. Bioquímicos .....	41



2.2.1.3. Moleculares .....	44
<b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....</b>	<b>45</b>
2.3.1. Banco de germoplasma .....	45
2.3.2. Quinoa .....	45
2.3.3. Forma .....	46
2.3.4. Largo .....	46
2.3.5. Ancho .....	47
2.3.6. Espesor .....	47
2.3.7. Diámetro.....	47
2.3.8. Peso de 1000 semillas (g).....	48
2.3.9. Acciones.....	48
2.3.10. Variedad .....	48
2.3.11. Eco-tipo .....	49

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>50</b>
3.1.1. Límites.....	50
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad .....	50
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>51</b>
3.3.1. Técnicas.....	51
3.3.2. Instrumentos .....	52
<b>3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>52</b>
3.4.1. Población.....	52
3.4.2. Muestra.....	52



<b>3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>53</b>
3.5.1. Evaluación de las características morfológicas cuantitativas se semillas .	53
3.5.2. Diámetro de la semilla (mm).....	53
3.5.3. Espesor de la semilla .....	54
3.5.4. Peso de 1000 semillas (g).....	54
3.5.5. Color de pericarpio.....	54
3.5.6. Color de episperma .....	54
3.5.7. Forma de las semillas .....	55
3.5.8. Evaluación del contenido de saponinas.....	55
3.5.9. Análisis estadístico.....	56
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS CUANTITATIVAS DE LAS SEMILLAS DE 50 ACCESIONES DE QUINUA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA .....</b>	<b>60</b>
4.1.1. Diámetro de semilla .....	60
4.1.2. Espesor de semilla.....	63
4.1.3. Largo de semilla.....	66
<b>4.2. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE SAPONINAS DE LAS SEMILLAS DE 50 ACCESIONES DE QUINUA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIA.....</b>	<b>72</b>
<b>4.3. CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LAS SEMILLAS DE ACCESIONES DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....</b>	<b>76</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>



<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

**Área:** Ciencias Agrarias

**Tema:** Manejo Agronómico de Cultivos

**Fecha de sustentación:** 21 de noviembre del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio .....	51
<b>Tabla 2</b> Código de Accesiones y ubicación en estantes del Banco de Germoplasma de quinua del INIA .....	52
<b>Tabla 3</b> Test normalidad y homogeneidad para espesor de semilla de las 50 accesiones de quinua.....	64
<b>Tabla 4</b> Análisis de varianza para espesor de semilla de las 50 accesiones de quinua .....	64
<b>Tabla 5</b> Test normalidad y homogeneidad para largo de la semilla de las 50 accesiones de quinua.....	67
<b>Tabla 6</b> Análisis de varianza para largo de las semillas en 50 accesiones de quinua	67
<b>Tabla 7</b> Análisis de varianza para contenido de saponina de las 50 accesiones de quinua.....	73



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Distribución geográfica de la producción mundial de quinua. ....	33
<b>Figura 2</b> Morfología y anatomía de la semilla de quinua.....	37
<b>Figura 3</b> Análisis gráfico del diámetro de semilla en 50 accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) mediante un boxplot. ....	62
<b>Figura 4</b> Evaluación del espesor de semilla en 50 accesiones de quinua ( <i>Chenopodium</i> <i>quinoa</i> Willd.) mediante análisis boxplo .....	65
<b>Figura 5</b> Distribución del largo de las semillas en 50 accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) mediante análisis boxplot .....	68
<b>Figura 6</b> Análisis general de las semillas en 50 accesiones de quinua.....	70
<b>Figura 7</b> Análisis de Diámetro medio aritmético ( $D_a$ ); Diámetro medio geométrico ( $D_g$ ); Área superficial ( $S$ ); Esfericidad ( $\phi$ ) de los granos de las 50 accesiones de quinua.....	71
<b>Figura 8</b> Determinación del contenido de saponina en 50 accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....	73
<b>Figura 9</b> Distribución del porcentaje de contenido de saponinas en diversas accesiones de quinua.....	74
<b>Figura 10</b> Distribución porcentual de los colores del pericarpio en 50 accesiones de quinua.....	76
<b>Figura 11</b> Distribución porcentual de los colores de episperma en 50 accesiones de quinua.....	77
<b>Figura 12</b> Análisis de la distribución de las formas de semilla en 50 accesiones de quinua.....	78



<b>Figura 13</b>	Análisis del coeficiente de correlación de Pearson de datos cualitativos de quinua.....	79
<b>Figura 14</b>	Correlación de indicadores morfológicos de las accesiones de quinua .....	80



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Panel fotográfico.....	89
<b>ANEXO 2</b> Variabilidad de colores de quinua .....	91
<b>ANEXO 3</b> Resultado del contenido de saponina en 50 accesiones de quinua en porcentaje.....	92
<b>ANEXO 4</b> Resultados del tamaño (largo, ancho y espesor) y peso de 1000 semillas de las 50 accesiones de quinua .....	94
<b>ANEXO 5</b> Resultado de las dimensiones de 50 accesiones de quinua: Diámetro aritmético medio (Da), Diámetro geométrico medio (Dg), Área superficial (S), Esfericidad ( $\phi$ ). .....	96
<b>ANEXO 6</b> Resultado de las características cualitativas de las semillas de 50 accesiones de quinua. ....	98
<b>ANEXO 7</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	100
<b>ANEXO 8</b> Autorización para el depósito de tesis al repositorio institucional .....	101



## ACRÓNIMOS

<b>INIA:</b>	Instituto Nacional de Innovación Agraria
<b>INDECOPI:</b>	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad intelectual
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación
<b>MIDAGRI:</b>	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú
<b>MAR:</b>	Método afrosimétrico rápido
<b>MAE:</b>	Método de la espuma afrosimétrico estándar
<b>HPLC:</b>	Método de cromatografía de alta resolución
<b>Da:</b>	Diámetro medio aritmético
<b>Dg:</b>	Diámetro medio geométrico
<b>S:</b>	Área superficial
<b>∅:</b>	Esfericidad



## RESUMEN

Esta investigación se realizó en la E. E. ILLPA-INIA, con el objetivo de caracterizar morfológica y bioquímicamente 50 accesiones de quinua provenientes del Banco de Germoplasma del INIA. Evaluando parámetros como diámetro, espesor, largo, peso de 1000 semillas y contenido de saponina, así como analizar las correlaciones entre características cualitativas (color del pericarpio y episperma). En cuanto al diámetro de semilla destacaron Salcedo INIA (2.05 mm) y Chullpi con un diámetro de 2.19 mm, pero por presentar un espesor de 1.00 mm, se ubica como pequeño. En espesor destaco Salcedo INIA (1.23 mm). En largo destacaron PER1010102, Salcedo INIA y Chullpi, con 2.04 mm a 2.25 mm. En el peso de 1000 semillas los que destacaron fueron: PER1010083 (2.87 g), PER1010125 (2.80 g), PER1010159 (2.70 g), PER1010128 (2.69 g), PER1010163 (2.68 g), PER1010099 (2.56 g) y Salcedo INIA (2.52g). Las accesiones con bajo contenido de saponina (< 0.1 %) incluyen PER1010077 (0.02 %), PER1010078 (0.00 %), PER1010080 (0.07 %), PER1010082 (0.02 %), PER1010092 (0.04 mm), PER1010094 (0.01 %), PER1010124 (0.06 %), PER1010120 (0.03 %), PER1010128 (-0.02 %), PER1010116 (-0.02 %), PER1010161 (-0.01 %), PER1010173 (-0.01 %) y Salcedo INIA (0.04 %). Las cuales son dulces aptos para el consumo directo. La correlación entre Forma y Color del pericarpio (0.26) fue moderada, mientras que entre forma y color de episperma fue débil (0.14); la mayor relación se observó entre color del pericarpio y episperma (0.42). Estos hallazgos son fundamentales para la selección, conservación y desarrollo de variedades con atributos morfológicos y bioquímicos de alta calidad comercial.

**Palabras clave:** Accesiones, Caracterización, Semilla, Quinua, Saponina.



## ABSTRACT

This research was carried out at the ILLPA-INIA E. E. ILLPA-INIA, with the objective of morphologically and biochemically characterizing 50 quinoa accessions from the INIA Germplasm Bank, evaluating parameters such as diameter, thickness, length, weight of 1000 seeds and saponin content, as well as analyzing the correlations between qualitative characteristics (color of pericarp and episperm). In terms of seed diameter, Salcedo INIA (2.05 mm) and Chullpi with a diameter of 2.19 mm stood out, but because it had a thickness of 1.00 mm, it was classified as small. In thickness, Salcedo INIA stood out (1.23 mm). In length, PER1010102, Salcedo INIA and Chullpi stood out with 2.04 mm to 2.25 mm. In the weight of 1000 seeds, the most important were: PER1010083 (2.87 g), PER1010125 (2.80 g), PER1010159 (2.70 g), PER1010128 (2.69 g), PER1010163 (2.68 g), PER1010099 (2.56 g) and Salcedo INIA (2.52 g). Accessions with low saponin content (< 0.1 %) include PER1010077 (0.02 %), PER1010078 (0.00 %), PER1010080 (0.07 %), PER1010082 (0.02 %), PER1010092 (0.04 %), PER1010094 (0.01 %), PER1010124 (0.06 %), PER1010120 (0.03 %), PER1010128 (-0.02 %), PER1010116 (-0.02 %), PER1010161 (-0.01 %), PER1010173 (-0.01 %) and Salcedo INIA (0.04 %). Which are sweet for direct consumption. The correlation between shape and pericarp color (0.26) was moderate, while that between shape and episperm color was weak (0.14); the highest relationship was observed between pericarp color and episperm (0.42). These findings are fundamental for the selection, conservation and development of varieties with morphological and biochemical attributes of high commercial quality.

**Keywords:** Accessions, Seed characterization, Quinoa, Saponin.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), es una dicotiledónea de la familia Amarantaceae, reconocida como un cereal andino por sus múltiples propiedades y atributos distintivos en el cultivo (Urdanegui et al., 2021). Esta semilla destaca por su relevancia nutricional, especialmente en la dieta de niños (Delgado et al., 2009). Destacable también es su composición, pues ofrece una rica fuente de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas, hidratos de carbono, minerales y antioxidantes naturales, presentes especialmente en las variedades de quinua de color (Zurita et al., 2014).

La producción de quinua se caracteriza por una gran diversidad genética, manifestada en una variada gama de colores de plantas, inflorescencias y semillas; diferentes ciclos vegetativos; y un alto valor tanto nutricional como agroindustrial. Además, el contenido de saponina en sus semillas subraya esta variabilidad. Esta heterogeneidad confiere a la quinua una notable capacidad para adecuarse a diversos ambientes agroecológicos, abarcando distintas tipologías de suelos, rangos de precipitación, temperaturas, altitudes, y resistencia a condiciones adversas como heladas, sequías y salinidad (Rojas et al., 2014).

Considerados el núcleo de domesticación de diversas especies autóctonas, los Andes destacan por ser el origen de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), un cultivo milenario esencial en la dieta de las civilizaciones ancestrales andinas y que actualmente se extiende a lo largo de variados entornos agroecológicos de la región. Esta expansión global del cultivo ha sido documentada recientemente (FAO, 2013).



De procedencia andina en Sudamérica, especialmente de Bolivia y Perú, la quinua se reconoce no solo por su amplia diversidad genética sino también por su valor dietético y cultural, considerándose un legado vital para las generaciones actuales y venideras. Recientemente, el cultivo de quinua ha incrementado su presencia, abarcando desde el 55% hasta el 70% de los departamentos en Perú, con una notable expansión en la región Sierra, seguida por la costa y la selva (Huillca & Segura, 2019).

Además de su relevancia cultural y nutritiva, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se distingue por sus beneficios funcionales, incluyendo un alto valor nutricional con una rica concentración de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, lo que también la categoriza como un producto nutracéutico (Palao et al., 2019). Este cultivo se ha adaptado a una diversidad de zonas agroecológicas del altiplano en el sur de Perú y Bolivia, prosperando en altitudes que oscilan entre los 4000 m.s.n.m (Rojas et al., 2014).

La quinua se distingue por ser un alimento integral, único en su clase, al contener aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas, además de ser libre de gluten. Los aminoácidos esenciales, componentes cruciales, se localizan principalmente en el endospermo del grano, en comparación con otros granos donde predominan en el pericarpio o cáscara externa (FAO, 2011).

En el panorama internacional, se registran 16,422 accesiones de quinua junto con sus variantes silvestres, conservadas en 59 bancos de semillas ubicados en 30 naciones diferentes. Es destacable que los bancos de semillas situados en el territorio andino el 88% es resguardado de la diversidad genética de esta especie agrícola (Rojas et al., 2014). Hoy en día, los productores demandan variedades que no solo ofrezcan altos



rendimientos, sino que también sean resistentes a variaciones climáticas, plagas y enfermedades (Delgado et al., 2009).

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo de gran relevancia para la protección de los alimentos globales debido a su notable contenido nutricional y adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (Laura, 2023). Sin embargo, a pesar de su creciente demanda y potencial agrícola, existe una brecha significativa en la especificación detallada de la variedad genética de este cultivo, especialmente en lo que respecta a las características morfológicas de sus semillas (Allende, 2017).

El Banco de Germoplasma del (INIA) en Puno alberga una valiosa colección de accesiones de quinua, representando una amplia gama de la variabilidad en el territorio andino para este cultivo (Laura, 2023). No obstante, gran parte de este material genético no ha sido completamente caracterizado en términos de las propiedades morfológicas de sus semillas, lo cual limita su utilización efectiva en programas de mejoramiento genético y conservación (Morillo et al., 2017).

Según Lozano et al., (2012) la falta de información actualizada constantemente sobre la caracterización morfológica exhaustiva de las semillas de estas accesiones dificulta la identificación y selección de variedades con características deseables para diferentes propósitos agrícolas y nutricionales; en el banco de germoplasma existe una variedad genética lo cual es limitada a nuestra comprensión, lo que podría resultar en la sub-utilización de recursos genéticos valiosos; Entorpece la creación de estrategias eficaces para conservar y gestionar la variabilidad genética de la quinua; restringe la capacidad de los fitomejoradores para desarrollar nuevas variedades que puedan enfrentar los desafíos emergentes, como la variación climática y las nuevas necesidades actuales



de la economía; impide la trazabilidad y autenticación de variedades específicas (Llano, 2012).

Frente a esta situación, resulta claro que se requiere de realizar una caracterización morfológica detallada de las semillas de las accesiones de quinua presentes en el Banco de Germoplasma del INIA-Puno. Este estudio no solo contribuirá a llenar un vacío importante en el conocimiento sobre la variedad genética de la quinua, sino que además proporcionará información valiosa para la conservación, el desarrollo genético y la gestión sostenida de este vital cultivo andino.

### **1.1.1. Problema general**

Escaso conocimiento de las características morfológicas cuantitativas y cualitativas que presentan las semillas y subutilizaciones de las 50 accesiones de quinua del banco de germoplasma del INIA

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características morfológicas cuantitativas y cualitativas que presentan las semillas de 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA?
- ¿Cuáles son los niveles de saponinas de las semillas de 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA?
- ¿Qué correlaciones existe entre las características evaluadas de las semillas de accesiones de quinua?



## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar las características morfológicas cuantitativas y cualitativas de las semillas de 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características morfológicas cuantitativas de las semillas de 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA
- Cuantificar el contenido de saponinas de las semillas de 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma de INIA
- Determinar la correlación entre las características morfológicas cualitativas de las semillas de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

Este estudio de investigación se fundamenta en la importancia de cada una de las accesiones de quinua conservadas en el banco de germoplasma, difieren en tamaño de semilla, peso de 1000 semillas, espesor, forma, color, porcentaje de saponina, contenido de humedad, estado de madurez, etc. Por lo tanto, realizar una adecuada caracterización tomando en cuenta sus variables y/o características es primordial por tomar acciones de mejoramiento genético, para generar variedades.

El cultivo de quinua ha tomado mucha importancia como se puede percibir en la actualidad, la producción se está destinado principalmente para el mercado externo y que ha sido bien aceptada por sus bondades nutricionales; y los productores exportadores han



recibido precios atractivos, incrementando sus ingresos y generando divisas para el país. La mayoría de productores de quinua en la región Puno, son pequeños productores, los que destinan su producción para su autoconsumo, por lo que aún conservan sus cultivares nativos algunos productores, por su mejor adaptación al medio ambiente natural. Sin embargo, por los precios atractivos, cultivan variedades mejoradas para el mercado local.

En el pasado reciente, los productores cultivaban una diversidad de color de quinuas, la mayoría de ellas tenían sabor amargo de la saponina, por lo que las aves causaban menores pérdidas en la cosecha. Sin embargo, en las últimas décadas por las preferencias de mercado se cultivan las variedades mejoradas o de semilla blanco y dulces, produciéndose de esta manera una erosión genética y pérdida de cultivares, así como una disminución en la conservación en su lugar de origen. Desde una perspectiva ecológica, se aspira recuperar los cultivares con potencial para afrontar el cambio climático, con características morfológicas adecuadas, con nivel de saponina y rendimientos aceptables, en situaciones de alto riesgo e incertidumbre durante su cultivo.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis alterna**

Las semillas de las 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA, presentan diferentes características morfológicas tanto cuantitativas como cualitativas.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Las semillas de las 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA presentan diferencias significativas en peso, tamaño, color y forma de las semillas



- El contenido de saponinas varía significativamente entre las 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA
- Existe una correlación positiva significativa entre las características morfológicas cuantitativas y cualitativas de las semillas en las 50 accesiones de quinua



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Internacionales

Morillo et al., (2022) “cuantificar la cantidad de saponinas en materiales de quinua en el departamento de Boyacá, Colombia, utilizando tres métodos afrosimétricos”. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con una combinación factorial de 3x5, donde el primer factor fueron los tres métodos de medición afrosimétrica y el segundo las cinco variedades de quinua. Los hallazgos sugieren que el genotipo Amarilla de Maranganí expuso el mayor contenido de saponinas en todos los métodos evaluados, siendo el método afrosimétrico estándar el más realizable. La clasificación final agrupó a las quinoas en dulces, con contenidos de saponina inferiores al 0.06 %, y amargas, con contenidos superiores al 0.11 %. Este estudio aporta a la caracterización bioquímica del germoplasma de quinua, permitiendo la selección de genotipos adecuados para el consumo y la industria, dada la utilidad actual de las saponinas.

Morillo & Castro, (2017) “estudiar las características genéticas de distintas diversidades de quinua. El análisis, utilizando el coeficiente de Nei-Li, resultó en una división de la población en cuatro grupos distintos, basándose en un nivel de similitud del 0.65 y revelando una heterocigosidad promedio de 0.34, lo cual es bajo comparado con otros estudios en *Chenopodium*. Se abordó una evaluación de Varianza Molecular en la que se descubrió un índice  $F_{st}$ , esto indica una notable diversidad genética de la misma categoría biológica. Se han estudiado varios



marcadores de diversidad genética en este contexto revelaron que las muestras de quinua del depósito de Boyacá presentan una gran homogeneidad. No obstante, se identificó una variabilidad genética subyacente que podría ser explotada en iniciativas de mejoramiento genético con el objetivo de desarrollar nuevos cultivares con atributos superiores.

