



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



**SELECCION DE GENOTIPOS AVANZADOS DE QUINUA**  
*(Chenopodium quinoa Willd.)* **ADAPTADOS A CONDICIONES**  
**AGROECOLOGICAS DE ILLPA PUNO – PERÚ.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. WILBER CONDO CHOQUETOCRO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**SELECCION DE GENOTIPOS AVANZADO  
S DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Will  
d.) ADAPTADOS A CONDICIONES AGROE**

AUTOR

**WILBER CONDO CHOQUETOCRO**

RECuento DE PALABRAS

**19765 Words**

RECuento DE CARACTERES

**112794 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**98 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 18, 2024 11:00 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 18, 2024 11:01 AM GMT-5**

● **17% de similitud general**

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

*U. N. A. P. O. Q. C. S. A. C. M.*  
*Directora de Sub. Unidad de Invest. E. P. I. O.*  
*Cod. 82081*  
*Dr. Manuel P. Q. C. S. A. C. M.*

*W. Condo Choquetocro*  
*Junio C. S. A. C. M.*

Resumen



## DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a DIOS, por llenarme de fuerza y sabiduría al emprender mi camino de conocimiento en mi formación profesional que me condujo hasta el momento en el que estoy ahora; te lo dedico a ti padre celestial.

A mi querida MADRE, por ser mi motivación, el ejemplo de esfuerzo, superación y constancia, y por su inmenso apoyo en cada instante de mi vida hacia mi meta profesional, A mi querido PADRE por alentarme a seguir escalando en los caminos del conocimiento para lograr y destacar en todas mis metas y propósitos, y mi querida HERMANA por la confianza que siempre pone en mí.

**Wilber Condo Choquetocro**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a DIOS, por todo lo recibido, la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de Ingeniera Agronómica, a todos sus docentes que impartieron sus conocimientos y consejos para mi formación profesional.

Al Ing. M.Sc. Julio Cesar Sosa Choque por su inmensa paciencia, su profesionalidad, consejos y el trato que me ha dispensado, sin su colaboración no habría sido posible el presente trabajo de investigación.

A mis familiares y amigos, por su aliento además de acompañarme en esta gran experiencia que es el proyecto de tesis, compartido muchos momentos. Muchas gracias.

**Wilber Condo Choquetocro**



# 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 ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. CULTIVO DE QUINUA .....</b>	<b>20</b>
2.1.1. Centro de origen.....	22
2.1.2. Domesticación.....	23
<b>2.2. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE QUINUA .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA .....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Planta.....	26
2.3.2. Raíz .....	26
2.3.3. Tallo .....	27
2.3.4. Hojas .....	27



2.3.5. Inflorescencia .....	28
2.3.6. Flores.....	28
2.3.7. Fruto .....	29
2.3.8. Semilla.....	29
<b>2.4. FENOLOGÍA DE LA QUINUA.....</b>	<b>30</b>
2.4.1. Germinación .....	30
2.4.2. Dos hojas verdaderas.....	30
2.4.3. Cuatro hojas verdaderas .....	31
2.4.4. Seis hojas verdaderas .....	31
2.4.5. Ramificación .....	31
2.4.6. Inicio de panojamiento .....	32
2.4.7. Panojamiento.....	32
2.4.8. Inicio de floración .....	32
2.4.9. Floración o antesis.....	33
2.4.10. Grano acuoso.....	33
2.4.11. Grano lechoso.....	33
2.4.12. Grano pastoso.....	33
2.4.13. Madurez fisiológica.....	34
2.4.14. Madurez de cosecha .....	34
<b>2.5. REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO .....</b>	<b>34</b>
2.5.1. Suelo.....	34
2.5.2. pH.....	35
2.5.3. Clima .....	35
2.5.4. Agua .....	36
2.5.5. Temperatura .....	36



2.5.6.	Radiación.....	36
2.5.7.	Altitud .....	37
2.5.8.	Fotoperiodo .....	37
<b>2.6.</b>	<b>VARIEDADES DE QUINUA .....</b>	<b>37</b>
2.6.1.	Salcedo-INIA .....	37
<b>2.7.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN AGROMORFOLOGICA.....</b>	<b>38</b>
2.7.1.	Caracterización morfológica .....	38
2.7.2.	Caracterización Agronómica.....	39
<b>2.8.</b>	<b>EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA QUINUA .....</b>	<b>39</b>
<b>2.9.</b>	<b>ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>42</b>
<b>2.10.</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIANZA.....</b>	<b>42</b>
<b>2.11.</b>	<b>PRUEBA DE DUNCAN .....</b>	<b>43</b>
<b>2.12.</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>43</b>

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y METODOS

<b>3.1.</b>	<b>LUGAR DE EJECUCION .....</b>	<b>46</b>
3.1.1.	Ámbito de estudio .....	46
3.1.2.	Localización del proyecto .....	46
<b>3.2.</b>	<b>HISTORIAL DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.</b>	<b>PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.5.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS.....</b>	<b>48</b>
3.5.1.	Temperatura .....	49
3.5.2.	Precipitación.....	50
3.5.3.	Humedad relativa .....	51



<b>3.6.</b>	<b>MATERIAL EXPERIMENTAL .....</b>	<b>51</b>
	3.6.1. Material genético.....	51
<b>3.7.</b>	<b>MATERIAL DE CAMPO .....</b>	<b>52</b>
<b>3.8.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>53</b>
<b>3.9.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>54</b>
<b>3.10.</b>	<b>TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>54</b>
<b>3.11.</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>54</b>
<b>3.12.</b>	<b>CONDUCCION DEL EXPERIMENTO .....</b>	<b>55</b>
	3.12.1. Preparación del suelo .....	55
	3.12.2. Siembra .....	55
	3.12.3. Fertilización.....	56
	3.12.4. Control de malezas .....	56
	3.12.5. Desahije.....	56
	3.12.6. Aporque.....	57
	3.12.7. Cosecha y Trillado .....	57
<b>3.13.</b>	<b>EVALUACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>57</b>
<b>3.14.</b>	<b>METODOLOGIA DE CARACTERES AGRONOMICAS.....</b>	<b>58</b>
	3.14.1. Número de días hasta el 50% de floración (d) .....	58
	3.14.2. Número de días hasta el 50% de madurez fisiológica (d).....	58
	3.14.3. Altura de planta (cm) .....	58
	3.14.4. Diámetro de tallo (mm).....	58
	3.14.5. Longitud de panoja (cm) .....	59
	3.14.6. Diámetro de panoja (mm) .....	59
	3.14.7. Peso de 1000 granos (g) .....	59
	3.14.8. Diámetro de grano (mm).....	59