Lozano et al., (2012) “cuantificar el rendimiento y el porcentaje de saponinas en los sobrantes de quinua tras el proceso de escarificación de exportadores en Bolivia” La metodología empleada es experimental, utilizando la maceración con mezclas hidroalcohólicas. Se observó una variabilidad de los rendimientos de obtención de saponinas en semillas de quinua, fluctuando entre un 36.0 % y un 39.4 % en peso. Paralelamente, la concentración de saponinas en el extracto osciló entre un 47.3 % y un 56.2 %, mientras que en el residuo sólido varió de un 17.3 % a un 22.1 %. Al mismo tiempo, se perfeccionó una técnica de extracción de saponinas mediante maceración utilizando soluciones hidroalcohólicas. Este método se evaluó considerando diversos factores: la proporción masa/volumen de extracción, la duración del proceso y la proporción de etanol/agua en volumen. Se determinó que la proporción más eficaz es de 1/9 en masa/volumen. El período óptimo de extracción se estableció en 72 horas, y la mezcla más efectiva fue la de etanol/agua al 50 %. Para cuantificar la cantidad de saponinas se emplearon tres técnicas: formación de espuma, cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y análisis espectrofotométrico UV. Los hallazgos revelaron discrepancias menores entre los métodos; sin embargo, el análisis por HPLC, al presentar menor margen de error, se recomienda como método de referencia frente a los otros dos, que resultan más económicos. Es fundamental



utilizar un patrón de saponinas de quinua como punto de comparación en todos los procedimientos de análisis.

Koziol, (1991) “cuantificación de saponinas en quinua y su relación con la percepción de amargura en las semillas”. La metodología empleada fue un diseño experimental donde se compararon dos técnicas afrosimétricas: una estándar y una rápida, esta última reduciendo el tiempo total de análisis de 73 a 7 minutos. Se utilizó un panel de cata sensible a la amargura para calibrar la metodología. Los resultados mostraron que las semillas con alturas de espuma de 1.3 cm o menos se consideraban dulces y las que superaban este valor, amargas. La conclusión fue que el método afrosimétrico rápido es efectivo y práctico para usar en el campo. Esta investigación aporta a la agronomía y la industria alimentaria proporcionando una herramienta rápida y eficiente para la selección de una diversidad de quinua con poca cantidad de saponinas, crucial para la aceptación del consumidor y la viabilidad comercial del cultivo.

### **2.1.2. Nacionales**

Allende, (2017) “Analizar la diversidad y la composición genética de 180 muestras de quinua procedentes de Perú mediante caracterización morfológica y molecular”. En la metodología utilizó descriptores morfológicos recomendados por Bioversity y 5 primers microsatélites para la caracterización molecular. Los resultados morfológicos revelaron variaciones significativas entre las accesiones, durante la imdagación de mecanismos trascendentales, se detectó una clasificación de accesiones en función de los diversos analisis de rendimiento y tamaño de las plantas. El análisis molecular identificó un total de 20 alelos con un rango de heterocigosidad de 0.64 a 0.94, demostrando una alta variabilidad



genética. Los exámenes de agrupamiento y las coordenadas principales verificaron la estructuración genética leve entre las poblaciones, con una baja estructura genética ( $F_{st}=0.08$ ). Esta investigación aporta a la exploración de la variación genética de la quinua en Perú, facilitando la conservación y el uso eficaz de estos componentes genéticos en programas de avance.

Ormeño, (2015) “establecer si las accesiones de quinua se agrupan según su origen geográfico” La metodología empleada incluyó el uso de 16 accesiones de quinua, formando bulks de cinco individuos cada uno, y utilizando 10 primers para generar 34 bandas polimórficas con pesos moleculares de 140 a 300 pb. Los datos fueron procesados en el programa NTSYS versión 2.1, utilizando el coeficiente de similitud Jaccard y el método UPGMA para crear un dendrograma. Según los resultados, se clasificaron las muestras en seis grupos con una similitud de 0.70, mostrando una diversidad genética significativa entre las muestras analizadas. Por ejemplo, el grupo uno incluyó accesiones de Arequipa y Puno, mientras que el grupo dos agrupó varias de Cajamarca y Cuzco. La conclusión destacó la eficacia de los marcadores SSR para discriminar entre diferentes orígenes geográficos de la quinua, lo que aporta valiosamente la implementación de enfoques para mantener la riqueza genética y el mejoramiento genético de la quinua.

Llano, (2012) “describir la morfología de compuestos avanzados de quinua y examinar sus factores de rendimiento en dos ubicaciones dentro del Valle del Mantaro”. La investigación empleó un esquema de bloques totalmente al azar, con 3 interacciones, para examinar el rendimiento de dos grupos de quinua, A “PUKA JUNIN” y B “VERDE JUNIN”, bajo diferentes condiciones ambientales. Se utilizaron técnicas como análisis de varianza combinado para cada grupo y



regresión lineal para identificar relaciones entre diferentes variables y el desempeño. Los hallazgos indicaron que el Grupo A tuvo un contenido de saponina de 0.049 % y el Grupo B de 0.028 %, ambos considerados aceptables y clasificados como quinuas dulces. Los componentes que más contribuyeron al rendimiento fueron la distancia de panoja en el Grupo A, el diámetro de grano en el Grupo B, el diámetro de panoja y el peso de grano por panoja. La tesis concluye que los grupos de quinua presentaron buenos caracteres agronómicos y menor interacción ambiental, lo que sugiere que la mezcla de variedades puede ser efectiva bajo diferentes condiciones ambientales.

Elias et al., (1991) cuantifica las concentraciones de saponinas en varias muestras de quinua utilizando un método afrosimétrico estandarizado, que evalúa la concentración de saponinas a partir del nivel de la espuma que se forma en solución acuosa. Este método mostró variaciones reveladoras en la cantidad de saponinas entre los ejemplares analizados, con cantidades que iban desde niveles indetectables en variedades dulces como Sajama hasta niveles muy altos en variedades amargas como San Juan INIAP. Los resultados, que incluyeron mediciones como 0.57 mg/g y 0.06 % de saponinas en Sajama 3, y 1.60 mg/g y 0.16 % en Perulac entera, destacaron la utilidad del método afrosimétrico por su rapidez y fiabilidad para identificar variedades de quinua con poca cantidad de saponinas, adecuadas para el consumo humano y animal, contribuyendo significativamente a la selección y mejora de la calidad de la quinua.

### **2.1.3. Regionales**

Laura, (2023) “realizar la caracterización agrícola y morfológica de 24 variedades de quinua heredadas de generaciones pasadas”. La evaluación se



realizó en los centros experimentales de Camacani e Illpa, esgrimiendo un diseño experimental factorial 2x2 en bloques completamente al azar. Se encontraron disparidades de importancia en los resultados según el análisis de varianza entre accesiones en caracteres cuantitativos como el peso de las semillas, donde la accesión Maranga obtuvo el peso más alto con 5.84 gramos. En términos de rendimiento, la accesión Kancolla fue la más alta con 0.652 kg por parcela. Este estudio contribuye al entendimiento de la diversidad agronómica y morfológica de la quinua, proporcionando información invaluable para el perfeccionamiento genético y la selección de accesiones con características deseables para la agricultura sostenible en altitudes elevadas.

Laqui & Limaylla, (2022) se enfocó en evaluar las propiedades físicas de tres ecotipos de quinua de diferentes colores, así como el rendimiento, las características fisicoquímicas y las funcionalidades del almidón extraído. Inicialmente, se investigaron las propiedades físicas de los granos. Posteriormente, se procedió a la extracción del almidón para analizar su rendimiento y explorar sus características fisicoquímicas, específicamente la cuantía de amilosa y amilopectina, utilizando técnicas espectrofotométricas. Además, se estudiaron los peculios prácticos del almidón, como la temperatura de gelatinización, utilizando un termómetro, y el poder de hinchamiento, la capacidad de absorción de agua y el índice de solubilidad, que fueron medidos a destemplanzas estables durante treinta minutos, seguidos de centrifugación y secado. Los resultados revelaron que la densidad vario de 1250 a 1253 kg/m<sup>3</sup>, humedad de 10.57 % a 11.25 %, , el radio de 0.820 a 0.880 mm, el volumen de 2.31 a 2.86 mm<sup>3</sup> y se contabilizaron entre 280 y 347 granos por gramo. Por otro



lado, los granos hidratados mostraron variaciones significativas en sus características.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Origen de la Quinua**

La quinua es reconocida como una especie agrícola típica de la región andina, y se acepta ampliamente que su origen se sitúa en el altiplano compartido entre Perú y Bolivia, zonas que albergan una vasta diversidad tanto de cultivos como de especies silvestres (Gabriel et al., 2012). Los registros arqueológicos sugieren que su cultivo en los Andes se remonta a unos 7000 años atrás, emergiendo en las proximidades del lago Titicaca, en la frontera boliviano-peruana (Zurita et al., 2014).

Hallazgos arqueológicos significativos indican que los cereales andinos, entre ellos la quinua, formaban parte fundamental de la dieta durante la era precolombina (Tapia, 2022). Asimismo, se ha documentado su presencia en artefactos cerámicos de la cultura Tiahuanaco, en los cuales se detallan varias partes de la planta (Allende, 2017).

Durante milenios, en los andes la quinua ha sido el sustento principal para las civilizaciones pasadas (FAO, 2011)

### **2.2.2. Antecedente arqueológicos e historia**

Los registros históricos, complementados por hallazgos arqueológicos, lingüísticos y etnográficos, sugieren un conocimiento limitado sobre los rituales asociados al cultivo de la quinua. A través de descubrimientos en el norte de Chile, se ha documentado que el manejo de la quinua data de 3000 años antes de Cristo



(Tapia, 2022). Por otro lado, investigaciones en las zonas de Ayacucho indican que la aclimatacion de este cultivo se remonta a 5000 a.c.de acuerdo con (Rojas, 2011).

Tapia, (2022) menciona el descubrimiento de semillas e inflorescencias de quinua en criptas arqueológicas de Arica, Calama, Tarapacá y diversas zonas del Perú, evidenciando la presencia significativa de estas en sepulturas precolombinas de Quillagua y Tiltil en Chile.

Se reconoce a la quinua como un de los sembrios más ancestrales del territorio andino, con un historial de alrededor de 7000 años de agricultura. En el proceso de su domesticación y preservación, han contribuido civilizaciones prominentes como la Incaica y el Tiahuanacota (FAO, 2013).

### **2.2.3. Ubicación botánica**

Según el Chase et al., (2016) indica la siguiente ubicación botánica:

Reino: *Plantae*

División: *Tracheophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Sub-clase: : *Caryophyllales*

Orden: *Caryophyllales*

Familia: *Amaranthaceae*

Sub-familia: *Chenopodioideae*

Tribu: *Chenopodieae*

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.



#### 2.2.4. Distribución

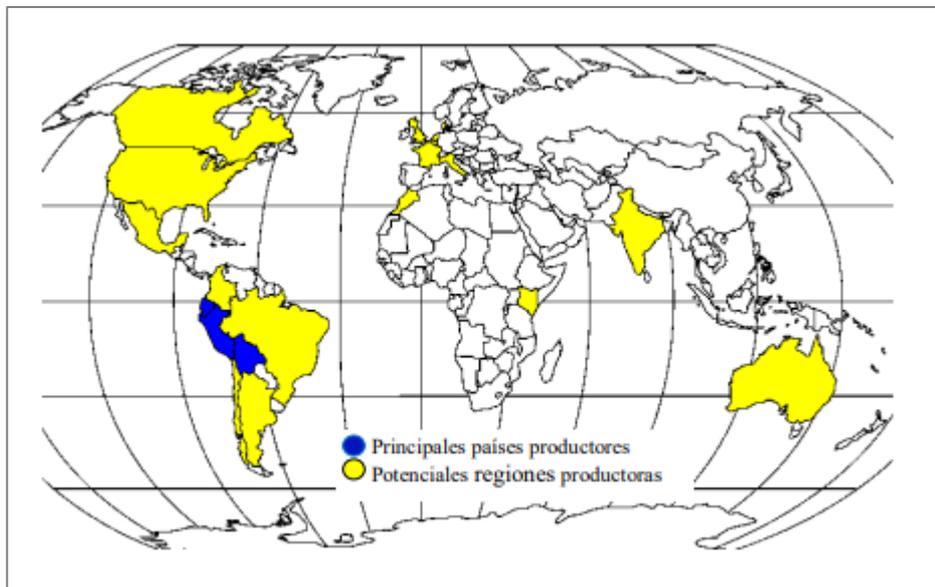
La distribución de semillas de quinua muestra una variada gama de formas y una rica diversidad de genotipos y progenitores silvestres, principalmente en las áreas circundantes del lago Titicaca en Perú y Bolivia. Se registró la mayor variedad genética entre Potosí - Bolivia y Sicuani (Cusco) - Perú (Parra & Leguizamón, 2018).

El cultivo de la quinua se ajusta específicamente a distintas áreas agroecológicas y regiones globales. Se observa una creciente expansión de este cultivo no solo en las áreas tradicionales de Perú, Bolivia y Ecuador, sino también a través de los continentes de América del Sur, África, América del Norte, Europa, Oceanía y Asia. Conforme a la repartición geográfica de su elaboración general (figura 1), se identifican tanto las regiones donde ha sido tradicionalmente cultivada como aquellas emergentes, que aunque en fases iniciales de producción, muestran un potencial de crecimiento significativo (Cogliatti & Heter, 2016).

La notable diversidad genética del cultivo de quinua, junto con su capacidad para adaptarse, le permite exhibir variadas características morfológicas, fenológicas y fisiológicas, que fluctúan de acuerdo con las circunstancias medioambientales del clima y de la tierra. Estos factores son cruciales y deben ser meticulosamente considerados en investigaciones destinadas a contrarrestar la degeneración genética. Dentro de este entorno, el *Chenopodium quinoa* Willd se convierte en un elemento esencial para la seguridad y en control alimentario de diversas naciones (Parra & Leguizamón, 2018).

## Figura 1

*Distribución geográfica de la producción mundial de quinua.*



Nota. referenciada de (Cogliatti & Heter, 2016)

### 2.2.5. Descripción botánica de la planta

La quinua se cataloga como una planta anual y rustica de tipo dicotiledónea. Posee propiedades distintivas claras y su altura fluctúa entre 0.60 y 3.00 metros. Esta variabilidad depende fundamentalmente de la diversidad de cultivo, las situaciones climatológicas, la fertilidad del terreno y la disponibilidad hídrica (Apaza et al., 2013)

#### 2.2.5.1. Raíz

La quinua desarrolla una raíz principal robusta de tipo pivotante, de la cual emergen numerosas raíces laterales o secundarias. Estas raíces varían considerablemente en longitud, oscilando entre 0.8 y 1.5 metros, y su tamaño Su evolución depende de la diversificación de la vegetación y las particularidades del terreno y el clima (Gómez et al., 2014). Esta

estructura radicular, tanto fibrosa como ramificada, confiere a la planta una estabilidad aumentada y una notable resistencia a condiciones de sequía (Rojas et al., 2014).

#### **2.2.5.2. Tallo**

El tallo, que conecta la base de la planta con la raíz, suele ser cilíndrico, aunque se torna anguloso cerca de las zonas donde se forman las hojas y las ramas (Gómez et al., 2014). En su etapa juvenil, el tallo es suave, pero con el tiempo adquiere una textura más esponjosa y seca, resultando en tallos huecos en el momento de la cosecha (Flores, 2017). Dependiendo del patrón de crecimiento, los tallos pueden ser simples o bien ramificados (Lozano et al., 2012). Durante la floración, los tallos muestran una diversidad cromática que abarca tonalidades desde el verde hasta el púrpura con variaciones en la pigmentación axilar (Gómez et al., 2014). Al alcanzar la madurez fisiológica, los tallos adquieren una corteza compacta y dura, presentando una amplia gama que incluyen tonos como blanco, negro verde, amarillo, rojo, naranja, rosado, púrpura y gris (FAO, 2013).

#### **2.2.5.3. Hojas**

Las hojas de la quinua se disponen de forma alterna y se componen de un pecíolo largo y acanalado, y una lámina que puede tomar formas romboidales, triangulares o lanceoladas (Gomaa, 2014). Los perfiles de las hojas podrían exhibir una textura uniforme, dentados o serrados, y su coloración varía ampliamente, desde verdes hasta rojos con diversas tonalidades (Apaza et al., 2013). Las hojas jóvenes exhiben una

pubescencia granular en ambas superficies, la cual contiene cristales de oxalato de calcio en una gama de colores que incluye cristalino, rojo, rosado y púrpura (Apaza et al., 2013).

#### **2.2.5.4. Inflorescencia**

La inflorescencia de la quinua se presenta en forma de panoja, cuya longitud puede variar entre 15 y 70 cm. Esta estructura se compone de un eje principal del que se desprenden múltiples ramificaciones secundarias y terciarias; las flores se agrupan en glomérulos que pueden adoptar formas desde amarantiformes hasta intermedias (Gómez et al., 2014). Estos glomérulos están compuestos por flores sostenidas por pedicelos que se emerjan principalmente en el eje de la inflorescencia con su compleja estructura de panoja y sus adaptaciones morfológicas, es un componente esencial tanto para la reproducción de la planta como para su éxito agronómico. La comprensión de estas características permite a los agricultores y científicos mejorar las técnicas de cultivo y selección de variedades, optimizando así la producción de quinua (Apaza et al., 2013).

#### **2.2.5.5. Flores**

Las flores de la quinua son pequeñas, de hasta 3 mm, inconclusas, sésiles y carecen de pétalos. Esta especie es ginomonoica, es decir, produce dos tipos de flores en la misma planta: hermafroditas y pistiladas (femeninas), así como flores androestériles, lo cual permite un grado de polinización cruzada del 17%. Las flores de la quinua, aunque pequeñas y sin pétalos, desempeñan un papel fundamental en la reproducción de la planta a través de un complejo sistema de polinización que incluye flores

hermafroditas, pistiladas y androestériles, permitiendo así una modesta pero significativa polinización cruzada (Gómez et al., 2014).

#### **2.2.5.6. Semilla**

La semilla de quinua es un aquenio que presenta una forma variada: lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, caracterizada por un ensanchamiento leve en el centro. Esta estructura se encuentra envuelta por el perigonio, un recubrimiento floral de color diverso que encierra el fruto y que se desprende fácilmente al alcanzar la madurez fisiológica (Rojas et al., 2014). El tamaño del fruto oscila entre 1.5 y 4 mm de diámetro la cubierta de la semilla tiene una función protectora crucial, no solo resguardando el embrión de la desecación y de ataques de patógenos, sino también facilitando la dispersión de la semilla en el (Rojas et al., 2014). entorno natural. Este mecanismo de dispersión es vital para la propagación y perpetuación de la especie, permitiendo que las plantas de quinua puedan colonizar nuevas áreas y mantenerse viables en diversos ecosistemas (Quispe, 2015).

#### **2.2.5.7. Forma de la semilla**

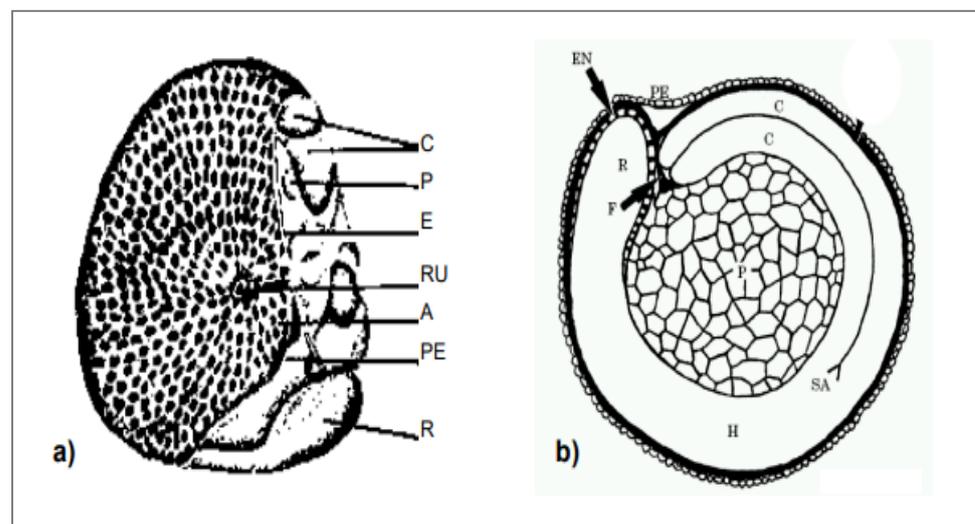
La forma de la semilla de quinua es una característica morfológica distintiva que puede variar entre accesiones. Se describe típicamente como lenticular, cilíndrica o elipsoidal. La forma está determinada genéticamente y puede influir en aspectos como la facilidad de procesamiento, la textura del producto final y la preferencia del consumidor (Hernández et al., 2016).

### 2.2.5.8. Tamaño de la semilla

León, (2003) menciona que las semillas grandes presentan diámetros superiores a 2 mm, las medianas entre 1.8 y 1.9 mm y las pequeñas menos de 1.7 mm.

### Figura 2

*Morfología y anatomía de la semilla de quinua.*



*Nota.* Referenciada de (Prego et al., 1998; Hernández et al., 2016); Partes 1a) y 1b). Cotiledones (C); Perisperma (P); Episperma (E); Región de la unión (RU); Alvéolo (A); Pericarpio (PE); Radícula (R); Funícula (F); Eje radicular y cotiledonar (H); Ápice del tallo (SA).

### 2.2.5.9. Color de la semilla

Al alcanzar la madurez fisiológica, las semillas de quinua exhiben una considerable diversidad cromática. La paleta incluye tonalidades como blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, cafés claros y oscuros, verdoso y negro. Según estudios realizados en la colección nacional de quinua de Bolivia, se han identificado hasta 66 distintos tonos en estos granos. Respecto a la configuración del grano, se reconocen principalmente cuatro formas: lenticular, cilíndrica, elipsoidal y cónica.



Además, el diámetro de estos granos muestra una variabilidad, oscilando entre 1,36 mm y 2,66 mm (Bioversity International, 2013).

#### **2.2.6. Caracterización**

Flores (2017), aborda la caracterización de especies, subrayando la relevancia de la variabilidad genética en el conjunto de individuos que componen una población. Esta variación puede manifestarse tanto en el genoma de especies animales como vegetales, encapsulando toda la información genética necesaria para el reconocimiento y definición de aspectos morfológicos fundamentales para el desarrollo y la ejecución de funciones vitales para la supervivencia.

La evaluación de una colección, sin importar su magnitud, implica la consideración de la diversidad genética del grupo objeto de estudio, abarcando características fenotípicas, evaluativas y moleculares, conforme a los descriptores ya establecidos (Apaza et al., 2013).

En cuanto a la caracterización agro-morfológica, esta permite una diferenciación clara y crucial entre fenotipos. Se identifican específicamente rasgos altamente visibles, que tienen la posibilidad de ser detectados sin complicaciones a primera vista y se manifiestan consistentemente en diversos ambientes. Además, se pueden seleccionar algunos caracteres adicionales que son considerados valiosos por la comunidad de usuarios de un cultivo específico (Franco & Hidalgo, 2003)

#### **2.2.7. Descriptores**

Un descriptor es identificado como un rasgo o cualidad cuya evaluación se realiza con facilidad, permitiendo su medición, documentación o análisis



sistemático. Este se relaciona con la apariencia, conformación o conducta de una accesión. Estos atributos son cruciales para la caracterización y apreciación de las accesiones, pues proporcionan la base para su distinción y contribuyen a la descripción del rasgo de manera uniforme y detallada. Asimismo, agilizan el proceso de clasificación, almacenaje, acceso y manejo de la información (Franco & Hidalgo, 2003)

La eficacia y utilidad de los descriptores puede determinarse mediante su aplicación reiterada. En consecuencia, los descriptores pueden ser modificados o eliminados de la lista si se considera que no aportan las características deseadas. Los criterios a tener en cuenta al seleccionar los descriptores incluyen su heredabilidad, relevancia taxonómica, importancia agronómica, morfológica y molecular, y la facilidad con que pueden ser registrados (FAO, 2011)

Estos permiten una discriminación rápida y efectiva entre diferentes fenotipos. Es habitual que para evaluaciones cuantitativas se registren todas las plantas seleccionadas al azar, asegurándose de excluir plantas periféricas, y en evaluaciones cualitativas, se toma en cuenta alrededor del 50% de las plantas de la población existente. Es crucial definir una categoría que englobe un conjunto esencial de descriptores para la nominación y manejo adecuado de la quinua (Valdez, 2019).

Los descriptores de evaluación reflejan las características ambientales, lo que requiere la aplicación de metodologías experimentales diversas para su valoración. En estas evaluaciones se deben emplear métodos de caracterización molecular o bioquímica complejos. Los descriptores deben incluir características como el rendimiento, la producción agronómica, la resistencia al estrés hídrico,



así como atributos bioquímicos, citológicos y moleculares. Es importante enfocarse en las propiedades más relevantes para el mejoramiento de los granos andinos (FAO, 2011).

Para diferenciar eficientemente entre fenotipos, es común evaluar atributos con alta heredabilidad que se identifican fácilmente a simple vista y que se presentan de manera consistente en variados ambientes. Además, se pueden considerar ciertos rasgos suplementarios que, según las necesidades particulares de los usuarios del cultivo, podrían ser beneficiosos (FAO, 2013).

#### **2.2.1.1. Morfológicos**

Las propiedades morfológicas cumplen una función vital en la evaluación de especies agrícolas. Estas características pueden ser cuantitativas o cualitativas e incluyen diversos atributos botánico-taxónomicos, así como otros aspectos que, aunque no determinan específicamente la especie, son esenciales desde la perspectiva de la agronomía, el mejoramiento genético, y los mercados de consumo (Franco & Hidalgo, 2003).

Las características morfológicas abarcan descripciones como la configuración y el color de las hojas; sus dimensiones y pigmentaciones presentes en raíces, tallos, hojas y flores; así como el tono, forma y lustre de las semillas. También se consideran la forma del fruto, color, el tamaño y la anatomía de la planta, evidenciada en el patrón de crecimiento y la ramificación. Frecuentemente, los curadores de germoplasma añaden descriptores que hacen alusión a componentes de la productividad, con el objetivo de orientar a los fitomejoradores sobre las posibilidades de estas



características dentro del germoplasma almacenado. En su mayoría, estos descriptores presentan una heredabilidad aceptable a nivel local, aunque su expresión puede ser influenciada por las condiciones ambientales y los cambios climáticos (Triguero, 2021).

#### **2.2.1.2. Bioquímicos**

##### **a) Saponinas**

Históricamente, el sabor amargo de la quinua ha representado un desafío para su consumo. Los habitantes originarios del altiplano encontraron una solución parcial mediante repetidos lavados del grano para eliminar la saponina, el alcaloide causante de dicho sabor. Este compuesto no solo amarga el grano, sino que también posee la capacidad de hemolizar glóbulos rojos y es altamente tóxico para especies ectotérmicas (Llano, 2012).

Se ha observado que las saponinas se acumulan predominantemente en el pericarpio de los granos. En las variedades silvestres y aquellas con un sabor más amargo, se ha estimado que la concentración de saponinas puede alcanzar hasta un 2.8% aunque esta cifra varía según la variedad y el ecotipo. Investigaciones llevadas a cabo en el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya en Bolivia indican que un 74.49% de las accesiones analizadas corresponden a variedades amargas, mientras que solo un 25.51% son consideradas dulces (Llano, 2012).

La variabilidad en la concentración de saponinas depende significativamente del ecotipo o accesión, oscilando entre 0% y 3% en



peso seco. Las semillas con un grado de amargor elevado presentan concentraciones del 1% y 3%, mientras que las de cantidades medias varían de 0.1% y 1%, y las diversidades más dulces se sitúan entre 0% y 0.1% (Triguero, 2021).

En una reciente investigación, se ha analizado la eficiencia de extracción de saponinas usando diferentes concentraciones de etanol y agua a escala industrial. Se determinó que una concentración de etanol del 15% y un periodo de refrigeración de 24 horas maximizan la extracción de saponinas, alcanzando un 25.01% (Prego et al., 1998).

Identificadas como metabolitos secundarios, las saponinas se acumulan principalmente en la cáscara de las semillas de quinua. Se han detectado cerca de treinta variedades de estas sustancias, derivadas de ácidos como el oleanólico, hederagenina, phytolaccagenic y serjanic en la planta (Ahumada et al., 2016).

Pertencientes a una extensa familia de glucósidos, las saponinas obtienen su denominación del género botánico Saponaria, conocido por sus raíces jabonosas. Son predominantemente extraídas de leguminosas tales como los guisantes y la soya, donde el término latino "sapo", que significa jabón, es testimonio de sus propiedades espumantes en soluciones acuosas (Vicente, 2013).

A pesar de sus beneficios, el uso de la quinua a menudo se ve limitado por las saponinas, debido a su sabor amargo y a su capacidad de lisar eritrocitos y actuar como toxinas para los peces. Investigaciones adicionales han destacado su potencial para disminuir la concentración de



colesterol en el suero, gracias a sus propiedades antilipémicas (Elias et al., 2013).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de los extractos de saponinas. obtenidos de los sobrantes de la descascarilladura de quinua en exportadoras de Potosí, Oruro departamentos de La Paz. La productividad osciló entre el 36.0% y el 39.4% p/p, con concentraciones de saponinas en los extractos variando entre el 47.3% y el 56.2%, y entre el 17.3% y el 22.1% en los residuos sólidos. Se mejoró un procedimiento de obtención mediante maceración empleando combinaciones de etanol y agua, con la mejor relación masa/volumen de 1/9, un tiempo de extracción de 72 horas y una combinación óptima de 50/50 EtOH/H<sub>2</sub>O. La comparativa entre los procesos de detección de saponinas (espuma, espectrofotometría UV y HPLC) demostró variaciones mínimas, aunque la cromatografía HPLC presentó la menor tasa de error y se recomienda como control frente a métodos más coste-efectivos (Lozano et al., 2012).

Identificadas como compuestos químicos localizados en la envoltura externa de la semilla de quinua, las saponinas confieren un característico sabor amargo al cereal (INDECOPI, 2014). Según investigaciones de Ahumada et al., (2016), esta capa externa o pericarpio alberga saponinas de tipo triterpénico. El contenido de estas sustancias varía significativamente entre las diferentes cepas, lo que facilita su categorización en quinuas de tipo dulce cuando poseen un bajo contenido de saponinas, fluctuando entre el 0.11 % y el 2.3 %. Además de ser consideradas como el principal componente anti nutricional de la cobertura seminal, las saponinas exhiben diversas propiedades beneficiosas para la



salud humana. Estas incluyen efectos analgésicos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antioxidantes, antivirales y citotóxicos, influyendo positivamente en la absorción de minerales y vitaminas (Valdez, 2019).

### **2.2.1.3. Moleculares**

La denominación "molecular" en la caracterización se emplea porque aborda la identificación de productos y funciones celulares internas, distinguiendo variaciones que no son perceptibles mediante la observación directa. Por ende, se utilizan métodos de laboratorio avanzados para detectar esta diversidad, agrupados bajo la categoría de marcadores moleculares.

Estos marcadores, considerados fenotípicamente neutros, exhiben una segregación o variabilidad genética superior a la de los marcadores morfológicos. Su evaluación es posible desde las primeras fases fenológicas del cultivo, aplicándose a cualquier tipo de tejido vegetal (Byng et al., 2016). Además, su uso no está condicionado por la estacionalidad, facilitando la identificación precisa de las variedades sin depender de numerosos caracteres distintivos. Su relevancia es crucial tanto en investigaciones fundamentales, como los análisis filogenéticos y la identificación de genes pertinentes, como en estudios aplicados, incluyendo la identificación guiada por marcadores, Investigación de vínculos biológicos y el control de los productos alimenticios (Ormeño, 2015).

Desde la revelación de la estructura del ADN por Watson & Crick, (1953), la biología molecular ha experimentado un avance significativo,



fundamentando la comprensión del código genético y los procesos que determinan las características heredables, tanto visibles como ocultas, de los organismos. Este campo ha catalizado un amplio espectro de investigaciones que continúan expandiéndose bajo el ámbito de la biología molecular (Sparg et al., 2004). Estos estudios han desentrañado múltiples consecuencias del descubrimiento, afectando disciplinas como la evolución, la biología y la genética. Es esencial destacar cómo los elementos abióticos y bióticos influyen en la variabilidad observable y pueden alterar o inducir nuevas variaciones en las moléculas esenciales del núcleo y del citoplasma celular (Franco & Hidalgo, 2003).

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. Banco de germoplasma**

El banco de germoplasma constituye un reservorio vital de diversidad genética, albergando una colección meticulosamente conservada de material vegetal. En el contexto de la quinua, este repositorio salvaguarda la variabilidad de la especie, desde variedades ancestrales hasta cultivares modernos, fungiendo como un escudo contra la erosión genética y como plataforma para la investigación fitogenética. Su gestión implica la caracterización, documentación y preservación de accesiones, facilitando su utilización en programas de mejoramiento y garantizando la seguridad alimentaria futura (Ormeño, 2015).

### **2.3.2. Quinua**

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal originario de los Andes, por su excelente perfil nutricional y capacidad para prosperar en diferentes entornos ambientales. Pertenece a la familia Amaranthaceae y se



caracteriza por sus semillas pequeñas y redondas, ricas en proteínas, aminoácidos esenciales y minerales. Su importancia radica en su potencial para la seguridad alimentaria global y su versatilidad culinaria, siendo un cultivo clave en la agricultura andina y cada vez más apreciado mundialmente (Morillo et al., 2022).

### **2.3.3. Forma**

La forma de la semilla de quinua es una característica morfológica distintiva que puede variar entre accesiones. Se describe típicamente como lenticular, cilíndrica o elipsoidal. La forma está determinada genéticamente y puede influir en aspectos como la facilidad de procesamiento, la textura del producto final y la preferencia del consumidor (Hernández et al., 2016). En la caracterización morfológica, la evaluación de la forma contribuye a la identificación de variedades y es relevante para la selección en programas de mejoramiento genético (Parra & Leguizamón, 2018)

### **2.3.4. Largo**

El largo de semilla en quinua representa una dimensión crítica en la caracterización morfológica, extendiéndose longitudinalmente desde el ápice hasta la base del grano. Este parámetro, altamente influenciado por factores genéticos y ambientales, exhibe una notable variabilidad entre accesiones, oscilando generalmente entre 1.0 y 2.5 milímetros. Su estudio proporciona información valiosos sobre la diversidad intraespecífica, el potencial de rendimiento y la adaptabilidad de las distintas variedades, constituyendo un criterio esencial en la selección y mejora de cultivares con atributos deseables para diversos sistemas agrícolas (Delgado et al., 2009).



### **2.3.5. Ancho**

El ancho de semilla en quinua se define como la extensión transversal máxima del grano, perpendicular a su eje longitudinal. Esta característica morfológica, típicamente fluctuante entre 0.7 y 1.9 milímetros, refleja la variabilidad genética y la plasticidad fenotípica de la especie. Su análisis detallado no solo contribuye a la diferenciación taxonómica entre accesiones, sino que también incide en aspectos agronómicos cruciales como la densidad de siembra, el comportamiento durante el procesamiento y las preferencias del mercado, orientando así estrategias de mejoramiento hacia la optimización de este rasgo (Valdez, 2019).

### **2.3.6. Espesor**

El espesor de semilla en quinua concierne a la dimensión dorsoventral del grano, complementando las medidas de largo y ancho para ofrecer una caracterización tridimensional completa. Este parámetro, que suele oscilar entre 0.4 y 1.1 milímetros, influye significativamente en el volumen y la forma del epispermo, afectando directamente propiedades como la capacidad de hidratación, la textura y el comportamiento culinario del grano. Su estudio minucioso proporciona información valiosa para la selección de variedades con características específicas, adaptadas a diversos usos y procesos de transformación agroindustrial (Lozano et al., 2012).

### **2.3.7. Diámetro**

El diámetro, en el contexto de la caracterización morfológica de semillas de quinua, se refiere a la medida del ancho máximo de la semilla, generalmente expresada en milímetros. Esta característica es crucial para evaluar el tamaño y la



uniformidad de las semillas, lo cual tiene implicaciones en la calidad del grano, el rendimiento potencial y las propiedades de procesamiento. La medición precisa del diámetro es esencial para la clasificación y selección de semillas en programas de mejoramiento (Morillo et al., 2017).

#### **2.3.8. Peso de 1000 semillas (g)**

El peso de la semilla de quinua es fundamental en su caracterización morfológica, generalmente expresada en gramos por mil semillas. Este parámetro refleja la densidad y el contenido de materia seca de la semilla, siendo un indicador importante de su calidad y potencial de rendimiento. El peso de la semilla está influenciado por factores genéticos y ambientales, y su estudio es crucial para la selección de variedades con características deseables para la producción y el procesamiento (Allende, 2017).

#### **2.3.9. Acciones**

En el contexto de un banco de germoplasma, las acciones son muestras distintas de material genético vegetal, en este caso de quinua, que se mantienen para su conservación y estudio. Cada acción representa una variedad, línea de mejoramiento o población única, identificada con un código específico. Estas muestras son fundamentales para la investigación agrícola, el mejoramiento genético y la preservación de la diversidad genética del cultivo, constituyendo un recurso invaluable para futuros programas de mejoramiento (López et al., 2022).