3.14.9. Espesor de grano (mm) .....	59
3.14.10. Rendimiento por planta (g) .....	60
3.14.11. Rendimiento (Kg/ha) .....	60
<b>3.15. METODOLOGIA DE CARACTERES MORFOLOGICAS .....</b>	<b>60</b>
3.15.1. Color de panoja en floración (escala).....	60
3.15.2. Color de panoja en madurez fisiológica (escala) .....	60
3.15.3. Forma de panoja (escala) .....	61
3.15.4. Densidad de la panoja (escala) .....	61
3.15.5. Comportamiento al mildiu (escala) .....	61
<b>3.16. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....</b>	<b>61</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. CARACTERIZAR AGRONÓMICAMENTE Y MORFOLÓGICAMENTE GENOTIPOS AVANZADOS DE QUINUA EN BASE A LOS DESCRIPTORES DE BIOVERSITY INTERNACIONAL EN CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE ILLPA DEL INIA.....</b>	<b>62</b>
4.1.1. Altura de planta (m) .....	62
4.1.2. Longitud de panoja (m).....	64
4.1.3. Diámetro de panoja .....	66
4.1.4. Diámetro de tallo principal (cm).....	68
4.1.5. Diámetro de grano .....	70
4.1.6. Espesor de grano. ....	72
4.1.7. Rendimiento de semilla por planta (g) .....	73
4.1.8. Peso de 1000 granos (g) .....	75
4.1.9. Evaluación de caracteres morfológicos.....	77



4.1.9.1. Color de panoja en floración.....	77
4.1.9.2. Color de panoja en Madurez fisiológica .....	78
4.1.9.3. Forma de panoja.....	78
4.1.9.4. Densidad de panoja .....	79
4.1.9.5. Color de pericarpio y episperma .....	80
4.1.9.6. Reacción al Mildiu .....	80
4.1.10. Evaluación de caracteres fenológicos .....	83
<b>4.2. IDENTIFICAR EL GENOTIPO AVANZADO DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) CON MAYOR RENDIMIENTO EN GRANO EN CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE ILLPA DEL INIA-PUNO ....</b>	<b>84</b>
<b>4.2.1. Rendimiento de semilla por hectárea (T/ha) .....</b>	<b>84</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

Área : Ciencias Agrícolas

Línea : Manejo Agronómico de Cultivos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de julio de 2024**



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b>	Análisis de caracterización del suelo del campo experimental..... 48
<b>Tabla 2</b>	Promedio de datos meteorológicos durante el experimento (2021 - 2022), según el SENAMHI de la estación Illpa. .... 48
<b>Tabla 3</b>	Medidas del campo experimental de la Campaña agrícola 2021 – 2022..... 54
<b>Tabla 4</b>	Análisis de varianza para altura de planta de los genotipos evaluados..... 62
<b>Tabla 5</b>	Prueba de Duncan para altura de planta de los genotipos evaluados..... 63
<b>Tabla 6</b>	ANOVA para longitud de panoja para genotipos evaluados. .... 64
<b>Tabla 7</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 66
<b>Tabla 8</b>	Prueba de Duncan al 5% para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. .... 67
<b>Tabla 9</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 68
<b>Tabla 10</b>	Prueba de Duncan al 5% para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 69
<b>Tabla 11</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 70
<b>Tabla 12</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 72
<b>Tabla 13</b>	Prueba de Duncan al 5% para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. .... 73
<b>Tabla 14</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022..... 73



<b>Tabla 15</b>	Prueba de Duncan al 5% para para rendimiento de grano por planta en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. .....	74
<b>Tabla 16</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para peso de 1000 granos en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022.....	75
<b>Tabla 17</b>	Prueba de Duncan al 5% para para peso de 1000 de granos en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022.....	76
<b>Tabla 18</b>	Caracterización de variables morfológicas en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), en campaña agrícola 2021 – 2022. ....	82
<b>Tabla 19</b>	Caracterización de variables fenológicas en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), en campaña agrícola 2021 – 2022. ....	83
<b>Tabla 20</b>	Análisis de Varianza (ANOVA) para rendimiento de semilla por hectárea en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. .....	85
<b>Tabla 21</b>	Prueba de Duncan al 5% para para rendimiento de semilla por hectárea en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. .....	85



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Localización del campo experimental en el Anexo Illpa – INIA (Campaña agrícola 2021 - 2022). .....	46
<b>Figura 2</b> Temperaturas máximas, medias y mínimas durante la campaña agrícola 2021 – 2022.....	50
<b>Figura 3</b> Precipitación pluvial (A) y humedad relativa (B) durante la campaña agrícola 2021 – 2022.....	51
<b>Figura 4</b> Comportamiento de longitud de panoja en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. ....	65
<b>Figura 5</b> Diámetro de grano en genotipos evaluados de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), 2021 – 2022. ....	71



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>CV:</b>	Coeficiente de varianza.
<b>ANOVA:</b>	Análisis de varianza.
<b>%:</b>	Porcentaje.
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
<b>C.V.:</b>	Coeficiente de Variabilidad
<b>DBCA:</b>	Diseño de Bloques Completamente al Azar
<b>INIA:</b>	Instituto Nacional de Innovación Agraria
<b>n.s.:</b>	No Significativo
<b>SENAMHI:</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>SIG<math>\leq</math>0.05:</b>	Significancia alfa 0.05
<b>*</b> :	Significativo
<b>**:</b>	Altamente Significativo
<b>SAL:</b>	Salcedo INIA.
<b>84(99)03-21-0018x003-21-005P:</b>	Genotipo procedente de hibridaciones de 2 líneas puras
<b>03-21-001 (4.5):</b>	Genotipo procedente de la selección de la 5ta generación
<b>01-15-(1.1):</b>	Genotipo procedente de selección de la 5ta generación.
<b>Alquipa 5:</b>	Genotipo procedente de la zona de Alquipa El Collao-IIave



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la campaña 2021 – 2022 en el Anexo Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, a 22 Km de la carretera Puno-Juliaca, con la finalidad de evaluar genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) para poder seleccionar el genotipo sobresaliente y poder ser considerado como alternativa de cultivo de quinua con rendimientos altos adaptados a los factores ambientales adversos, de fácil manejo y caracteres agronómicos sobresalientes en comparación de las variedades comerciales existentes. Los objetivos planteados fueron: a) caracterizar agronómicamente y morfológicamente genotipos de quinua en base a los descriptores de Bioversity Internacional en condiciones agroecológicas de Illpa del INIA y b) identificar el genotipo con mayor rendimiento en grano en condiciones agroecológicas de Illpa del INIA. Se obtuvo como resultado que las características morfológicas de los genotipos evaluados como color de panoja a la floración en los genotipos sobresalientes es verde como en el genotipo 03-21-001 (4.5) y púrpura para 01-15 (1.1) y color blanco y rosado de color de panoja a la madurez fisiológica respectivamente. Asimismo, para el genotipo 03-21-001 (4.5) la forma de panoja es glomerulada, compacta con granos de color crema y episperma blanco, en cambio el genotipo 01-15 (1.1) presentó una panoja amarantiforme, desagregado de color crema y episperma blanco. En cuanto a los demás caracteres morfológicos de los genotipos evaluados como altura de planta, los genotipos sobresalientes no alcanzaron alturas de planta considerables en comparación de la variedad comercial. En cuanto a longitud de panoja fueron similares, el diámetro de panoja los genotipos sobresalientes fueron similares, además en diámetro de tallo principal tuvieron medidas menores al resto debido a las alturas que fueron menores al resto. La característica agronómica más determinante para los genotipos evaluados fue el rendimiento, el cual es superior a la variedad comercial, es así que los genotipos 01-15 (1.1) con 2.96 t/ha y Alquipa 5 con 2.59 t/ha obtuvieron rendimientos superiores a la variedad Salcedo INIA, por lo que los genotipos 01-15-(1.1) con 2.96 t/ha y Alquipa 5, a pesar de no alcanzar alturas considerables tuvieron el mayor rendimiento por hectárea en comparación del resto de los genotipos evaluados por lo que estos dos genotipos serían los seleccionados para ser liberados como una nueva variedad y poder afrontar los factores climáticos adversos en el Altiplano peruano para el cultivo de quinua y poder aportar a la seguridad alimentaria de los pobladores del Altiplano peruano.