#### **2.3.10. Variedad**

Se entiende por variedad a un conjunto de plantas uniformes que, por sus atributos morfológicos y su desarrollo, son claramente diferenciables de otros



grupos en el seno de las mismas categorías. Estas presentan un genotipo homogéneo según indica (INDECOPI, 2014).

En territorio peruano, se han identificado diversas variedades como la Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Iplla-INIA, entre otras. Asimismo, destacan la Quillahuaman-INIA, Camacani I y II, y la Huariponcho. No menos importantes son la Chullpi, Roja de Coporaque, y la Ayacuchana-INIA. Además, se reconocen la Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huacataz, Huacariz, Rosada de Yanamango, Namora, y Tahuaco. Otras variedades mencionadas por la FAO en 2011 incluyen la Yocará, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Blanca de Junín, Acostambo, y Blanca Ayacuchana (Palma, 2007).

### **2.3.11. Eco-tipo**

Un eco-tipo se define como un grupo de plantas confinado a un entorno específico, adaptándose de manera inherente a las condiciones particulares de dicho hábitat desde épocas antiguas. Aunque los eco-tipos suelen mantener una constancia en sus atributos morfológicos, sus perfiles genéticos no son necesariamente estables, según lo documentado por (MINAGRI, 2014).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio fue llevado a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Agraria Illpa, relacionado con la (INIA). Esta instalación se ubica en el Distrito de Paucarcolla, dentro de la Región de Puno. Situada a una latitud de 15°42' 37'' sur y una longitud de 70° 04' 56'' oeste, la estación se localiza a una elevación de 3850 m.s.n.m. Se encuentra a una distancia de 18 kilómetros de la ciudad de Puno y se halla en la carretera que une esta última con la ciudad de Juliaca.

Actualmente, Paucarcolla se está convirtiendo en uno de los distritos más importantes de la provincia de Puno, atravesando por un proceso de desarrollo urbano.

##### 3.1.1. Límites

Situada en el distrito de Paucarcolla, la Estación Experimental Agraria Illpa, perteneciente al (INIA), se encuentra delimitada geográficamente según se indica: en la dirección norte, comparte límites con el distrito de Huata, al sur con el distrito de Puno, al este se extiende hasta las orillas del Lago Titicaca y al oeste limita con el distrito de Atuncolla.

##### 3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

Accediendo principalmente desde la ciudad de Puno, la comunicación y el tránsito se efectúan por ruta terrestre, conforme se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio*

<b>Partida</b>	<b>Fin</b>	<b>Distancia</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Medio de transporte</b>
Puno	Paucarcolla	22 km	0.30 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Paucarcolla	Estación Experimental Agraria Illpa	9 km	0.05h	Carretera afirmada	Automóvil

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente tesis de investigación se ajusta al tipo explicativo, concierne profundizar en la comprensión de aspectos concretos de la realidad que están directamente relacionados con la gestión del conocimiento en un área determinada de estudio. Asimismo, es de nivel transversal, puesto que, se captura información en una instantánea temporal, analizando los datos en un punto específico, centrándose en la situación actual (Baena, 2017).

Adicionalmente, adopta un enfoque cuantitativo, lo cual es indicativo de que se realizaron mediciones de fenómenos que son cuantificables.

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **3.3.1. Técnicas**

La observación se utilizó como principal método utilizado para recopilar información para este estudio. Otro método es el analíticos inferencial, análisis documental.



### 3.3.2. Instrumentos

Los principales instrumentos fueron cuadernillo de registro, el Software Microsoft Office y Excel, R-studio. Por último, revisión de tesis, artículos y libros

## 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.4.1. Población

La población objeto de estudio comprende las 50 accesiones de quinua que se conserva en el Banco de Germoplasma del INIA-Puno

### 3.4.2. Muestra

La muestra está representada por 50 accesiones de quinua que se conserva en el Banco de Germoplasma del INIA-Puno.

### Tabla 2

*Código de Accesiones y ubicación en estantes del Banco de Germoplasma de quinua del INIA*

N°	Código de Accesión (COD.PER)	N°	Código de Accesión (COD.PER)
1	PER1010077	26	PER1010120
2	PER1010078	27	PER1010129
3	PER1010080	28	PER1010128
4	PER1010081	29	PER1010127
5	PER1010082	30	PER1010126
6	PER1010083	31	PER1010125
7	PER1010091	32	PER1010124
8	PER1010089	33	PER1010130
9	PER1010088	34	PER1010131
10	PER1010087	35	PER1010132



N°	Código de Accesoión (COD.PER)	N°	Código de Accesoión (COD.PER)
11	PER1010092	36	PER1010135
12	PER1010094	37	PER1010137
13	PER1010096	38	PER1010145
14	PER1010097	39	PER1010144
15	PER1010098	40	PER1010138
16	PER1010099	41	PER1010146
17	PER1010101	42	PER1010150
18	PER1010102	43	PER1010159
19	PER1010113	44	PER1010160
20	PER1010112	45	PER1010161
21	PER1010110	46	PER1010163
22	PER1010109	47	PER1010173
23	PER1010115	48	Salcedo INIA
24	PER1010116	49	Chullpi
25	PER1010118	50	PER 004359

### 3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

#### 3.5.1. Evaluación de las características morfológicas cuantitativas se semillas

Para las características morfológicas se evaluaron según descriptor Bioersivity International et al. (2013), en relación a la quinua y sus especies similares en estado natural.

#### 3.5.2. Diámetro de la semilla (mm)

Se empleó un medidor digital, con una exactitud medida en milímetros, para medir el diámetro de la semilla. Se seleccionaron aleatoriamente 20 semillas para el análisis, excluyendo el perigonio en esta evaluación.



La medición se realiza post-cosecha utilizando el calibrador para determinar el diámetro de cada semilla seleccionado. Elementos como el lapso de llenado de la semilla, la capacidad genética inherente de la variedad y las circunstancias medioambientales son determinantes en el tamaño final, peso y uniformidad de las semillas (Palma, 2007).

### **3.5.3. Espesor de la semilla**

Se realizó empleando un vernier digital graduado en milímetros. se determinará la media de 20 semillas, desestimando el perigonio.

### **3.5.4. Peso de 1000 semillas (g)**

Para evaluar, se escogieron aleatoriamente diez plantas de cada parcela. Se recolectaron mil semillas y luego se pesaron con una balanza de precisión. Los resultados obtenidos se presentan en gramos.

$$\text{Peso promedio} = \frac{\text{Repeticion1} + \text{Repeticion2} + \text{Repeticion3}}{3}$$

### **3.5.5. Color de pericarpio**

Para evaluar el color del pericarpio se ha utilizado una carta de colores estandarizada (Munsell Soil Color Chart) y una lupa, considerado de la siguiente manera; 1=Crema, 2= Amarillo, 3= Amarillo dorado, 4= Rosado, 5= Rojo, 6= Café claro, 7= Café, 8= Café oscuro, 9= Café verdoso, 10= Púrpura.

### **3.5.6. Color de episperma**

Para la determinación del color de episperma primeramente se realizó la frotación de las semillas manualmente y considerando los siguientes parámetros establecidos por (Bioersivity International et al., 2013); 1= Transparente, 2=



Blanco, 3= Crema, 4= Café claro, 5= Café, 6= Café oscuro, 7= Café rojizo, 8= Negro y Otro.

### **3.5.7. Forma de las semillas**

La forma de las semillas se evaluó de forma visual, escogiendo 10 a 20 semillas de cada accesión y utilizando un estereoscopio considerando los siguientes parámetros; 1= Lenticular, 2= Cilíndrico, 3= Elipsoidal y 4= Cónico para las 50 accesiones de quinua.

### **3.5.8. Evaluación del contenido de saponinas**

La evaluación de saponinas se realizó en el Laboratorio de la Estación Experimental Agraria del INIA Illpa. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde se utilizó una metodología afrosimétrico estándar.

#### **Método de la espuma afrosimétrico estándar (MAE)**

Para el desarrollo de la metodología experimental, se adoptaron como punto de partida las técnicas descritas en la investigación seminal conducida por (Koziol, 1991)

- Inicialmente se tomaron 0.5 gramos de semillas. Estas fueron introducidas en un tubo de ensayo, el cual mide 15 cm de longitud por 15 mm de diámetro, y se añadieron 5 mililitros de agua destilada. El siguiente paso consistió en activar el cronómetro y agitar enérgicamente el tubo durante un lapso de 30 segundos.
- Tras esto, el tubo fue dejado en reposo por un periodo de 30 minutos, para luego ser agitado de nuevo durante 20 segundos. Posteriormente, se

permitió un segundo periodo de reposo de 30 minutos, seguido de una nueva agitación que duró 30 segundos. Se dio una última sacudida al tubo, similar a la empleada en los termómetros orales.

- Finalmente, después de un breve descanso de 5 minutos, se procedió a medir la altura de la espuma con una precisión de hasta 0.1 cm. El contenido de saponinas presentes en las semillas de quinua se estimó utilizando la ecuación 1, y se expresó en miligramos de saponinas por gramo de quinua

$$mg \text{ saponina} = \frac{(0.646)(\text{altura de saponina, cm}) - 0.104}{(\text{peso de muestra, g})} \dots\dots\dots Ecu. (1)$$

### 3.5.9. Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos se utilizarán el software estadístico Rstudio.

#### a) Análisis de correlación entre las accesiones estudiadas

Se emplea el Coeficiente de Correlación de Pearson para analizar la relación relativa entre pares de descriptores cuantitativos. Este coeficiente ofrece un indicador de la fuerza de la relación lineal entre dos variables, sin verse afectado por las unidades de medida utilizadas para dichas variables. Para las variables j-ésima y k-ésima, el coeficiente se calculó de la siguiente forma:

$$r_{jr} = \frac{S_{jk}}{\sqrt{S_j^2 S_k^2}} = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_k)] / (n - 1)}{\sqrt{[[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2] / (n - 1)] [[\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2] / (n - 1)]}}$$

En esta sección, se describe el análisis estadístico aplicado a las variables de estudio. Designando  $S_{jk}$  como la covarianza entre las variables j y k, y  $S^2_j$

y  $S^2_k$  representando las varianzas individuales de dichas variables respectivamente (Balzarini et al., 2008), es posible destacar la relevancia del coeficiente de correlación muestral. Este coeficiente es crucial pues mide la relación normalizada entre muestras, fluctuando entre -1 y 1. El signo de este coeficiente es indicativo de la naturaleza de la relación: un signo negativo sugiere que, al superar una variable su promedio, la otra tiende a situarse por debajo del suyo.

#### b) **Análisis de Conglomerados o Cluster**

Este enfoque estadístico facilita la agrupación de un conjunto de accesiones en categorías más uniformes basándose en similitudes detectadas entre ellas. La finalidad de este procedimiento estadístico es segmentar un grupo de  $n$  accesiones en un número limitado de categorías o conglomerados. Estos conglomerados se constituyen siguiendo principios naturales o un conjunto específico de atributos compartidos por las accesiones. De acuerdo con Franco et al. (2003), y reafirmado por (Balzarini et al., 2008), los enfoques de agrupamiento que predominan en estos análisis son:

**Método Jerárquico:** Este método estructura los conglomerados en múltiples niveles. Hay varias técnicas de enlace dentro de este enfoque, las más prevalentes incluyen: enlace simple, enlace completo, UPGMA, centroide y Ward. La premisa central es optimizar la variabilidad entre los grupos mientras se reduce al mínimo dentro de cada uno.

**Método No Jerárquico (de Partición):** Este método se distingue por establecer grupos basándose en criterios específicos predeterminados. Opera

dividiendo el conjunto de accesiones en una cantidad definida de conglomerados, que, a diferencia del método jerárquico, no presentan una organización en niveles.

En el proceso de categorización de las accesiones según características cualitativas, se optó por el uso del método de agrupación jerárquica. Este método emplea la suma incremental de cuadrados como base para agrupar, y se apoya en la distancia euclidiana normalizada para calcular la similitud entre los elementos. Se partió de una matriz de datos de dimensiones  $n \times p$  (con  $p$  variables para cada una de las  $n$  accesiones). Esta matriz inicial se convirtió posteriormente en una matriz de distancia de  $n \times n$ , donde el componente  $i, j$  indica la distancia entre el par de objetos  $i$  y  $j$ , para todos los valores de  $i, j$  desde 1 hasta  $n$ .

El método UPGMA (unweighted pair-group method using an arithmetic average), citado por (Balzarini et al., 2008), fue el seleccionado para llevar a cabo este análisis. En UPGMA, la distancia entre dos grupos se determina tomando el promedio de todas las distancias entre pares de objetos. Cada par está compuesto por un miembro de cada uno de los dos grupos en estudio. Diferentes fórmulas han sido sugeridas para el cálculo de esta distancia promedio:

$$d_{(AB)C} = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}}{n_{(AB)} n_C}$$

Se define  $d_{ij}$  como la distancia entre el elemento  $i$ , incluido en el conglomerado  $AB$ , y el elemento  $j$ , perteneciente al conglomerado  $C$ . Esto implica la sumatoria de todas las distancias posibles entre pares de elementos de ambos conglomerados. Los números de elementos en los conglomerados  $AB$  y  $C$  se denotan como  $n_{(AB)}$  y  $n_C$ , respectivamente. Esta técnica estadística está diseñada para generar agrupaciones con varianza



homogénea (Balzarini et al., 2008). Además, la estructuración de los conglomerados durante las diversas fases del proceso de agrupamiento se ilustra comúnmente mediante un dendrograma (Balzarini et al., 2008). Por otro lado, la varianza combinada se aprecia en el porcentaje de saponina (Datos transformados a valores angulares ( $\sin^{-1} \sqrt{x}$ )).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS CUANTITATIVAS DE LAS SEMILLAS DE 50 ACCESIONES DE QUINUA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA

Con respecto al objetivo específico 1, determinar las características morfológicas cuantitativas de las semillas de las diferentes accesiones de quinua, se analizaron el diámetro, largo y espesor de la semilla de quinua.

Se siguió un método diferente para la evaluación de cada aspecto, los cuales están descritos en la metodología.

Para su cumplimiento, se evaluaron 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA. Para exhibir los resultados, los datos se procesaron en el software R Studio, aplicando pruebas estadísticas inferenciales.

##### 4.1.1. Diámetro de semilla

La Tabla 3 muestra p-valor de 0.003212 en la prueba de Shapiro-Wilk, que es menor que 0.05, aludiendo una desviación de la normalidad; los datos no siguen una distribución normal. Asimismo, la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas resultó con un p-valor de 6.722e-08, lo que indica que las varianzas no son homogéneas entre los grupos de accesiones para el diámetro de la semilla.

**Tabla 3**

*Test normalidad y homogeneidad para diámetro de semilla de las 50 accesiones de quinua*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico K<sup>2</sup> (K-squared)</b>	<b>Grados de Libertad (Df)</b>	<b>Valor-p (p-value)</b>
Shapiro-Wilk			0.003212
Bartlett	120.07	49	6.722e-08

La Tabla 4 muestra el análisis de varianza para el diámetro de semilla de 50 accesiones de quinua, revelando diferencias altamente significativas ( $p < 2e-16$ ). Estos resultados subrayan una variabilidad considerable en el tamaño de semilla entre las diferentes accesiones, reflejada en la suma de cuadrados de 11.89 para las accesiones frente a 10.77 para los residuos, lo que sugiere una influencia genética marcada en estas características.

**Tabla 4**

*Análisis de varianza para diámetro de semilla de las 50 accesiones de quinua*

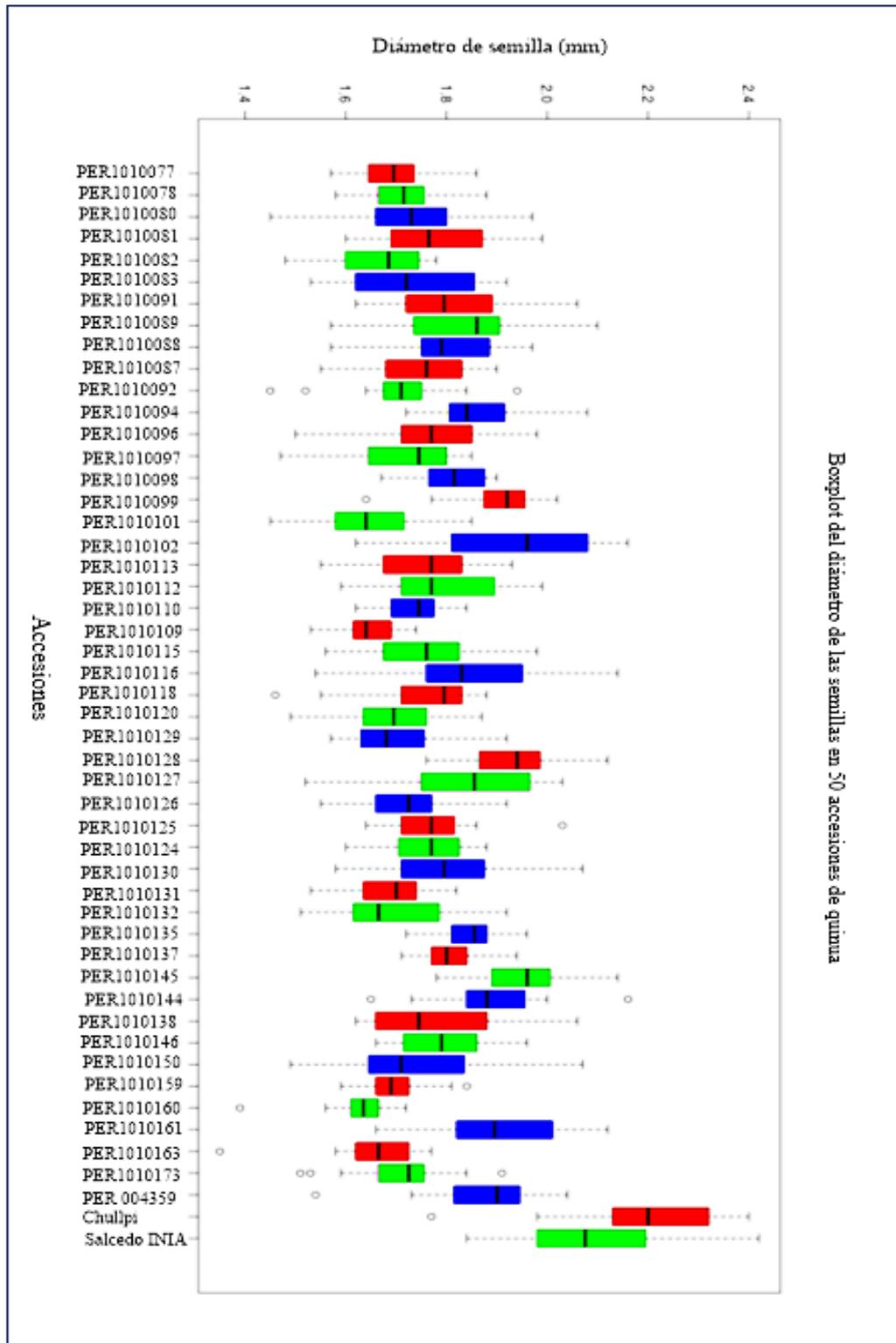
	<b>Gl</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones- diámetro	49	11.89	0.24269	21.4	<2e- 16***
Residuales	950	10.77	0.01134	-	-

Signif. codes: \*\*\*  $p < 0.001$

**Figura 3**

*Análisis gráfico del diámetro de semilla en 50 accesiones de quinua*

*(Chenopodium quinoa Willd.) mediante un boxplot.*





La Figura 3 muestra un boxplot del diámetro de semillas en 50 accesiones de quinua, permitiendo clasificarlas en tres categorías de semillas grandes con un diámetro superior a 2 mm, se encuentra la accesión Chullpi (2.19 mm) y la Salcedo INIA (2.05mm). En la categoría mediana, que incluye diámetros entre 1.8 y 1.9 mm, se agrupan 22 accesiones: PER1010081, PER1010089, PER1010088, PER1010087, PER1010094, PER1010098, PER1010099, PER1010102, PER1010112, PER1010116, PER1010128, PER1010127, PER1010125, PER1010124, PER1010130, PER1010135, PER1010137, PER1010145, PER1010144, PER1010138, PER1010146 y PER 004359. Por lo tanto, el resto de las semillas con diámetros inferiores a 1.7 mm, se clasifican como semillas pequeñas, lo que indica una mayor proporción de diámetros reducidos. Esta distribución de diámetro evidencia una diversidad fenotípica en el tamaño de las semillas de quinua. Por otro lado, García & Plazas, (2018) concluye que el tamaño del diámetro del grano puede ser indicativo de la adaptabilidad genética de la quinua a diferentes condiciones ambientales. Accesiones con granos más grandes podrían ser más resilientes a ciertos estreses abióticos.

#### **4.1.2. Espesor de semilla**

La Tabla 5 muestra p-valor de  $2.2e-16$  en la prueba de Shapiro-Wilk, que es menor que 0.05, aludiendo una desviación de la normalidad; los datos no siguen una distribución normal. Asimismo, la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas resultó con un p-valor de  $2.2e-16$ , lo que indica que las varianzas no son homogéneas entre los grupos de accesiones para el espesor de la semilla.

**Tabla 3**

*Test normalidad y homogeneidad para espesor de semilla de las 50 accesiones de quinua*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico K<sup>2</sup> (K-squared)</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Valor-p</b>
Shapiro-Wilk			2.2e-16
Bartlett	479.53	49	<2.2e-16

La Tabla 6 presenta un análisis de varianza para el espesor de semilla de las accesiones de quinua, donde se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 2e-16$ ) entre las accesiones, con un valor F de 4.798.

Este resultado sugiere que la variabilidad del espesor de la semilla entre las distintas accesiones es considerablemente mayor que la variabilidad interna de cada accesión, indicando una notable heterogeneidad fenotípica.

**Tabla 4**

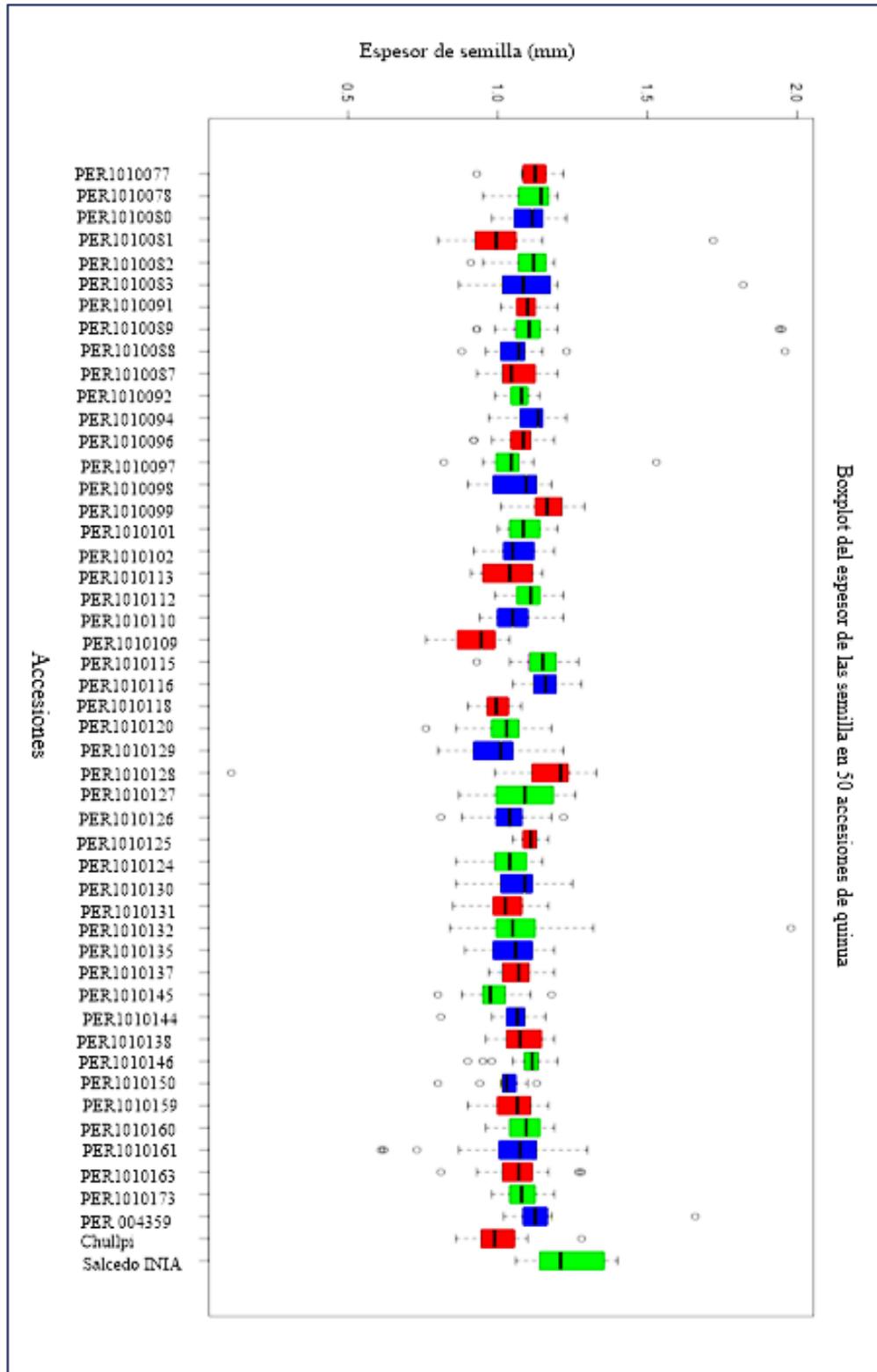
*Análisis de varianza para espesor de semilla de las 50 accesiones de quinua*

	<b>Gl</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones- Espesor	49	2.896	0.0591	4.798	<2e-16***
Residuales	950	11.702	0.01232	-	-

Signif. codes: \*\*\*  $p < 0.001$

### Figura 4

*Evaluación del espesor de semilla en 50 accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) mediante análisis boxplo*





La Figura 4 muestra los datos resultantes con respecto al espesor de las semillas para las 50 accesiones, clasificándolas en valores elevados, intermedios y bajos. Las accesiones con mayor espesor (superior a 1.12 mm) incluyen PER1010089, PER1010115, PER1010116, PER1010099, PER1010128, PER004359 y Salcedo INIA, con valores que alcanzan hasta 1.23 mm, lo que podría indicar una mayor resistencia física de la semilla y potencial adaptaciones a diversas condiciones de cultivo. En el rango intermedio (1.06 mm a 1.12 mm), se encuentran accesiones como PER1010081, PER1010082, PER1010091, PER1010087, PER1010092, PER1010096, PER1010097, PER1010098, PER1010101, PER1010102, PER1010113, PER1010112, PER1010110, PER1010127, PER1010125, PER1010130, PER1010132, PER1010137, PER1010138, PER1010146, PER1010159, PER1010160, PER1010163 y PER1010173, sugiriendo resistencia moderada y posible especialización en ambientes con menos recursos. Finalmente, accesiones como PER1010080, PER1010083, PER1010088, PER1010109, PER1010118, PER1010120, PER1010129, PER1010126, PER1010124, PER1010131, PER1010135, PER1010145, PER1010144, PER1010150, PER1010161 y Chullpi, presentan los valores más bajos de espesor, lo cual podría señalar una menor resistencia física, pero con adaptabilidad particular en condiciones específicas.

#### **4.1.3. Largo de semilla**

La Tabla 7 muestra p-valor de 0.404 en la prueba de Shapiro-Wilk, que es mayor que 0.05, aludiendo que los datos siguen una distribución casi normal. Asimismo, la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas resultó con un p-valor de 0.000217, lo que indica que las varianzas no son homogéneas entre los grupos de accesiones para el largo de la semilla.



**Tabla 5**

*Test normalidad y homogeneidad para largo de la semilla de las 50 accesiones de quinua*

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico K<sup>2</sup> (K-squared)</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Valor-p</b>
Shapiro-Wilk			0.404
Bartlett	91.582	49	0.000217

La Tabla 8 muestra el análisis de varianza para el largo de semilla de las 50 accesiones de quinua, destacando variaciones estadísticamente significativas entre las diferentes accesiones, como lo demuestra un valor F de 21.45 y un valor p extremadamente bajo (menor que  $2e-16$ ). Estos resultados indican que existe una considerable variabilidad genética en el largo de las semillas.

**Tabla 6**

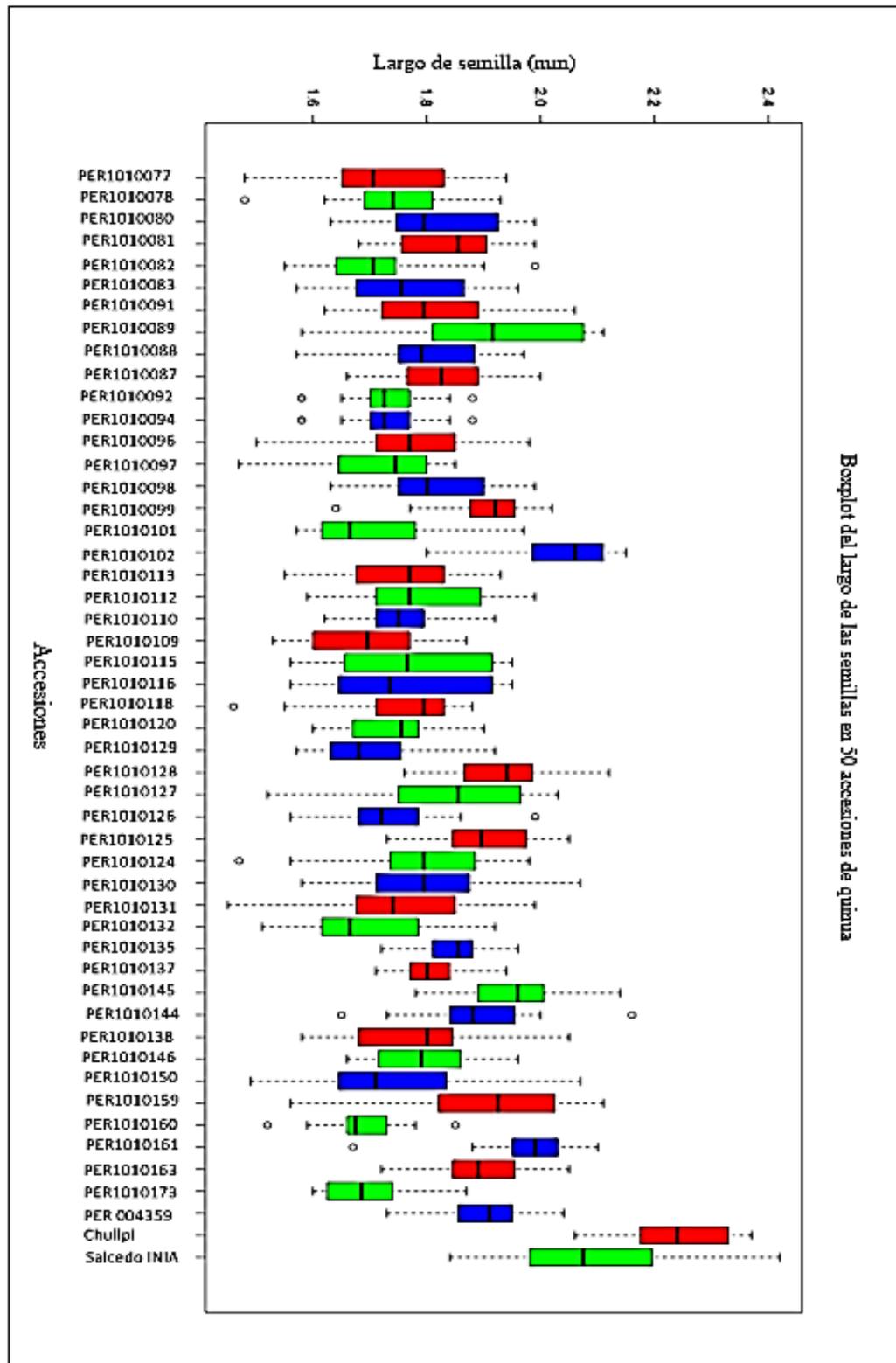
*Análisis de varianza para largo de las semillas en 50 accesiones de quinua*

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Accesiones- Largo	49	12.29	0.2509	21.45	<2e- 16***
Residuales	950	11.11	0.0117	-	-

**Figura 5**

*Distribución del largo de las semillas en 50 accesiones de quinua*

*(Chenopodium quinoa Willd.) mediante análisis boxplot*





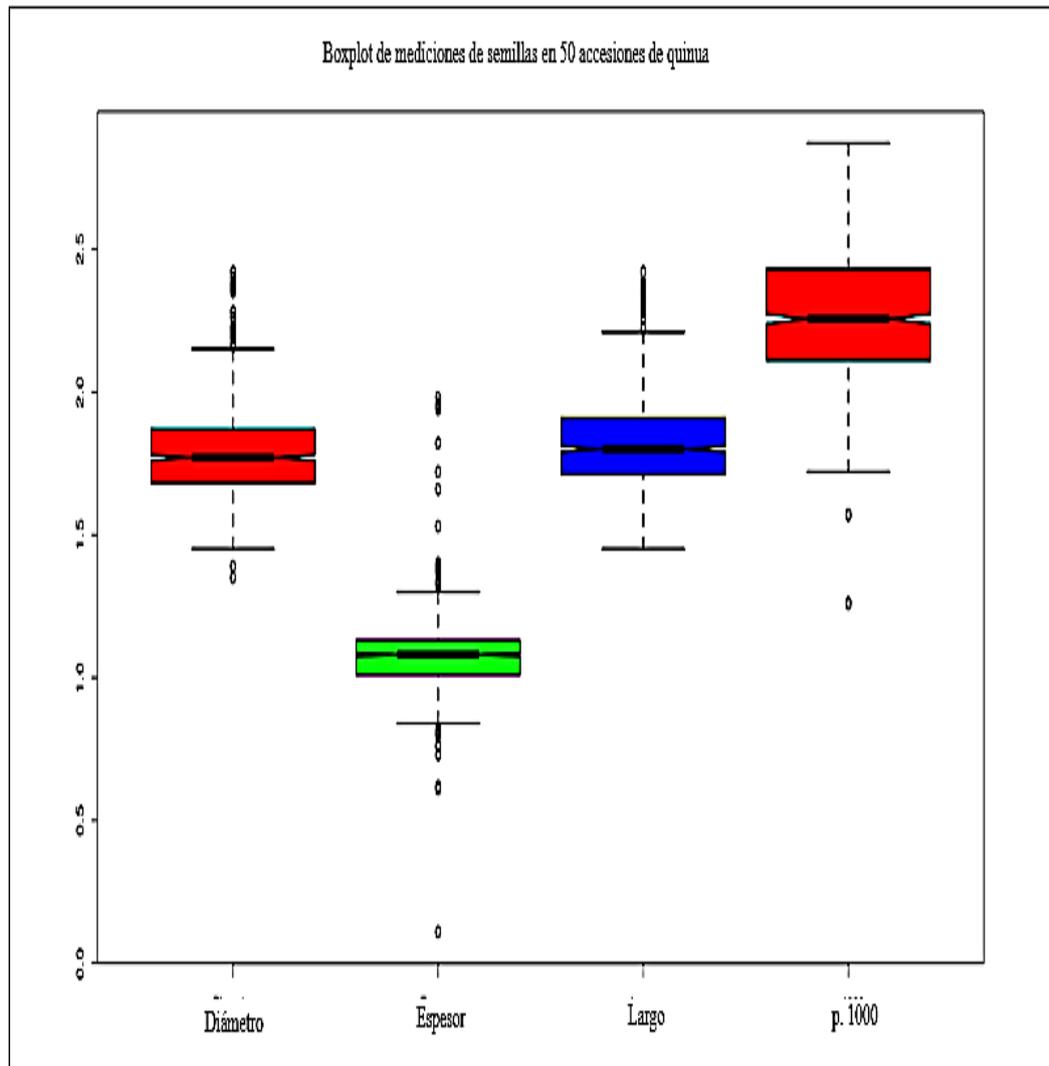
La Figura 5 muestra la distribución de las longitudes de las accesiones de quinua revelando una notable variabilidad. Las Salcedo INIA y Chullpi, con longitudes de 2.11 mm y 2.25 mm respectivamente, se posicionan en un rango elevado, lo que sugiere que poseen características morfológicas favorables que podrían contribuir a un mayor rendimiento y adaptabilidad en entornos agrícolas. La mayoría de las accesiones se agrupan en un rango intermedio, entre 1.70 mm y 1.98 mm, destacando accesiones como PER1010161 (1.98 mm), PER1010128 (1.93 mm) y PER1010081 (1.83 mm), lo cual indica una variabilidad morfológica que es crucial para la mejora genética y el desarrollo de nuevas variedades que se adapten a diferentes condiciones ambientales. En contraste, las accesiones con longitudes más bajas, como PER1010101, PER1010160 y PER1010132, que miden 1,68 mm y 1.69 mm, respectivamente, podrían ser menos competentes en condiciones de cultivo, lo que les hace susceptibles a factores adversos, potencialmente rendimiento inferior.