**Palabras clave:** Selección, genotipos de quinua, adaptación, factores climáticos.



## ABSTRACT

The present research work was carried out in the 2021 - 2022 campaign in the Illpa Annex of the National Institute of Agrarian Innovation-INIA, located 22 km from the Puno-Juliaca highway, with the purpose of evaluating advanced genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd ) to be able to select a genotype and be able to be released as a new variety and have quinoa cultivation alternatives with high yields adapted to the adverse environmental factors of the Peruvian highlands, easy handling and outstanding agronomic characteristics compared to existing commercial varieties. The objectives set were: a) to characterize agronomically and morphologically advanced quinoa genotypes based on the Bioversity International descriptors under agroecological conditions of the INIA Illpa Annex and b) to identify the advanced genotype with the highest grain yield under the agroecological conditions of the INIA Illpa Annex. .. The following results were obtained: in the morphological characteristics of the evaluated genotypes, it was observed that the panicle color at flowering for the outstanding genotypes is green for 03-21-001 (4.5) and purple for 01-15 (1.1) and white and pink panicle color at physiological maturity respectively. Likewise, for genotype 03-21-001 (4.5) the panicle shape is glomerulated, compact with cream-colored grains and white episperm, while genotype 01-15 (1.1) presented an amarantiform panicle, disaggregated, cream-colored and white episperm. Regarding the other morphological characters of the genotypes evaluated such as plant height, the outstanding genotypes did not reach considerable plant heights compared to the commercial variety. In terms of panicle length they were similar, the panicle diameter of the outstanding genotypes was similar, and in main stem diameter they had smaller measurements than the rest due to the heights that were lower than the rest. The most determining agronomic characteristic for the genotypes evaluated was the yield, which is superior to the commercial variety, thus genotypes 01-15 (1.1) with 2.96 t/ha and Alquipa 5 with 2.59 t/ha obtained yields higher than the Salcedo INIA variety, so genotypes 01-15-(1.1) with 2.96 t/ha and Alquipa 5, despite not reaching considerable heights, had the highest yield per hectare compared to the rest of the genotypes evaluated, so These two genotypes would be selected to be released as a new variety and be able to face the adverse climatic factors in the Peruvian Altiplano for the cultivation of quinoa and contribute to the food security of the inhabitants of the Peruvian Altiplano.

Keywords: Selection, quinoa genotypes, adaptation, climatic factors.





## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es considerado como uno de los cultivos más completos nutricionalmente denominado en el mundo como el cultivo del siglo XXI por su completa distribución de proteínas, lípidos, fibra, vitaminas, minerales y un excelente balance de aminoácidos esenciales. La quinua fue domesticada hace 7000 años (Gomez-Pando *et al.*, 2016). Teniendo una amplia adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas, originario de Perú y Bolivia. Es por ello que este cultivo se expandió a lo largo del mundo como América del Norte, Europa, África y Asia (Gomez-Pando *et al.*, 2019).

Por otro parte, la producción de alimentos, enfrenta desafíos enormes como el incremento de la demografía, se espera que para el 2050 superaremos los 10 mil millones de personas y junto al cambio climático (FAO, 2012), generará una necesidad imperante por encontrar cultivos alternativos y una demanda alta de alimentos nutritivos, de esta forma suplir las necesidades de las regiones más vulnerables del mundo (Mujica *et al.*, 2000). Lamentablemente entre esas regiones se encuentra la región de Puno – Perú, siendo esta una región con diferentes condiciones edafoclimáticas como las bajas temperaturas y en adición con el cambio climático podría alterar la producción agrícola y la agenda de cultivo de los agricultores ( Mujica *et al.*, 2013).

Los bajos rendimientos en el cultivo de quinua han sido un problema en varias regiones en producción del Perú., por lo que se requiere con urgencia variedades de quinua precoces, con altos rendimientos, altos valores nutricionales, resilientes a factores adversos del cambio climático y fácil adaptabilidad a diferentes zonas de la región. De



esta manera podemos suplir la necesidad alimenticia humana de las regiones más vulnerables del Perú y del mundo (Mujica *et al.*, 2013).

Por lo tanto, los programas de mejoramiento genético de cultivos, tienen una gran tarea en la selección e identificación de genotipos de quinua con un buen ideotipo para la región, siendo un ideotipo el conjunto de características asociadas con el rendimiento y la adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas, esta selección debe realizarse por medio de la caracterización agro morfológica ( Mujica *et al.*, 2013). Excelente para la quinua ya que contiene una amplia gama de diversidad genética, por lo que es factible identificar líneas o progenies con ideales características para los agricultores e investigadores.

Es por ello que la presente investigación de selección de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) tolerantes a factores climáticos adversos en condiciones de Illpa - Puno, pretende realizar una evaluación de los caracteres agromorfológicos de los compuestos para seleccionar los mejores compuestos, para poder obtener materiales promisorios avanzados que puedan ser lanzados como nuevas variedades con altos rendimientos de grano, precoces, panojas grandes, granos de tamaño grande, plantas de altura mediana, con tolerancia a factores climáticos adversos, todas estas características en interacción con las condiciones edafoclimáticas de Illpa -Puno.

Comprendiendo la necesidad de identificar genotipos de quinua con buen rendimiento y por la importancia para la economía y alimentación de los agricultores de las región Puno como una de las regiones más vulnerables a factores climáticos adversos conlleva a realizar la presente investigación, con el fin de incrementar el rendimiento y proporcionar nuevas variedades de quinua al mercado local y nacional.



### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Seleccionar genotipos avanzados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) adaptados a condiciones agroecológicas de Illpa Puno – Perú.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar agronómicamente y morfológicamente genotipos avanzados de quinua en base a los descriptores de Bioversity Internacional en condiciones agroecológicas de Illpa del INIA.
- Identificar el genotipo avanzado con mayor rendimiento en grano en condiciones agroecológicas del Illpa del INIA.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. CULTIVO DE QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia *Amarantaceae* siendo considerado un grano andino por las características del cultivo y las diferentes formas del consumo. Este cultivo se ha extendido por todo el mundo, ya que cuenta con un alto valor nutricional, siendo su posible centro de origen la región Andina de Perú y Bolivia, ya que son los lugares donde posee mayor diversidad genética (Chura *et al.*, 2019). Además, la quinua es una planta rústica, lo cual permite desafiar condiciones ambientales extremas presentando caracteres rústicos como los caracteres agronómicos que son muy importantes.

Esta capacidad de fácil adaptación puede deberse a la alta variabilidad genética que tiene y gracias a estos rasgos la quinua puede ser sembrada desde el nivel de mar hasta los 4000 msnm. En promedio la quinua puede llegar a medir de 0.5 m a más de 3 m de altura, depende en gran medida del material genético, densidad de siembra, fertilidad del suelo y el medio ambiente (Mujica *et al.*, 2001). Sin embargo la quinua según Bazile *et al.* (2016), fue domesticada hace más de 7000 años en los Andes.

El incremento de la demografía y las variaciones climáticas ha generado una imperante búsqueda de cultivos alternativos que puedan suplir las necesidades humanas y puedan resistir las variaciones climáticas del mundo, de entre todos los cultivos actuales, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) resalta por sus bondades inherentes y se presenta como un cultivo alternativo al cambio climático, debido a su alta calidad nutricional, amplia gama adaptativa y alta diversidad genética (EL-Harty *et al.*, 2021). Catalogada



como el grano del siglo XXI, asimismo, en la actualidad cada 2 años desde el 2013 se lleva a cabo congresos internacionales de la quinua y otros granos andinos, en función a encontrar nuevos cultivos que en la antigüedad fueron relegados, el objetivo de estos, reunir o presentar información de nuevos cultivos con altos valores nutricionales y con alta capacidad adaptativa para enfrentar o brindar sostenibilidad a la seguridad alimentaria mundial (Bazile *et al.*, 2016).

En la actualidad la quinua viene siendo intensamente estudiada a nivel mundial, como el último hallazgo que fue decodificar parte de su genoma, para encontrar los genes encargados de cada expresión, el cual ordena cada mecanismo específico, en este cultivo. Como muestra la investigación de Jiménez (2006), donde presentan el primer reporte acerca del secuenciamiento del genoma de la quinua, dando a conocer al mundo, parte de los genes encargados de ciertos funcionamientos fisiológicos – morfológicos, como la biosíntesis de saponina, siendo este carácter muy importante para el mercado mundial, y otros caracteres. En adición López-Marqués *et al.* (2020), desmenuzan un nivel más, presentando una propuesta de edición genómica en la quinua, el cual podría facilitar su producción a largo plazo, el cual facilitaría la agricultura intensiva a nivel mundial, proponiendo un ideotipo con caracteres como altura mediana, precocidad, menor biosíntesis de saponina, tamaño de grano, rendimiento por planta, dehiscencia temprana del grano, germinación temprana y resistencia al estrés de la temperatura y sequía al mismo tiempo, dando a conocer cada uno de los genes encargados de cada una de los caracteres mencionados. Coincidiendo con Bazile *et al.* (2016), sobre las herramientas y estrategias a usar en la edición genómica el cual se establece de acuerdo al contexto de la interacción Genotipo x Manejo x Ambiente, el cual genera el establecimiento del cultivo en la zona deseada. Finalmente Chura (2019), presenta al ideotipo de cada cultivo como



caracteres asociados a la adaptabilidad y al alto rendimiento, siendo estos expresables solo en la zona deseada, siendo muy importante para el cultivo de quinua.

### 2.1.1. Centro de origen

Como bien sabemos la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fue descrita botánicamente por primera vez por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, donde en el tiempo se aclaró que podría pertenecer a los andes del Perú y Bolivia. Por lo tanto, está en una latente discusión el poder determinar o hallar el centro de origen de la quinua, muchos autores dedicados a la investigación científica de la quinua, mencionan que existe una posibilidad que la quinua sea de la zona andina, ya que esta constituye uno de los ocho centros de domesticación de las plantas cultivadas, asimismo cuenta con sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética. Además, se encontró progenitores silvestres de la quinua, en los alrededores el Lago Titicaca que comparte entre Perú y Bolivia, donde específicamente se encontró diversidad en las ciudades de Potosí – Bolivia y Sicuani – Perú. Sin embargo, en la actualidad no existe evidencia arqueológica, lingüística, etnográfica e histórica sobre el origen de la quinua (Mujica *et al.*, 2001).

Mujica *et al.* (2013), mencionan que la quinua pertenece a 4 grupos principales en función a las condiciones agroecológicas como áreas donde se desarrollan óptimamente como los valles, llanuras altas, salares y nivel del mar, del mismo modo coincide con múltiples autores, acerca del origen de la quinua, especificando a los Andes de Bolivia y Perú, debido a la gran variabilidad genética que se encontró, la quinua podría considerarse como una especie oligocéntrica por su centro de origen alrededores del Lago Titicaca, ya que cuenta con gran



plasticidad fenotípica debido a su resistencia a inclemencias climáticas, donde la quinua se adapta excepcionalmente.

Por último Mujica *et al.*, (2001), mencionan que la región de Puno es el principal productor de quinua donde se concentran un 82% de la producción nacional, debido directamente a la riqueza agroecológica, climática, edáfica, conocimiento ancestral y sobre todo suelos no contaminados, es denominado como un alimento orgánico y el mejor lugar para la producción de quinua.

### **2.1.2. Domesticación**

Según Mujica *et al.*, (2013), se conoce que la domesticación es un proceso por el cual una determinada población, sea animales, vegetales, pierden, adquieren o desarrollan algunos caracteres específicos en su morfología, fisiología o comportamientos, que son heredables, en la domesticación puede existir la intervención humana denominándolo selección artificial, pero también la intervención natural que es la capacidad de adaptabilidad por medio de la selección natural llevada a cabo por miles de años. Además según Bazile *et al.* (2016) la gran mayoría de cultivos consumidos actualmente fueron domesticados en los últimos 12 000 años, durante el proceso de domesticación, nuestros antepasados encontraron los parientes silvestres de estos cultivos, y comenzaron a elegir lo que necesitaban para vivir, esas elecciones simples con llevaron a la formación de pirámides valiosas de mutaciones y recombinaciones de genes clave, permitiendo que estos cultivos sean más fáciles de reproducir, cultivar y almacenar semillas, de esta forma se logró obtener los cultivos más comercializados en la actualidad. Asimismo, según Bazile *et al.*, (2013), el inminente incremento de la demografía y el cambio climático son un golpe directo



en la producción agrícola a nivel mundial, ya que coloca en riesgo los rendimientos de los cultivos, por la gran variación de las condiciones edafoclimáticas, y que lamentablemente tenemos pocos cultivos domesticados, por lo que proponen recientes tecnologías avanzadas, para acelerar la domesticación de cultivos potenciales, una precisa manipulación genética lo que permitirá nuevos cultivos domesticados en poco tiempo a largo plazo o para el futuro.