Estos valores son semejantes a los presentado por Allende (2017) quien afirma que factores como la temperatura, la disponibilidad de agua, la calidad del suelo, y la cantidad de luz solar pueden afectar el crecimiento de la planta y, por ende, en el largo de sus granos. Por otro lado, Palao et al., (2019) concluye que un clima más fresco y un suministro adecuado de agua durante los períodos críticos de floración y formación del grano pueden resultar en granos más largos. Así como una menor densidad de siembra puede permitir un mayor desarrollo individual

A continuación, se muestra un análisis general de las características morfológicas de las 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA

## Figura 6

*Análisis general de las semillas en 50 accesiones de quinua*



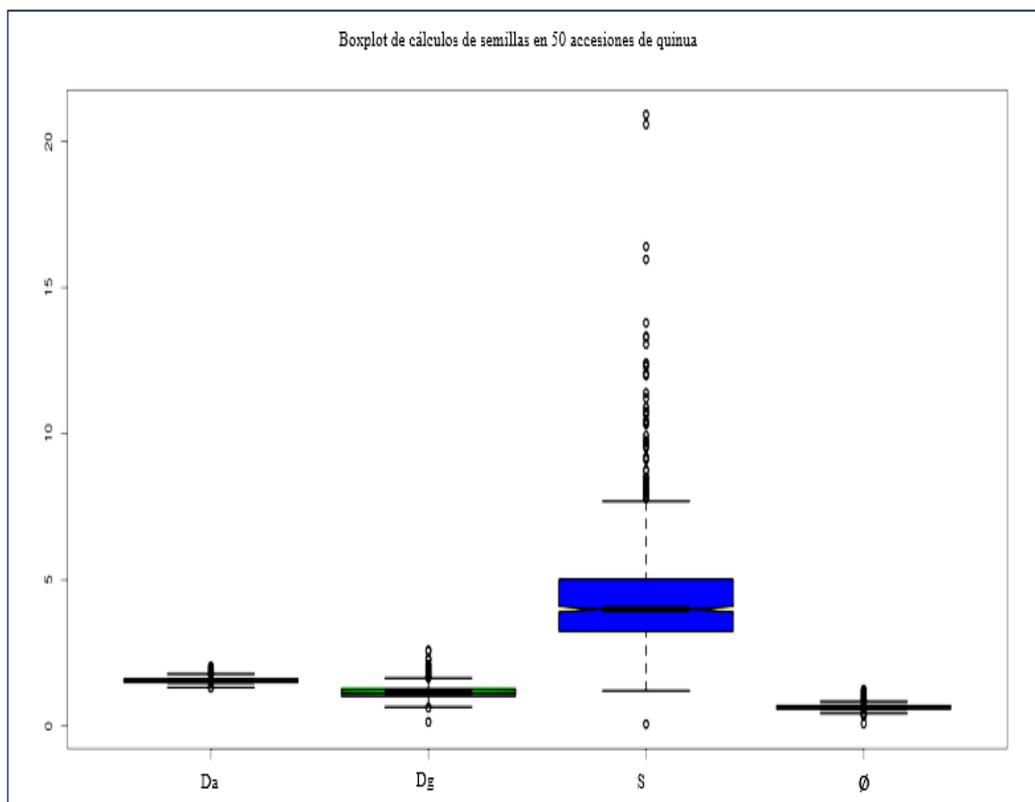
En la Figura 6 presenta un boxplot la distribución de cuatro características morfológicas de semillas de quinua. Donde el diámetro y largo muestran medianas cercanas a 1.5 y rangos intercuartílicos amplios, lo que indica una dispersión moderada y mayor uniformidad entre las accesiones, con algunos valores atípicos (outliers) en la parte inferior, lo que sugiere que la variabilidad en estas características es más controlada. El espesor tiene la mediana más baja, cerca de 1.0, y su caja es más estrecha, pero presenta un número considerable de outliers hacia valores bajos, lo que indica alta variabilidad en esta característica,

probablemente debido a la influencia de factores genéticos o ambientales que afectan de manera diferenciada el grosor de las semillas. Por otro lado, el peso de 1000 semillas tiene una mayor dispersión, con una mediana cercana a 2.0, y varios outliers tanto hacia valores altos como bajos. Esto refleja una considerable variabilidad entre las accesiones, probablemente causada por factores externos como las condiciones de cultivo, adaptación o incluso la densidad de semillas. En conjunto, las cajas reflejan mayor estabilidad en el diámetro y el largo, mientras que en el espesor presenta mayor variabilidad, probablemente debido a la diversidad genética u la influencia de condiciones externas.

### Figura 7

*Análisis de Diámetro medio aritmético ( $D_a$ ); Diámetro medio geométrico ( $D_g$ );*

*Área superficial ( $S$ ); Esfericidad ( $\phi$ ) de los granos de las 50 accesiones de quinua*





En la Figura 7 presenta un boxplot que visualiza la distribución de cuatro variables de 50 accesiones de quinua: destaca el Área superficial (s) con una caja más grande, bigotes más largos y muchos puntos fuera de ellos (valores atípicos), se debe a una mayor variabilidad en los tamaños de las accesiones de quinua en cuanto al área que ocupan. Esto indica que algunas accesiones tienen áreas significativamente mayores o menores que la mayoría, creando una dispersión más amplia. Los valores atípicos reflejan accesiones que son excepcionales en comparación con la tendencia general. Por otro lado, el Diámetro aritmético medio (Da), el Diámetro geométrico medio (Dg) y la esféricidad (0) muestran cajas más pequeñas y bigotes cortos, lo que implica que la mayoría de las accesiones tienen valores similares en estas características, por eso presentan menos variabilidad. En estas variables, la presencia limitada de valores atípicos indica que las accesiones son más consistentes y menos extremas en cuanto a sus diámetros y esféricidad, comparado con el Área superficial. Esto sugiere que la variabilidad en el tamaño de la semilla se refleja más en el área que en la forma o diámetro.

#### **4.2. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE SAPONINAS DE LAS SEMILLAS DE 50 ACCESIONES DE QUINUA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIA**

Con respecto al objetivo específico 2 de cuantificar el contenido de saponinas en las accesiones de quinua, se siguió el método de espuma afrosimétrico descrito en la metodología. Para su cumplimiento, se evaluaron 50 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del INIA.

La Tabla 9 muestra un análisis de varianza que revela significativas variaciones en el contenido de saponinas entre 50 accesiones de quinua, con un valor F de 3339 y un

valor  $p < 2e-16$ , indicando diferencias estadísticas extremadamente significativas. Este resultado destaca una amplia diversidad genética en las accesiones, crucial para el desarrollo de variedades adaptadas a necesidades específicas de sabor.

**Tabla 7**

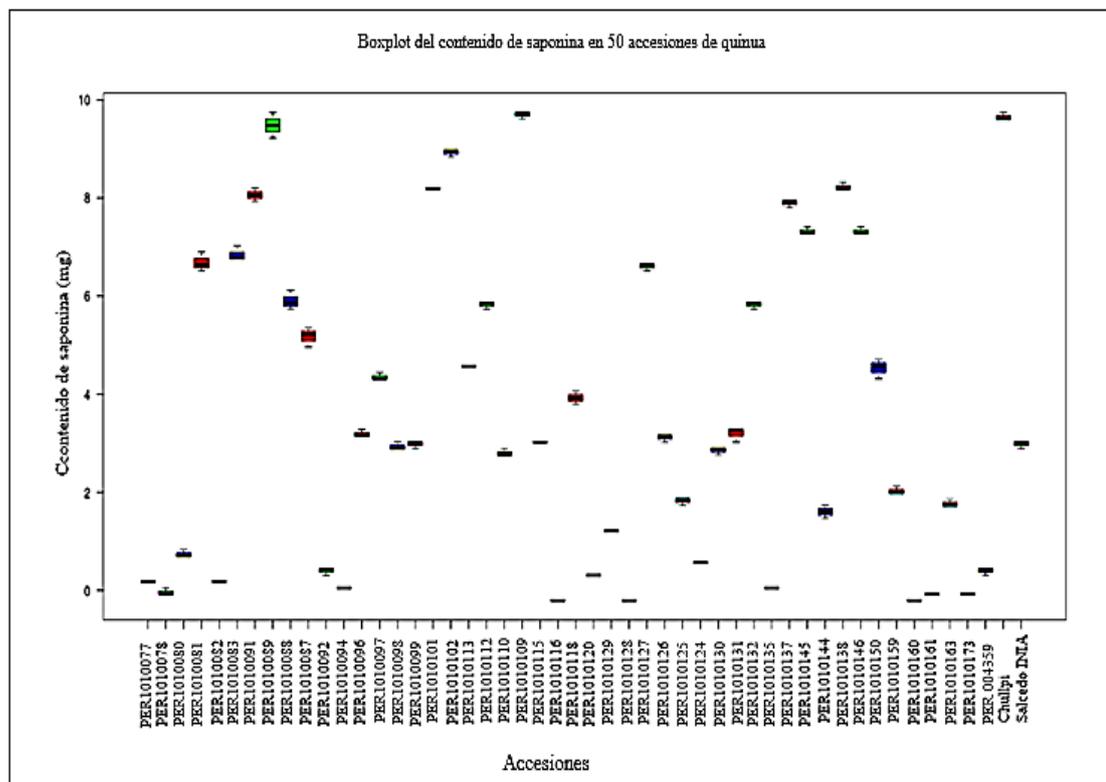
*Análisis de varianza para contenido de saponina de las 50 accesiones de quinua*

	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
Accesiones-Saponinas	49	1492.9	30.466	3339	$< 2e-16^{***}$
Residuales	100	0.9	0.009	-	-

Signif. codes: \*\*\*  $p < 0.001$

**Figura 8**

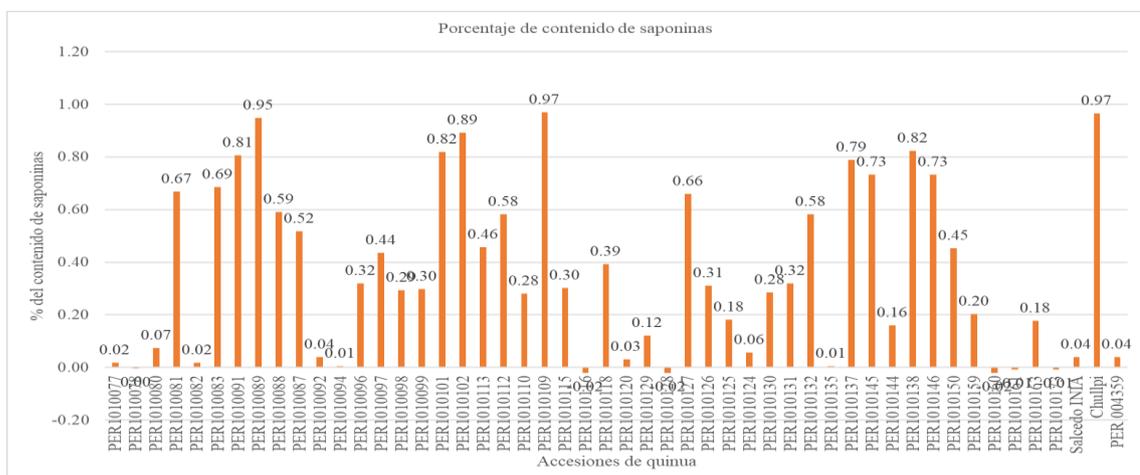
*Determinación del contenido de saponina en 50 accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*



La Figura 8 presenta un boxplot del contenido de saponina en 50 accesiones de quinua muestra una notable variabilidad en la concentración de saponina, evidenciando la diversidad genética. Las accesiones presentan niveles de saponinas que oscilan desde valores cercanos a 0 mg hasta aproximadamente 10 mg, con algunos os valores extremos superiores a 8 mg, lo cual indica accesiones potencialmente inadecuadas para el consumo humano directo debido a su amargor y posible toxicidad en altas concentraciones. La dispersión de los datos, representada por la longitud de los de los bigotes, pone de manifiesto que algunas accesiones presentan una variabilidad interna significativa en su contenido de saponina, lo que podría estar asociado a factores genéticos y condiciones agroecológicas. En contraste, otras accesiones muestran menor dispersión, lo que indica una mayor uniformidad y estabilidad en sus niveles de saponina, siendo estas potencialmente más adecuadas para programas de mejoramiento genético que buscan reducir el contenido de saponina sin comprometer otros atributos agronómicos deseables. La variabilidad en el contenido de saponina es un factor clave en la selección de variedades de quinua para el consumo y comercialización, ya que influye directamente en la aceptabilidad y adaptabilidad del producto en diferentes mercados (Ruiz et al., 2020).

## Figura 9

*Distribución del porcentaje de contenido de saponinas en diversas accesiones de quinua*





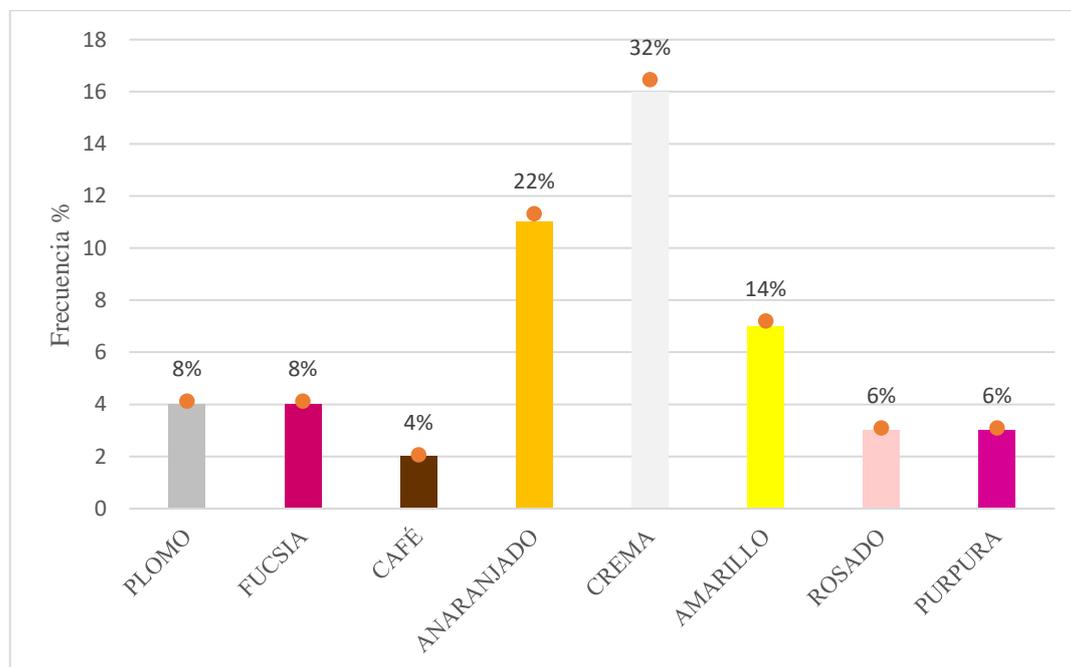
En la Figura 9 se presenta el porcentaje de contenido de saponina en 50 accesiones de quinua, mostrando un rango de valores desde -0.02 % hasta 0.97 %. Esta distribución refleja una considerable variabilidad genética en el contenido de saponinas entre las accesiones evaluadas. La clasificación de Koziol (1992), las accesiones con bajo contenido de saponinas (< 0.1 %) incluyen PER1010077, PER1010078, PER1010080, PER1010082, PER1010092, PER1010094, PER1010124, PER1010120, PER1010128, PER1010116, PER1010161 y PER1010173. Estas accesiones son consideradas dulces y son aptas para el consumo directo, sin requerir un proceso de saponificación. Por otro lado, las accesiones que presentan un contenido moderado de saponina (0-1 - 0-6 %) incluyen PER1010096, PER1010097, PER1010098, PER1010099, PER1010110, PER1010113, PER1010112, PER1010118, PER1010129, PER1010126, PER1010125, PER1010130, PER1010131, PER1010144 y PER1010150. Estas accesiones son adecuadas tanto para el consumo directo como para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético. En contraste, la variedad Salcedo INIA, con un contenido de saponina de 0.04 %, es clasificada como dulce, lo que la convierte en una opción ideal para el consumo directo. Por lo tanto, las accesiones con alto contenido de saponina (> 0.6 %) son: PER1010081, PER1010083, PER1010091, PER1010089, PER1010101, PER1010102, PER1010137, PER1010145, PER1010146 y PER1010138. Estas accesiones se clasifican como amargas y no son aptas para el consumo directo sin un proceso de desaponización. En este contexto, destaca la accesión Chullpi, con un contenido de saponina de 0.97 %, se clasifica como amarga, lo que la hace no apta para el consumo directo sin tratamiento de desaponificación. Estos resultados evidencian la diversidad fenotípica dentro del germoplasma analizado, resaltando el potencial de estas accesiones para diversos usos en contextos agrícolas y comerciales (Koziol, 1992)

#### 4.3. CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LAS SEMILLAS DE ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Para la correlación de las características morfológicas, se empleó el Coeficiente de Correlación de Pearson en el software R studio.

**Figura 10**

*Distribución porcentual de los colores del pericarpio en 50 accesiones de quinua*

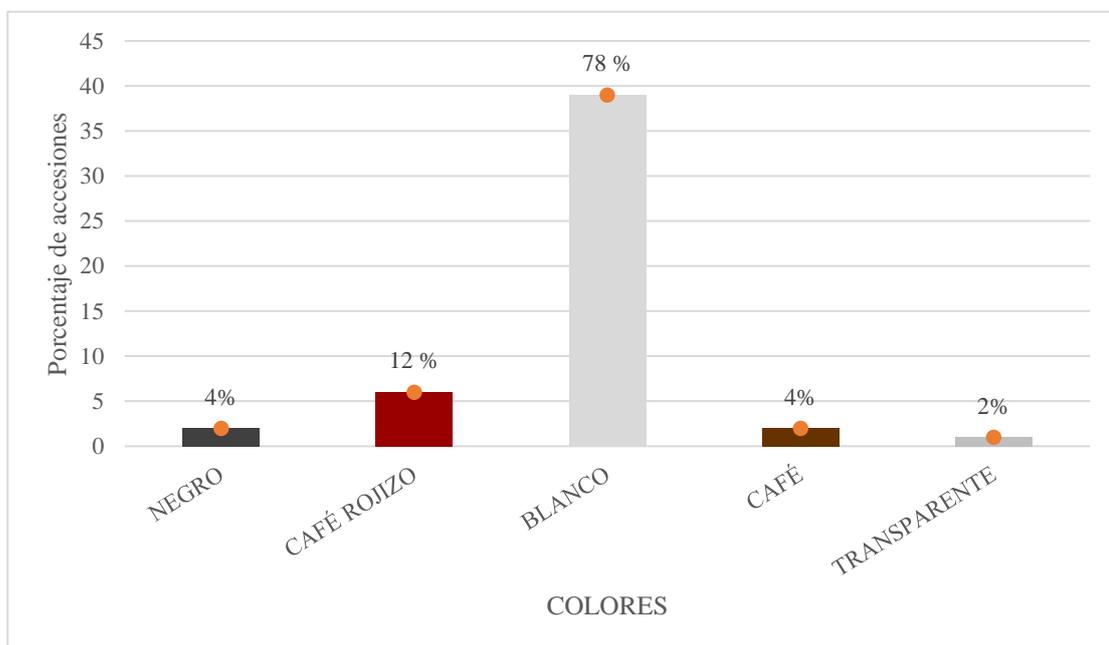


En la Figura 10 se presenta la distribución porcentual de los diferentes colores de pericarpio en las 50 accesiones de quinua. El color crema es el más prevalente, representando un 32 % de las accesiones, lo que sugiere una tendencia dominante hacia esta tonalidad dentro de la población estudiada. Le siguen el anaranjado con un 22 % y el amarillo con un 14 %, lo que refleja una cierta diversidad cromática. Los colores plomo y fucsia tienen una representación de 8 % cada uno, mientras que el rosado y púrpura aparecen en un 6 %, y el café es el color menos frecuente con un 4 %. Esta variabilidad coincide con lo reportado por (Ormeño, 2015), quien encontró una diversidad genética

significativa entre muestras de diferentes orígenes geográficos. Manifestando que, los diferentes colores del pericarpio están asociados con distintos perfiles de compuestos bioactivos, en donde, los colores oscuros (como las fucsias y púrpuras que representan el 14% en nuestro estudio, tienden a tener mayores concentraciones de betalaínas y compuestos fenólicos, que son conocidos por sus propiedades antioxidantes.

### Figura 11

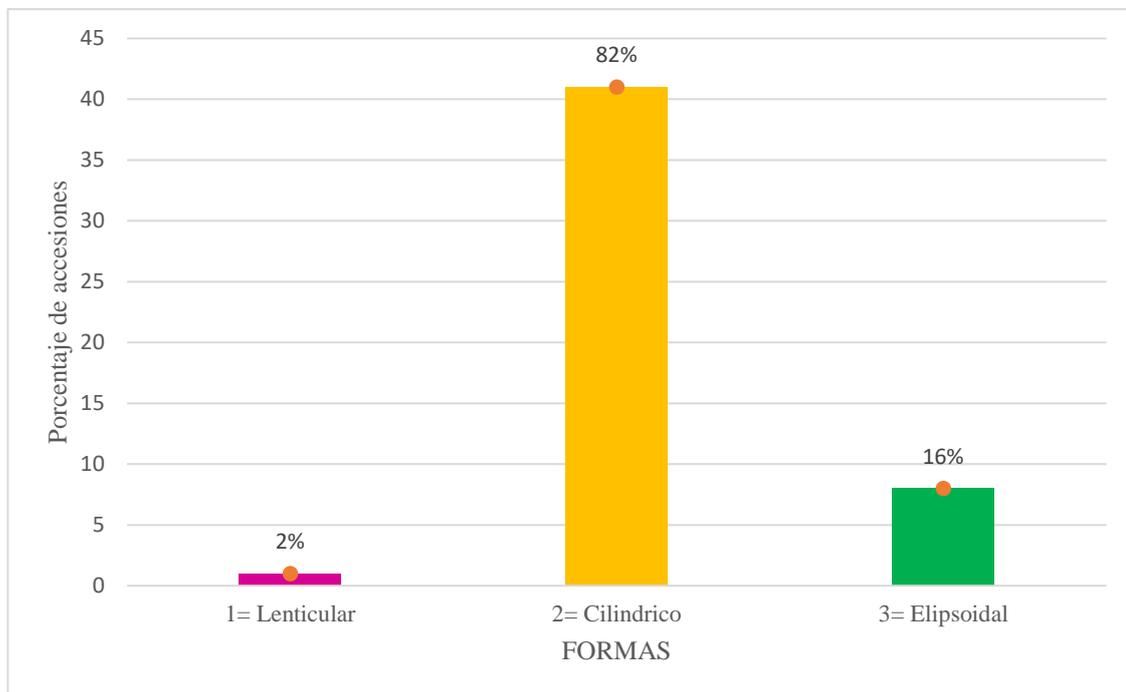
*Distribución porcentual de los colores de episperma en 50 accesiones de quinua*



En la Figura 11, se evidencia que el color blanco predomina, abarcando 78 % de las 50 accesiones, lo que indica que es el color más común en la población de quinua analizada. Le sigue el café rojizo con un 12 %, y los colores negros, cafés y transparentes, cada uno representando un 4 % manifestándose en menor variabilidad. Según los autores (Morillo & Castro, 2017) el color de la episperma influye en la tasa de germinación y el vigor de las plántulas. Las semillas de color blanco tienden a tener una tasa de germinación más rápida en comparación con las de colores más oscuros, lo que podría explicar su selección preferencial.

## Figura 12

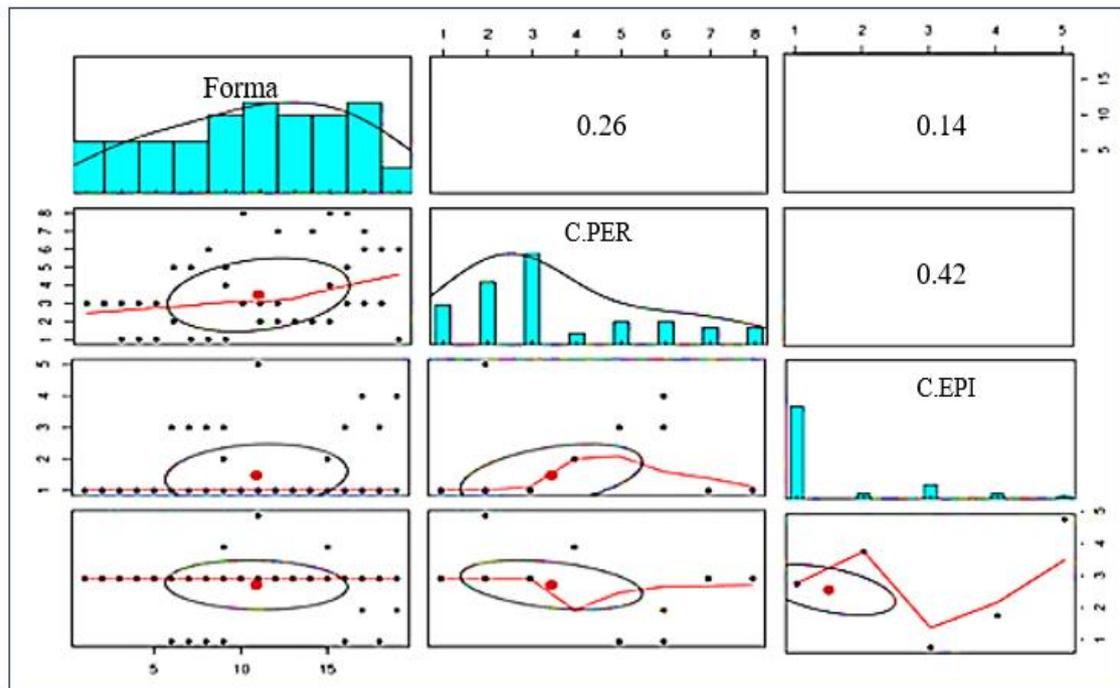
*Análisis de la distribución de las formas de semilla en 50 accesiones de quinua*



En la Figura 12, se observa que la forma cilíndrica predomina en un 82 % de las 50 accesiones de quinua, consolidándose como la morfología más común en la población estudiada. En contraste, las formas elipsoidal y lenticular son menos frecuentes, representando el 16 % y 2 % respectivamente. Esta distribución sugiere una clara preferencia por la forma cilíndrica, probablemente debido a ventajas adaptativas, facilidad de manejo o características agronómicas deseables. La baja representación de otras formas refleja una menor diversidad morfológica en esta característica. Según el autor (Allende, 2017) la variabilidad en la forma de la semilla podría estar relacionada con la adaptación a diferentes condiciones ambientales.

**Figura 13**

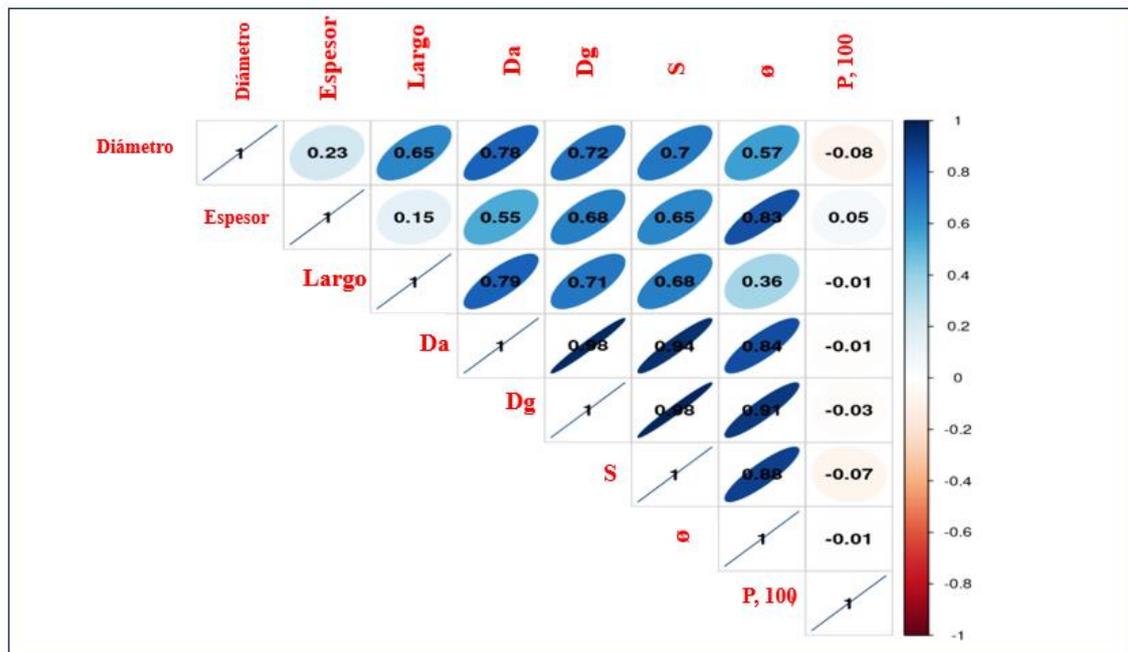
*Análisis del coeficiente de correlación de Pearson de datos cualitativos de quinua.*



La Figura 13 presenta las correlaciones entre las variables Forma, C.PER y C.EPI. Donde se observa que la correlación entre Forma y C.PER es positiva y de magnitud moderada (0.26), lo que indica que a medida que la variable Forma aumenta, C.PER tiende a aumentar también, aunque la relación no es muy fuerte. Entre Forma y C.EPI, la correlación es positiva pero débil (0.14), sugiriendo una relación mínima entre estas variables. Finalmente, la correlación más alta se da entre C.PER y C.EPI (0.42), siendo también positiva y moderada, lo que implica que estas dos variables tienden a aumentar juntas de manera más consistente. La positividad de estas correlaciones indica que no hay relaciones inversas, es decir, cuando una variable aumenta, las otras también tienden a hacerlo, aunque en grados diferente.

**Figura 14**

*Correlación de indicadores morfológicos de las accesiones de quinua*



En la Figura 15 se muestra la relación entre las variables: diámetro, espesor, largo, Da, Dg, S, o, y p.1000. Las correlaciones están representadas tanto numéricamente como visualmente con elipses que varían en color e inclinación, donde los tonos azules indican correlaciones positivas y los tonos rojos, negativas. La mayoría de las variables están positivamente correlacionadas entre sí, con valores que oscilan desde moderadas a fuertes. En donde, el Diámetro tiene una correlación moderada con espesor (0.23) y una relación fuerte con las variables largo (0.78), Da (0.72), Dg (0.70), y S (0.57). Asimismo, largo, Da, Dg, y S muestran entre ellas correlaciones fuertes (superiores a 0.65), lo que indica que cuando una de estas variables aumenta, las demás tienden a aumentar también. Por otro lado, la variable p.1000 tiene correlaciones cercanas a cero con todas las demás, indicando que no tiene una relación significativa. La única correlación negativa y débil es entre diámetro y p.1000 (-0.08), lo que indica que a medida que aumenta el Diámetro, p.1000 tiende a disminuir levemente.



## V. CONCLUSIONES

- La evaluación de características morfológicas cuantitativas. En cuanto al diámetro de semilla, sobresalieron Salcedo INIA (2.05 mm) y Chullpi con 2.19 mm, pero, por presentar un espesor de 1.00 mm, se ubica como pequeño. En espesor, destaco Salcedo INIA (1.23 mm). En largo PER1010102, Salcedo INIA y Chullpi, con (2.04 mm a 2.25 mm). En peso de 1000 semillas los que destacaron fueron:: PER1010083 (2.87 mm), PER1010099 (2.56 mm), PER1010128 (2.69), PER1010125 (2.80 mm) , PER1010159 (2.70), PER1010163 (2.68 mm) y Salcedo INIA (2.52), lo que sugiere que son semillas de mayor densidad y tamaño, cualidades que son relevantes para mejora genética.
- El análisis del contenido de saponina de las accesiones con bajo contenido de saponina (< 0.1 %) incluyen PER1010077 (0.02 %), PER1010078 (0.00 %), PER1010080 (0.07 %), PER1010082 (0.02 %), PER1010092 (0.04 mm), PER1010094 (0.01 %), PER1010124 (0.06 %), PER1010120 (0.03 %), PER1010128 (-0.02 %), PER1010116 (-0.02 %), PER1010161 (-0.01 %), PER1010173 (-0.01 %) y Salcedo INIA (0.04 %). Estas accesiones son consideradas dulces y son aptas para el consumo directo. En contraste, las accesiones amargas incluyen a Chullpi (0.97 %), PER1010091 (0.81 %), PER1010101 (0.82 %), PER1010102 (0.89 %) Y PER1010109 (0.97 %), las cuales exhiben niveles altos de saponina.
- La correlación entre Forma y Color del pericarpio (0.26) es moderada, lo que indico una asociación leve en la forma de la semilla y el color del pericarpio. La relación entre Forma y Color de episperma es débil (0.14). La relación más alta, fue entre Color del pericarpio y episperma (0.42), muestra una asociación moderada señalando una relación más consistente



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los investigadores utilizar accesiones de tamaño superiores a 2 mm, para el desarrollo de nuevas variedades de quinua. estas accesiones, con características fenotípicas favorables con un mayor diámetro, largo, espesor y peso de semilla, tienen el potencial de mejorar significativamente el rendimiento y la eficiencia en la producción. Además, son cruciales para el desarrollo de nuevas variedades que se adapten a las demandas del mercado.
- Es fundamental llevar a cabo estudios de mejoramiento genético que integren selecciones múltiples de accesiones dulces ( $< 0.1\%$ ). Enfocarse en estas accesiones permitirá desarrollar nuevas variedades que mantengan los perfiles sensoriales agradables, lo que podría incrementar su aceptación para el consumo directo y maximizar su valor comercial en los mercados locales e internacionales.
- Se sugiere realizar análisis de correlacional de las variables morfológicas utilizando un mayor número de accesiones y técnicas estadísticas avanzadas. Esto permitirá una caracterización más precisa y robusta de las relaciones entre la forma de la semilla. El color del pericarpio y episperma, optimizando así su aplicación en programas de mejoramiento genético y en la selección de accesiones con características diferenciadas y de mayor valor comercial.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438–469.
- Allende, M. (2017). Caracterización morfológica y molecular de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) para estimar variabilidad genética. *Repositorio La Molina*, 1–90. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3455>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. En *Catálogo de Variedades Comerciales de Quinua en el Perú* (pp. 1–80).
- Balzarini, M., Gonzalez, L. A., Tablada, M., & Casanoves, F. (2008). *InfoStat: Manual del usuario*. <https://www.infostat.com.ar/manuales/>
- Bioversity International, FAO, INIAF, FIDA, & PROINPA. (2013). *Descriptorios para quinua y sus parientes silvestres*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3164s/i3164s.pdf>
- Byng, J. W., Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Judd, W. S., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, D. E., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Briggs, B., Brockington, S., Chautems, A., Clark, J. C., Conran, J., Haston, E., Moore, M., Olmstead, R., Perret, M., & Stevens, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Cogliatti, M., & Heter, D. (2016a). Perspectiva de producción de quinua en la región agrícola del centro de la provincia de Buenos Aires. *Journal ResearchGate*, 1–91. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19943.56488>
- Cogliatti, M., & Heter, D. (2016b). Perspectivas de producción de la quinua en la región agrícola del centro de la provincia de Buenos Aires. *Journal ResearchGate*.



- Delgado, A., Palacios, J., & Betancurt, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 24, 1–9.
- Eliás, D., Rivera, L., & Dias, V. (2013). Determinación de Saponina. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 1–4.
- FAO. (2011). La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1–66.
- FAO. (2013). Descriptores para Quinoa y sus parientes silvestres. *Bioversity International*, 1–64. <https://www.fao.org/4/aq658s/aq658s.pdf>
- Flores, S. (2017). Caracterización agronómica y variabilidad genética de progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes de autofecundaciones S5 de cruza simple cercanas y distantes genéticamente. *Repositorio Universidad Nacional Del Altiplano*, 1–134.
- Franco, T. L., & Hidalgo, Rigoberto. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Boletín Técnico IPGRI N 8*, 1–94.
- Gabriel, J., Luna, N., Vargas, A., Magne, J., & Angulo, A. (2012). Fuente va aliosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* W P Willd.). *Selva Andina Res Soc*, 3(2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0023-5>
- Gomaa, E. F. (2014). Studies on Some Micro-Macromorphological and Anatomical Characters of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10(1), 24–36.
- Gómez, L., Enrique, P., & Castellanos, A. (2014). Guía de cultivo de la quinua. *In Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura y Universidad Nacional Agraria La Molina*, 1–130. [www.fao.org/publications/es](http://www.fao.org/publications/es)
- Hernández, F. de J., Buendía, M. O., & López, A. de J. (2016). Determination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) hardness by an experimental milling



- method. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2), 61–69.  
<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.08.002>
- Huillca, J., & Segura, B. (2019). Análisis de la expansión territorial del cultivo de quinua en la región andina de Sudamérica: Caso peruano. *RIDDA*, 73-74-75, 325–333. <https://ridaa.unlp.edu.ar/handle/10915/99000>
- INDECOPI. (2014). Norma técnica andina para la protección de obtenciones vegetales. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
- Laura, R. (2023). Caracterización agronómica y morfológica de las accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) obtenidas ancestralmente vía descriptor Bioversity International. *Revista de Investigaciones*, 12(1), 1–14. <https://revistas.unl.edu.ar/index.php/investigaciones/article/view/601>
- Llano, W. (2012). Caracterización morfológica y componentes de rendimiento de compuestos avanzados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos localidades del Valle de Mantaro. *Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú*, 1–147. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/601>
- López, R., Parada, M., Abdo, S., & Carrera, L. (2022). Quantification of saponins in quinoa Mojuelo (*Chenopodium quinoa* Willd.) for use at industrial scale. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 686–704. <https://doi.org/10.18537/ejsteam.v6i1.686>
- Lozano, M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y., & Almanza, G. R. (2012). Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Boliviana de Química*, 29(2), 128–135. <https://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v29n2/v29n2a05.pdf>
- MINAGRI. (2014). Quinua: Un futuro sembrado hace miles de años. Memoria del Año Internacional de la Quinua en el Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. <https://www.minagri.gob.pe/quinuafuturo>
- Morillo, A. C., Manjarres, E. H., & Mora, M. S. (2022). Afrosymmetric method for quantifying saponins in *Chenopodium quinoa* Willd. from Colombia. *Brazilian Journal of Biology*, 82.