Sin embargo, en el caso de la quinua según, Bazile *et al.* (2016), fue domesticada hace más de 7000 años en los andes. Por otra parte Apaza *et al.* (2018), mencionan que este grano fue domesticado, producido y conservado en la zona Andina y que con el tiempo, estas cualidades inherentes llamaron la atención a distintos países del mundo, por lo cual el cultivo de quinua fue revalorizado en el mercado e integrado como un producto del comercio global. Del mismo modo, Mujica *et al.* (2000), indican que la domesticación es un hecho muy importante para la actividad humana, en el caso de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ha sufrido una amplia gama de modificaciones tales como la condensación de la inflorescencia en el extremo terminal, incremento de altura, incremento de tamaño de semilla, acortamiento de la testa, ausencia de la dormancia. Además, afirma que en la actualidad se conoce la distribución de parientes silvestres, botánicas y citogenéticas de la quinua, lo que indicaría que su domesticación fue hace mucho tiempo, debido al diferente uso que se le otorgaba. Es por ello que la quinua cuenta con mecanismo de adaptación, dándole la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas, por consiguiente, la quinua está adaptada en todo el Perú, desde el nivel mar hasta los 4000msnm. En adición Mujica *et al.* (2013),





coinciden que la quinua fue domesticada por antiguas civilizaciones andinas, en la región que rodea el altiplano peruano y boliviano.

## 2.2. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE QUINUA

Según la FAO (2017), en la actualidad vivimos cambios constantes en la demografía y el clima, se promedia que para el 2050 seremos más de 10 millones de personas, lo que incrementa la demanda de cultivos básicos, en función de mantener la seguridad alimentaria mundial. Del mismo modo, la creciente agricultura tiene como reto encontrar cultivos con buenas características, como calidad nutricional, altos rendimientos, tolerancia a bajas y altas temperaturas, sequías, heladas, salinización e inundación de los suelos, y así como también a los factores bióticos como plagas y enfermedades. Así mismo Bazile *et al.* (2016) mencionan que la productividad de alimentos, en diferentes tierras tanto accesibles como marginales, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) salta a luz del mundo, como un pseudo – cereal originario de los Andes Peruanos y Bolivianos, con una gran diversidad genética y una inherente adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas. Asimismo, Schmidt *et al.* (2021) mencionan que la quinua contiene una calidad nutricional más alta que otros cereales, siendo materia de investigación en la actualidad, denominado por muchos como un alimento funcional. Además, según Ruiz *et al.* (2014), la quinua cuenta con un alto contenido de proteína, acompañado de todos los aminoácidos esenciales, diferentes minerales como Ca, Mg, Fe y sobre todo no contiene gluten, proporcionando de nutrición saludable al ser humano. Es por ello, que la quinua recientemente viene siendo introducido y cultivado en varios continentes como Norteamérica, Europa, Asia y Oriente Medio (Bazile, 2014). Adicionalmente la FAO (2010), dio a conocer que existe más de 16 000 accesiones del género *Chenopodium*. Finalmente Mujica *et al.* (2001) manifiesta que la reciente investigación del genoma de la quinua el cual se realizó a escala



cromosómica, abre la puerta para nuevas perspectivas de mejoramiento genético de este cultivo y proveer de valiosa información genómica, para estudiar mejor las características relevantes de la quinua.

### **2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA**

Según, Mujica *et al.*, (2013), el cultivo de quinua es una planta anual, rustica y erecta en las que se encuentra muy bien definidos caracteres de la familia a la que pertenece, como *Chenopodium ambrosioides*.

#### **2.3.1. Planta**

Portilla (1955), manifiesta que naturalmente la quinua alcanza una altura de 1.20 a 1.50 metros. Sin embargo Mujica *et al.* (2000), mencionan que la quinua tiene una gran variabilidad con respecto a su altura, alcanzando desde 0.3 a 3 metros, dependiendo del genotipo, de las condiciones ambientales, la fertilidad del suelo y de los metros sobre el nivel del mar y que la quinua está clasificada como planta C3.

#### **2.3.2. Raíz**

Gomez & Aguilar (2016), mencionan que la raíz de quinua es de tipo pivotante, constando con una raíz principal de la cual se generan numerosas raíces laterales ramificadas. Donde la raíz de la longitud es variable, de 0.8 a 1.5 metros, dependiendo del genotipo, fertilidad del suelo, tipo de suelo y otros factores ambientales. Mientras que Apaza *et al.* (2013), coinciden con el tipo de raíz siendo pivotante, pero que alcanzaría una profundidad de 1.80 metros, bastante ramificada y fibrosa es por ello la resistencia a la sequía, y buen soporte.



### 2.3.3. Tallo

Según Chura *et al.* (2019) el tallo es la unión del cuello y la raíz, de forma cilíndrica y a medida que se aleja del suelo comienza a convertirse de una forma angulosa, en las partes en la que se forma las hojas y ramas. Mientras que su corteza es firme y compacta debido a los tejidos lignificados. El color básico del tallo en la floración puede ser verde, verde-amarillo, naranja, rojo, púrpura y en ocasiones se muestran estrías de colores variables al verde, esto depende estrictamente de cada variedad. Muchas veces algunos aspectos como el color del tallo, estrías y axilas pueden ayudarnos a identificar una variedad, asimismo generalmente el color del tallo, en madurez fisiológica se torna de un color crema-rosado con diferentes tonalidades. Además Emrani *et al.*, (2020), dan a conocer que el color del tallo está siendo representando por genes dominantes que expresan el color.

### 2.3.4. Hojas

Portilla, (1955) menciona que las hojas de la quinua son rómbicas triangulares dentados, poco carnosas con numerosas glándulas globulares en el haz y en el envés, que tienen la función de proporcionar un color blanquecino en la parte del haz. Por otra parte Alvarez (1993), menciona que las hojas tiene dos partes diferenciadas que es el peciolo y la lámina. Siendo el peciolo de las hojas el más largo y acanalado, su longitud depende del genotipo, mientras que los peciolos son directamente del tallo y más cortos los que se originan en las ramas, su color puede variar desde verde, rosado, rojo y púrpura.



### 2.3.5. Inflorescencia

Gomez & Aguilar (2016), mencionan que el cultivo de quinua cuenta con una panoja con longitud variable de 15 a 70 cm, generalmente se encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Teniendo un eje principal, ejes secundarios y ejes terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos se pueden clasificar en amarantiformes, glomeruladas e intermedias. Del mismo modo Apaza *et al.* (2013), mencionan que la panoja típica se constituye por un eje central y ramificaciones secundarias, terciarias y pedicelos que sostienen a los glomérulos. De acuerdo al desarrollo del eje principal en función al secundario, se puede determinar si es laxa (amarantiforme) o compacta (glomerulada) existiendo formas intermedias entre ambas denominándolas intermedias.