- Morillo, A., Castro, M., & Morillo, Y. (2017). Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 49.
- Ormeño. Jonathan. (2015). Agrupamiento de 16 accesiones peruanas de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en relación al origen utilizando marcadores SSR. *Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina*, 1–88.
- Palao, L., Canaza, A., & Beltrán, P. (2019). Producción Agroecológica de Ecotipos de Quinua de Colores (*Chenopodium quinoa* Willd.) Con Microorganismos Eficaces. *Journal of High Andean Research*, 21(3), 173–181.
- Palma, G. (2007). Comparación Agrofisiológica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y las consecuencias del raleo en los componentes del rendimiento y la calidad del grano, en el altiplano norte de Bolivia. *Repositorio Universidad Mayor De San Andrés*, 1–146. <http://hdl.handle.net/123456789/5108>
- Parra, M. Á. G., & Leguizamón, N. Z. P. (2018a). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in agrarian production systems. *Producción y Limpia*, 13(1), 112–119.
- Parra, M. Á. G., & Leguizamón, N. Z. P. (2018b). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in agrarian production systems. *Producción y Limpia*, 13(1), 112–119.
- Parra, M., & Leguizamón, N. (2018). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in agrarian production systems. *Producción y Limpia*, 13(1), 112–119.
- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed Structure and Localization of Reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82, 481–488.
- Quispe, L. (2015). Evaluación del potencial de rendimiento y calidad de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Var. Pasankalla en condiciones de costa central. *Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Rojas, A. (2011). Cuantificación por espectrofotometría UV/vis de las saponinas contenidas en la episperma de la especie (*Chenopodium quinoa* willd)



“quinua” procedente de la provincia de Santiago de Chuco - La Libertad.  
*Universidad Nacional de Trujillo.*

- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., & Gómez, L. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua. *In Estado Del Arte de La Quinoa En El Mundo En 2013*, 1–32. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
- Sparg, S. G., Light, M. E., & Van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(2–3), 219–243.
- Tapia, M. (2022). Granos Andinos Potencialidades y Desafíos. *Publicont S.A.C.*, 1–164.
- Triguero, C. (2021). Evaluación de contenido de saponinas en variedades de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd) por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas GC/MS. *Universidad Mayor de San Andrés*, 1–97.
- Urdanegui, P., Pérez-Ávila, Á., Estrada-Zúñiga, R., Neyra, E., Mujica, Á., & Corredor, F.-A. (2021). Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science*, 11(1), 63–71.
- Valdez, J. (2019). Caracterización fisicoquímica, funcional tecnológica y sensorial de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 1–260.
- Vicente, G. (2013). Extracción, Cuantificación y purificación de saponinas de semillas de (*Chenopodium quinoa* Willd) Provenientes del Noroeste Argentina. *Universidad Nacional de Córdoba*, 1–131.
- Zurita, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. E., & Schwember, A. R. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Potential and perspectives. *Molecular Breeding*, 34(1), 13–30.



## ANEXOS

## ANEXO 1. Panel fotográfico

Foto 1. Evaluación de la forma de semilla de quinua mediante el estereoscopio.



Foto 2. Conteo y determinación del peso de 1000 semillas de quinua utilizando maquina contadora y balanza analítica.



Foto 3. Medición del tamaño (largo, ancho y espesor) de quinua mediante el uso de vernier digital.



Foto 4. Evaluación del contenido de saponina en semillas de quinua mediante el método Afrosimetrico (prueba de espuma) (Koziol, 1991).



## ANEXO 2. Variabilidad de colores de quinua

Foto 1. Diversidad de colores del pericarpio y episperma de semillas de 50 accesiones de quinua.

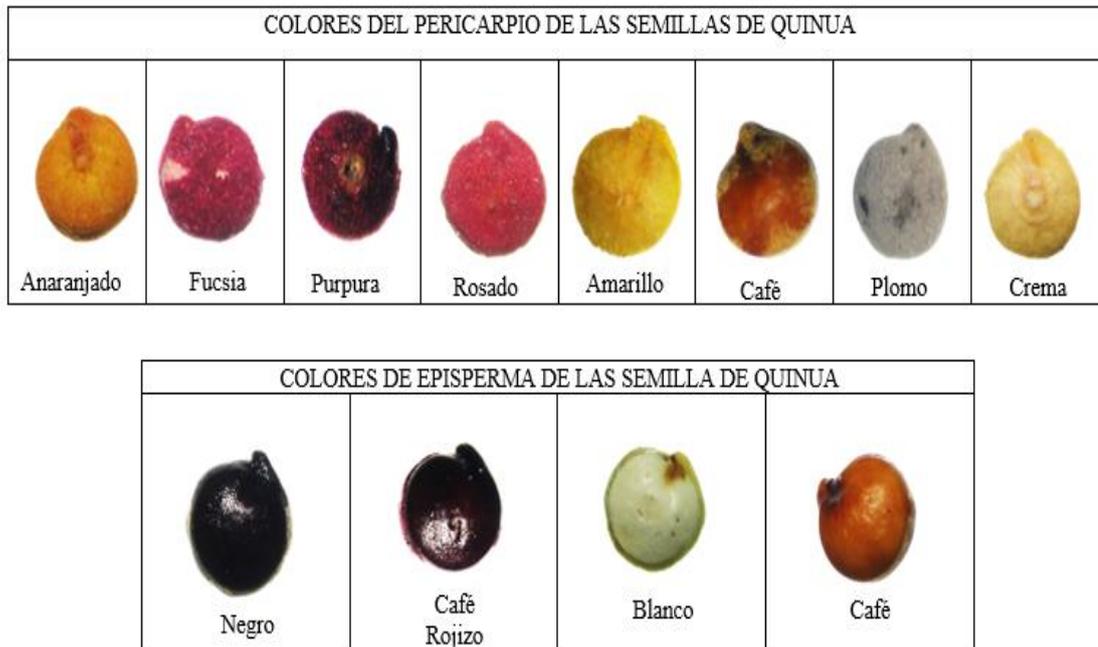


Foto 2. Diversidad de colores de las 50 accesiones de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)





**ANEXO 3.** *Resultado del contenido de saponina en 50 accesiones de quinua en porcentaje*

<b>N°</b>	<b>Accesiones</b>	<b>Contenido de saponina</b>			<b>% de saponina</b>
1	PER1010077	0.01796	0.01796	0.01796	0.02
2	PER1010078	-0.00788	-0.00788	0.00504	0.00
3	PER1010080	0.06964	0.08256	0.06964	0.07
4	PER1010081	0.66396	0.6898	0.65104	0.67
5	PER1010082	0.01796	0.01796	0.01796	0.02
6	PER1010083	0.67688	0.67688	0.70272	0.69
7	PER1010091	0.80608	0.819	0.79316	0.81
8	PER1010089	0.9482	0.97404	0.92236	0.95
9	PER1010088	0.57352	0.58644	0.61228	0.59
10	PER1010087	0.52184	0.496	0.53476	0.52
11	PER1010092	0.0438	0.03088	0.0438	0.04
12	PER1010094	0.00504	0.00504	0.00504	0.01
13	PER1010096	0.32804	0.31512	0.31512	0.32
14	PER1010097	0.4314	0.4314	0.44432	0.44
15	PER1010098	0.28928	0.28928	0.3022	0.29
16	PER1010099	0.3022	0.3022	0.28928	0.30
17	PER1010101	0.819	0.819	0.819	0.82
18	PER1010102	0.8836	0.89652	0.89652	0.89
19	PER1010113	0.45724	0.45724	0.45724	0.46
20	PER1010112	0.58644	0.57352	0.58644	0.58
21	PER1010110	0.27636	0.27636	0.28928	0.28
22	PER1010109	0.97404	0.96112	0.97404	0.97
23	PER1010115	0.3022	0.3022	0.3022	0.30
24	PER1010116	-0.0208	-0.0208	-0.0208	-0.02
25	PER1010118	0.39264	0.37972	0.40556	0.39
26	PER1010120	0.03088	0.03088	0.03088	0.03
27	PER1010129	0.12132	0.12132	0.12132	0.12



N°	Accesiones	Contenido de saponina			% de saponina
28	PER1010128	-0.0208	-0.0208	-0.0208	-0.02
29	PER1010127	0.66396	0.65104	0.66396	0.66
30	PER1010126	0.31512	0.31512	0.3022	0.31
31	PER1010125	0.18592	0.18592	0.173	0.18
32	PER1010124	0.05672	0.05672	0.05672	0.06
33	PER1010130	0.27636	0.28928	0.28928	0.28
34	PER1010131	0.32804	0.32804	0.3022	0.32
35	PER1010132	0.57352	0.58644	0.58644	0.58
36	PER1010135	0.00504	0.00504	0.00504	0.01
37	PER1010137	0.78024	0.79316	0.79316	0.79
38	PER1010145	0.74148	0.72856	0.72856	0.73
39	PER1010144	0.173	0.16008	0.14716	0.16
40	PER1010138	0.819	0.819	0.83192	0.82
41	PER1010146	0.72856	0.72856	0.74148	0.73
42	PER1010150	0.4314	0.45724	0.47016	0.45
43	PER1010159	0.21176	0.19884	0.19884	0.20
44	PER1010160	-0.0208	-0.0208	-0.0208	-0.02
45	PER1010161	-0.00788	-0.00788	-0.00788	-0.01
46	PER1010163	0.173	0.173	0.18592	0.18
47	PER1010173	-0.00788	-0.00788	-0.00788	-0.01
48	Salcedo INIA	0.0438	0.0438	0.03088	0.04
49	Chullpi	0.97404	0.96112	0.96112	0.97
50	PER 004359	0.0438	0.03088	0.0438	0.04



**ANEXO 4.** Resultados del tamaño (largo, ancho y espesor) y peso de 1000 semillas de las 50 accesiones de quinua

N°	Accesiones	Largo	Diámetro	Espesor	Peso de 1000 Semillas
1	PER1010077	1.72	1.70	1.12	2.18
2	PER1010078	1.74	1.71	1.12	2.47
3	PER1010080	1.82	1.73	1.11	2.45
4	PER1010081	1.83	1.78	1.02	2.10
5	PER1010082	1.71	1.67	1.10	2.14
6	PER1010083	1.77	1.73	1.11	2.87
7	PER1010091	1.81	1.72	1.09	2.25
8	PER1010089	1.92	1.83	1.17	2.27
9	PER1010088	1.80	1.77	1.10	2.38
10	PER1010087	1.83	1.76	1.06	2.26
11	PER1010092	1.73	1.71	1.08	2.26
12	PER1010094	1.73	1.86	1.12	2.36
13	PER1010096	1.77	1.68	1.07	2.02
14	PER1010097	1.72	1.70	1.05	2.31
15	PER1010098	1.82	1.81	1.06	2.48
16	PER1010099	1.90	1.82	1.17	2.56
17	PER1010101	1.69	1.64	1.09	2.03
18	PER1010102	2.04	1.93	1.06	2.20
19	PER1010113	1.75	1.74	1.03	2.02
20	PER1010112	1.79	1.77	1.10	2.47
21	PER1010110	1.75	1.73	1.06	2.12
22	PER1010109	1.69	1.65	0.93	1.57
23	PER1010115	1.77	1.65	1.14	1.86
24	PER1010116	1.76	1.75	1.16	2.43
25	PER1010118	1.76	1.69	1.00	2.11
26	PER1010120	1.74	1.68	1.03	2.21
27	PER1010129	1.70	1.64	0.99	2.05
28	PER1010128	1.93	1.89	1.13	2.69
29	PER1010127	1.84	1.84	1.08	2.39
30	PER1010126	1.74	1.72	1.04	2.23



<b>N°</b>	<b>Accesiones</b>	<b>Largo</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Espesor</b>	<b>Peso de 1000 Semillas</b>
31	PER1010125	1.89	1.77	1.11	2.80
32	PER1010124	1.79	1.76	1.04	2.21
33	PER1010130	1.80	1.79	1.07	2.01
34	PER1010131	1.75	1.69	1.02	2.12
35	PER1010132	1.69	1.69	1.10	1.92
36	PER1010135	1.85	1.83	1.05	2.67
37	PER1010137	1.81	1.77	1.06	2.26
38	PER1010145	1.95	1.91	0.98	2.12
39	PER1010144	1.89	1.83	1.05	2.32
40	PER1010138	1.80	1.78	1.08	2.30
41	PER1010146	1.79	1.79	1.10	2.37
42	PER1010150	1.74	1.74	1.03	2.28
43	PER1010159	1.91	1.70	1.06	2.70
44	PER1010160	1.68	1.63	1.09	2.16
45	PER1010161	1.98	1.90	1.02	2.43
46	PER1010163	1.90	1.66	1.07	2.68
47	PER1010173	1.69	1.71	1.08	2.24
48	Salcedo INIA	2.11	2.05	1.23	2.52
49	Chullpi	2.25	2.19	1.00	1.75
50	PER 004359	1.90	1.87	1.14	1.26



**ANEXO 5.** Resultado de las dimensiones de 50 accesiones de quinua: Diámetro aritmético medio (Da), Diámetro geométrico medio (Dg), Área superficial (S), Esfericidad ( $\phi$ ).

<b>Accesiones</b>	<b>Diámetro aritmético medio</b>	<b>Diámetro geométrico medio</b>	<b>Área superficial</b>	<b>Esfericidad</b>
PER1010077	1.513	1.091	3.771	0.635
PER1010078	1.525	1.115	3.944	0.640
PER1010080	1.555	1.168	4.326	0.641
PER1010081	1.545	1.115	4.089	0.608
PER1010082	1.495	1.054	3.534	0.616
PER1010083	1.534	1.127	4.110	0.639
PER1010091	1.540	1.133	4.064	0.626
PER1010089	1.639	1.371	6.304	0.710
PER1010088	1.556	1.168	4.468	0.649
PER1010087	1.549	1.140	4.146	0.623
PER1010092	1.504	1.058	3.532	0.612
PER1010094	1.568	1.196	4.526	0.692
PER1010096	1.506	1.062	3.585	0.598
PER1010097	1.491	1.025	3.369	0.594
PER1010098	1.565	1.168	4.330	0.644
PER1010099	1.630	1.347	5.740	0.707
PER1010101	1.475	1.013	3.276	0.597
PER1010102	1.678	1.398	6.244	0.687
PER1010113	1.510	1.056	3.564	0.601
PER1010112	1.554	1.164	4.298	0.650
PER1010110	1.511	1.066	3.627	0.608
PER1010109	1.422	0.863	2.365	0.511
PER1010115	1.519	1.110	3.928	0.627
PER1010116	1.558	1.196	4.561	0.680
PER1010118	1.481	0.987	3.094	0.560
PER1010120	1.482	1.000	3.185	0.576
PER1010129	1.443	0.924	2.742	0.541



<b>Accesiones</b>	<b>Diámetro aritmético medio</b>	<b>Diámetro geométrico medio</b>	<b>Área superficial</b>	<b>Esfericidad</b>
PER1010128	1.649	1.376	6.300	0.709
PER1010127	1.586	1.228	4.884	0.664
PER1010126	1.499	1.038	3.440	0.597
PER1010125	1.589	1.235	4.813	0.652
PER1010124	1.530	1.089	3.760	0.609
PER1010130	1.553	1.151	4.232	0.636
PER1010131	1.487	1.010	3.257	0.578
PER1010132	1.491	1.045	3.597	0.617
PER1010135	1.576	1.183	4.453	0.641
PER1010137	1.548	1.137	4.087	0.628
PER1010145	1.616	1.228	4.832	0.628
PER1010144	1.593	1.220	4.734	0.643
PER1010138	1.553	1.157	4.289	0.642
PER1010146	1.558	1.169	4.327	0.653
PER1010150	1.502	1.037	3.450	0.594
PER1010159	1.553	1.136	4.086	0.596
PER1010160	1.466	0.993	3.123	0.590
PER1010161	1.634	1.300	5.594	0.655
PER1010163	1.541	1.124	4.052	0.592
PER1010173	1.494	1.040	3.421	0.614
Salcedo INIA	1.795	1.778	10.196	0.842
Chullpi	1.815	1.655	8.770	0.736
PER 004359	1.637	1.356	5.907	0.714



**ANEXO 6.** Resultado de las características cualitativas de las semillas de 50 accesiones de quinua.

<b>Accesiones</b>	<b>Color del pericarpio</b>	<b>Color de Episperma</b>	<b>Forma de semilla</b>
PER1010077	Plomo	Negro	Elipsoidal
PER1010078	Plomo	Café Rojizo	Cilíndrico
PER1010080	Plomo	Negro	Elipsoidal
PER1010081	Fucsia	Café Rojizo	Cilíndrico
PER1010082	Café	Café	Cilíndrico
PER1010083	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010091	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010089	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010088	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010087	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010092	Crema	Blanco	Elipsoidal
PER1010094	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010096	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010097	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010098	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010099	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010101	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010102	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010113	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010112	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010110	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010109	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010115	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010116	Crema	Blanco	Elipsoidal
PER1010118	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010120	Fucsia	Café Rojizo	Elipsoidal
PER1010129	Fucsia	Café Rojizo	Cilíndrico
PER1010128	Plomo	Café Rojizo	Cilíndrico
PER1010127	Café	Café	Cilíndrico



<b>Accesiones</b>	<b>Color del pericarpio</b>	<b>Color de Episperma</b>	<b>Forma de semilla</b>
PER1010126	Fucsia	Café Rojizo	Cilíndrico
PER1010125	Rosado	Blanco	Cilíndrico
PER1010124	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010130	Purpura	Blanco	Cilíndrico
PER1010131	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010132	Anaranjado	Blanco	Elipsoidal
PER1010135	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
PER1010137	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010145	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010144	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010138	Crema	Blanco	Cilíndrico
PER1010146	Amarillo	Blanco	Cilíndrico
PER1010150	Crema	Blanco	Elipsoidal
PER1010159	Purpura	Blanco	Cilíndrico
PER1010160	Rosado	Blanco	Cilíndrico
PER1010161	Rosado	Blanco	Elipsoidal
PER1010163	Purpura	Blanco	Cilíndrico
PER1010173	Anaranjado	Blanco	Cilíndrico
Salcedo INIA	Crema	Blanco	Cilíndrico
Chullpi	Anaranjado	Transparente	Lenticular
PER 004359	Crema	Blanco	Cilíndrico



## ANEXO 7. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RONALD REYNALDO MIRAMIRA CHIPANA,  
identificado con DNI 73368941 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA AGRONOMICA

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

"CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE SEMILLA DE 50 ACCESIONES DE QUINUA

(*Chenopodium quinoa* Willd.) DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA, PUNO-PERU "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 11 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 8. Autorización para el depósito de tesis al repositorio institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo RONALD REYNALDO MIRAMIRA CHIPANA,  
identificado con DNI 73368941 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA AGRONOMICA

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

"CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE SEMILLA DE 50 ACCESIONES DE QUINUA  
(Chenopodium quinoa Willd.) DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL INIA, PUNO-PERU"

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de noviembre del 2024



Huella