### 2.3.6. Flores

Apaza *et al.* (2013), describen que las flores de la quinua son relativamente pequeñas con tamaño máximo de 3 mm, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos, pueden ser hermafroditas, pistiladas (femeninas) y androesteriles, teniendo un 10% de polinización cruzada. Sin embargo Mujica *et al.*, (2000), mencionan que existen variedades con mayor alogamia como Kcancolla. Asimismo Gomez & Aguilar (2016), indican que las flores son sésiles o pediceladas y están agrupadas en glomérulos. Lo que podría ayudar a la determinación del número de granos y del tamaño, mediante la posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo. En adición Abdelbar (2018), menciona que mayormente flores hermafroditas abundan en la quinua y que la emasculación es muy difícil por su compleja morfología.

### 2.3.7. Fruto

Mujica *et al.* (2000), mencionan que el fruto de la quinua es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, cubierto por envolturas florales conocidos como perigonios, que rodean el fruto y se desprenden con facilidad en la madurez, en ocasiones puede adherirse al grano dificultando el proceso de cosecha e industrialización. Un fruto constituido por el pericarpio y la semilla, teniendo alveolos en su superficie y la saponina que le proporciona el sabor amargo al grano, finalmente con un diámetro estándar de 1.5 a 3mm. También podríamos describirlo fácilmente como Portilla (1955), definiéndolo como un fruto en forma de nuez de diversos colores y con un diámetro estándar de 1 – 2 mm.

### 2.3.8. Semilla

Apaza *et al.* (2013), describen que la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un fruto maduro sin perigonio, forma lenticelar, elipsoidal y esferoidal que presenta 3 partes bien definidas. Como la episperma lugar donde se ubica la saponina y la adherencia es de acuerdo al genotipo, siguiendo el embrión que está constituido por cotiledones, radícula constituyendo un 30% del volumen total de la semilla, el cual envuelve a la episperma con un anillo a una curvatura de 320° siendo de color amarillo y una medida estándar 3.54 mm de longitud y anchura de 0.36 mm. Finalmente, el perisperma siendo el principal tejido de almacenamiento, constituido principalmente por almidón ocupando un 60% de la superficie de la semilla, mientras que Portilla (1955), indica que la semilla consta de un embrión y un núcleo farináceo blanquecino que contiene grandes cantidades de almidón, siguiéndole proteína y por ultimo grasa. Adicionando Gomez &



Aguilar (2016), señalan que la radícula, muestra una pigmentación de color castaño oscuro.

## **2.4. FENOLOGÍA DE LA QUINUA**

Montes-Rojas *et al.* (2018) mencionan que la fenología interactúa directamente con el desarrollo de la planta en función de las condiciones ambientales existentes en el crecimiento o desarrollo de la planta. Por otra parte, Mujica & Canahua (1989), indican que la fenología de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) son cambios externos, que comienzan desde la germinación hasta la formación de semillas, los cuales interactúan de forma directa con las condiciones ambientales y proporcionan el tiempo adecuado para realizar futuras programaciones como las labores culturales, riegos, control de plagas y enfermedades e identificar épocas críticas.

### **2.4.1. Germinación**

Mujica *et al.* (2013), menciona que las semillas de quinua en condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura pueden germinar muy rápidamente, siendo la primera estructura en emerger la radícula, la cual se alarga hacia abajo dentro del suelo y da inicio a la formación del sistema radicular, posteriormente el hipocótilo sale de la semilla y crece ascendentemente atravesando el suelo, llevando los cotiledones a la superficie donde inician el proceso de fotosíntesis.

### **2.4.2. Dos hojas verdaderas**

Mujica *et al.* (2013), menciona que la fase fenológica se caracteriza cuando se presencia 2 hojas en forma romboidal y con nervaduras notorias, este evento ocurre a los 15 a 20 días después de la siembra. Usualmente en esta fase



ocurre el ataque de insectos cortadores de plantas como *Capitarsia turbata*, *Feltia experta*, *Agrotis ypsilom*.

#### **2.4.3. Cuatro hojas verdaderas**

Mujica *et al.* (2013), menciona que en esta fase fenológica se caracteriza por la presencia de 2 pares de hojas extendidas, aun se observa las hojas cotiledonales, también encontrándose en botón foliar las posteriores hojas del ápice en inicio de formación de botones en la axila del primer par de hojas, este evento se presencia a los 25 a 30 días de la siembra. Lamentablemente es muy susceptible a insectos masticadores de hojas como *Epitrix subcrinita* y *Diabrotica de color*.

#### **2.4.4. Seis hojas verdaderas**

Mujica *et al.* (2013), menciona que luego de las 4 hojas verdaderas se observa tres pares de hojas verdades extendidas y las hojas cotiledonales comienzan a tornarse de color amarillento. Esta fase ocurre a los 35 a 45 días de la siembra, también se puede presenciar claramente una protección del ápice vegetativo por las hojas adultas, especialmente como respuesta a las bajas temperaturas de la noche, stress por déficit hídrico o salino.

#### **2.4.5. Ramificación**

Mujica *et al.* (2013), menciona que esta fase fenológica se observa ocho hojas verdaderas extendidas junto con la presencia de hojas axilares, hasta el tercer nudo. Las hojas cotiledonales caen, existe presencia de inflorescencia protegida por las hojas cubriendo a la panoja, esto ocurren a los 45 a 50 días de la siembra,



muy susceptible a bajas temperaturas, heladas que afectaría a la planta, también durante esta fase se realiza el aporque y fertilización complementaria.

#### **2.4.6. Inicio de panojamiento**

Mujica *et al.* (2013), menciona que esta fase comprende a la notoriedad de la inflorescencia que va emergiendo del ápice de la planta, observando alrededores aglomeraciones de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes, esto ocurre a los 55 a 60 días de la siembra, también se observa amarillamiento del primer par de hojas verdaderas, y finalmente se produce una fuerte elongación y engrosamiento del tallo.

#### **2.4.7. Panojamiento**

Mujica *et al.* (2013), menciona que posterior al inicio de panojamiento se observa que la inflorescencia sobre sale en gran manera, por encima de las hojas, notándose los glomérulos, asimismo se visualiza los glomérulos con la base de los botones florales individualmente, esto ocurre a los 65 a 70 días de la siembra.

#### **2.4.8. Inicio de floración**

Mujica *et al.* (2013), describe que esta fase comprende cuando las flores hermafroditas apicales se abren mostrando los estambres, donde se puede observar a simple vista, especialmente las anteras amarillas intensas y brillantes, este evento ocurre a los 75 a 80 días de la siembra, además en esta fase es muy susceptible a la sequía y heladas.





#### **2.4.9. Floración o antesis**

Mujica *et al.* (2013), menciona que esta fase comprende posterior al inicio de floración, donde el 50 % de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, además esta fase es muy sensible a las heladas, donde solo logra resistir máximo hasta  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo particular es que en horas de la mañana y en la tarde las flores se encuentran cerradas, pero al mediodía está abierta muy notorias, finalmente es notorio observar hojas inferiores de color amarillento que son menos activas fotosintéticamente, esto ocurre a los 90 a 100 días de la siembra.

#### **2.4.10. Grano acuoso**

Mujica *et al.* (2013), menciona que se denomina grano acuoso cuando los frutos de la panoja están recientemente formados y al ejercer presión con las uñas dejan salir un líquido acuoso, algo espeso y de color cristalino, característico de esta fase, lo cual ocurre a los 95 a 100 días de la siembra.

#### **2.4.11. Grano lechoso**

Mujica *et al.* (2013), describe el estado de grano lechoso cuando los frutos se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ejercer presión con las uñas a los frutos explotan o expulsan un líquido lechoso, lo que caracteriza a esta fase fenológica, la cual ocurre a los 100 a 130 días de la siembra, también requieren de cantidades adecuadas de agua, para prevenir el déficit hídrico, porque podría afectar drásticamente su desarrollo.

#### **2.4.12. Grano pastoso**

Mujica & Canahua (1989), refieren que el estado de grano pastoso es cuando los frutos al ejercer presión con las uñas presentan una consistencia



pastosa de color blanco, lo que ocurre de los 130 a 160 días de la siembra, en esta fase el ataque de la segunda generación de Qhona qhona (*Eurissacca quinoae*) causa daños considerables al cultivo, formando nidos y consumiendo el grano.

#### **2.4.13. Madurez fisiológica**

Mujica *et al.* (2013), menciona que la fase fenológica comprende cuando al ejercer presión con las uñas al fruto, se presenta resistencia a la penetración, este acontecimiento ocurre a los 160 a 180 días de la siembra. Además Gomez & Aguilar (2016), mencionan que cuando se presiona las semillas con las uñas de los dedos muestran una resistencia particular que daría a conocer la madurez fisiológica también, que la quinua es susceptible en esta fase a la mancha bacteriana (*Pseudomonas spp*).

#### **2.4.14. Madurez de cosecha**

Mujica *et al.* (2013), menciona que una vez alcanzada la madurez fisiológica se procede a realizar la cosecha y el emparvado, de esta manera los granos que se encuentran en las panojas pierden suficiente humedad, para facilitar la trilla y el desprendimiento del grano contenido dentro del perigonio, esto ocurre a los 180 a 190 días de la siembra.

### **2.5. REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO**

#### **2.5.1. Suelo**

Mujica *et al.* (2013), refieren que la quinua prefiere un suelo franco, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas y contenido de nutrientes, puesto que es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco potasio. También puede adaptarse a suelos



francos arenosos, arenosos o franco arcilloso siempre que se le dote de nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estadios.

### **2.5.2. pH**

Gomez & Aguilar (2016), refieren que el pH del suelo debe ser neutro o ligeramente alcalino, aunque algunas variedades procedentes de los salares en Bolivia, pueden soportar hasta pH 8, demostrando su carácter halófito; asimismo se ha encontrado quinua de suelos ácidos (pH 4,5) en Michi quillay, Cajamarca, Perú. De la misma forma Roqueiro *et al.* (2020), mencionan que los pH de 5 a 9 son los adecuados para el cultivo de quinua, también que existen ecotipos resistentes a niveles leves y moderados de salinidad en el suelo y agua de riego.

### **2.5.3. Clima**

Gomez & Aguilar (2016), mencionan que la quinua es una planta con alta plasticidad, teniendo una amplia variabilidad genética se adapta a diferentes climas desde el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando incluso hasta ceja de selva con mayor humedad relativa y sorprendentemente a la puna y zonas de grandes altitudes. También, Mujica *et al.* (2000), indican que la resistencia ontogénica a la sequía y al frío es muy variable pudiendo encontrar ecotipos que resisten a -8 °C y sobrevivir a 20 días desde el punto de marchitez permanente.



#### **2.5.4. Agua**

Gomez & Aguilar (2016), mencionan que la quinua tiene un buen eficiente uso del agua, a pesar de ser una planta C3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar al déficit de humedad, sino tolerar y resistir a la falta de humedad del suelo, a la quinua se le encuentra creciendo y dando producciones aceptables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales. En el altiplano central una planta de quinua requiere 385 mm de agua para el periodo de 5.5 meses de crecimiento (vida fisiológica) que es la cantidad aproximada de precipitación en la época húmeda de su área de producción.

#### **2.5.5. Temperatura**

Gomez & Aguilar (2016), manifiestan que la temperatura media adecuada para el cultivo de quinua está alrededor de 15 a 20 °C, sin embargo, con temperaturas de 10 °C se desarrolla perfectamente el cultivo; a temperaturas medias y altas de hasta 25 °C prospera. Se ha determinado que posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas pudiendo soportar hasta menos 8 °C en determinadas fases fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación, sin embargo, más susceptible la floración y llenado de grano.

#### **2.5.6. Radiación**

Gomez & Aguilar (2016), la quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los andes, sin embargo, estas altas radiaciones permiten compensar las horas calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo.



### **2.5.7. Altitud**

Mujica *et al.* (2020), mencionan que la quinua crece y se adapta desde el nivel del mar hasta cerca de los 4000 msnm quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su período vegetativo comparado con la zona andina, observándose que el mayor potencial productivo se tiene al nivel del mar, habiéndose obtenido hasta 6000 kg/ha con riego y buena fertilización.

### **2.5.8. Fotoperiodo**

Gomez & Aguilar (2016), refieren que la quinua por su amplia variabilidad genética y gran plasticidad, presenta genotipos de días cortos y de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo, adaptándose fácilmente a estas condiciones de luminosidad. En zonas de mayor producción de quinua, el promedio de horas luz diaria es de 12.19 con un acumulado de 146.3 horas año.

## **2.6. VARIEDADES DE QUINUA**

### **2.6.1. Salcedo-INIA**

Según Mujica *et al.* (2000), la variedad Salcedo INIA es una variedad mejorada obtenida del cruce de las variedades “Real Boliviana” y “Sajama” ambas variedades propias de Bolivia fueron sometidas a una selección masal del cruce dialélico de siete x siete en la estación experimental de Salcedo INIA (Programa de Investigación de Cultivos Andinos-PICA). Es una planta de color verde, con inflorescencia glomerulada, con una altura de planta de 1.80 m, con diámetro de grano de 1.8 a 2 mm, de color blanco, panoja glomerulada, periodo vegetativo de 160 días, con un rendimiento de 3500 kg/ha, resistente a heladas (-2°C), tolerante al mildiu. Además, Romero (2000), indica el buen comportamiento que tiene la



variedad Salcedo – INIA a la aplicación de biol, un abono foliar, encontrando la relación directa con un mejor rendimiento de grano y biomasa.

## **2.7. CARACTERIZACIÓN AGROMORFOLOGICA**

### **2.7.1. Caracterización morfológica**

Bhandari *et al.* (2017), mencionan que la caracterización morfológica son los determinantes más fuertes del valor agronómica y la clasificación taxonómica, además viene siendo muy usado en la actualidad, debido a que las evaluaciones morfológicas son directas, económicas, fáciles, y no requieren tecnologías costosas, para la identificación de especies, familias, géneros de plantas, líneas de germoplasma, líneas puras, variedades mejoradas, etc. Además, por medio de su manifestación fenotípica, el cual es ordenado por el genotipo en interacción con el medio ambiente, logran terminar su ciclo de vida. Sin embargo, muchas veces sufren limitaciones de la sensibilidad ambiental y la caracterización subjetiva, lamentablemente algunas variantes morfológicas no logran sobrevivir. Para una adecuada caracterización morfológica se toma en consideración diferentes conjuntos de caracteres para diferentes grupos de plantas de cultivo, para el grupo de cereales, las características más importantes a evaluar son color de la planta en floración, longitud de panoja, color del grano en madurez fisiológica, diámetro de grano, forma del fruto. Asimismo, Villarreal & Elias (2013), coinciden que caracterización morfológica es un método que nos permite cuantificar y conocer la variabilidad genética del genoma de una determinada población, mediante su manifestación fenotípica, diferenciándolos taxonómicamente a las plantas y seleccionando los descriptores morfológicos más adecuados, que puedan



discriminar de manera correcta al grupo de cultivos que se pretende caracterizar, de esta manera, posteriormente evaluarlas y coleccionar su información.

### **2.7.2. Caracterización Agronómica**

Bhandari *et al.* (2017), mencionan que la caracterización agronómica es fundamental en los bancos de germoplasma, programas de mejoramiento genético, comparativos y en evaluaciones del comportamiento de variedades, etc. Deben ser realizados a gran escala y bien documentados, ya que revela la variación genética de rasgos de importancia económica, estas características se encuentran en constante interacción genotipo x medio ambiente. Una adecuada caracterización agronómica parte de las características que tienen una importancia económica como la calidad del grano, rendimiento, tolerancia al estrés abiótico y biótico. Además que existen características agronómicas que están relacionadas con el rendimiento, en el caso de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) según Manjarres-Hernández *et al.* (2021), las características más importantes son longitud de panoja, diámetro de panoja, rendimiento de grano por planta, peso de 1000 semillas, diámetro de grano, forma de la densidad de panoja y rendimiento de grano por planta. Adicionalmente, Jarvis *et al.* (2017), señalan que es imperante la mejora de características agronómicas de importancia económica, en la quinua, para expandir la producción de quinua a todo el mundo.

## **2.8. EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA QUINUA**

Risi & Galwey (1984) refieren que la quinua es una alotetraploide con un número cromosómico de  $2n = 4x = 36$  (Kolano *et al.* 2016). Además Massawe *et al.* (2016;) sostienen que la quinua tiene una alta capacidad adaptativa, a diferentes condiciones, ya que fue domesticado hace más de 7000 años, por el Imperio Inca. Tiene un gran potencial



agronómico, pero lamentablemente sigue siendo un cultivo infrautilizado, con muy pocos programas de mejoramiento genético en sus países de origen. Además de la falta de inversión privada ha obstaculizado grandemente el progreso del mejoramiento genético de la quinua, la estabilidad del rendimiento y la reducción de saponina de la quinua son unos de los objetivos en diferentes programas de mejoramiento. Adicionalmente, Yabe & Iwata (2020) refieren que la quinua manifiesta una resiliencia natural a factores climáticos adversos, lo que genera un gran interés en la mejora del rendimiento con la utilización mínima de insumos. Para lograr expandir la producción de quinua en todo el mundo, es necesario mejoramientos genéticos, enfocados en las características agronómicas más relevantes. También Bazile *et al.* (2016), refieren que muchos caracteres no son adecuados para la producción a gran escala de quinua, por ejemplo muchas accesiones de quinua son propensas al acame, tienen excesivamente ramificaciones en la panoja, son susceptibles a enfermedades, sensibles a estreses abióticos, pese a que fueron domesticado hace miles de años.

Los primeros reportes de mejoramiento genético de la quinua fueron presentados por Gandarillas (1979), dando a conocer el método de selección masiva, selección individual y el método de hibridación, siendo este último el más adecuado para un mejoramiento genético en la quinua, con la única dificultad al realizar el cruzamiento artificial, combinando caracteres favorables, presentes en cada genotipo, dentro del híbrido (hijo). Este proceso de hibridación implica la participación de 2 genitores, y 2 procedimientos fundamentales, donde el genitor femenino es sometido a la emasculación, que no es más que la eliminación de las anteras, de esta manera prevenir su autopolinización, este procedimiento tiene que realizarse antes de la producción de polen, posteriormente el genitor masculino proporciona el polen al genitor femenino, donde se traslada artificialmente los organismos femeninos, este procedimiento está enfocado





directamente en los cruzamientos controlados de individuos con diferentes genoma, y el estudio de progenies asociados a la endogamia, de esta forma se realiza el cruzamiento de 2 genitores. Una vez que las plantas cruzadas alcanzaron la madures fisiológica, se realiza la cosecha individual, se trilla cada planta por separado, evitando confusiones en registrar cada planta cruzada. Finalmente, como resultado de este proceso, se obtiene semillas de la primera generación filial (F1). A partir de la F2 ya es posible aplicar técnicas adecuadas de selección, mediante la colección de información del material genético, caracterización agronómica y morfológica del material genético, la elección de caracteres o rasgos relacionados con el rendimiento o que son de interés para los agricultores e investigadores, concentrando caracteres favorables de cada parental en unas pocas líneas, que están por llegar a la homocigosis (F10). Donde en la actualidad según Emrani *et al.* (2020), el método de emasculación manual es el mejor a realizar para producir segregación en poblaciones de quinua, siendo recomendado para programas de mejoramiento genético en quinua.

López-Marqués *et al.* (2020), recientemente en la publicación de datos genómicos de alta calidad de la quinua, ha abierto la puerta para nuevos mejoramientos genéticos, enfocados en el alto rendimiento agronómico, como el aumento del tamaño de grano, numero de semillas por planta, precocidad, resistencia a factores bióticos, biosíntesis de saponina, dehiscencia del grano, altura de planta, germinación antes de la cosecha y adaptación a cambios climáticos como calor, son características importantes que deben tomarse en cuenta en todo programa de mejoramiento. Finalmente, Jarvis *et al.* (2017), señalan que este cultivo emergente conocido internacionalmente, tiene un gran potencial para mejorar la seguridad alimentaria mundial. El ultimo hallazgo de la secuenciación de una parte del genoma de la quinua, permite acelerar estos objetivos de mejoramiento. Los principales objetivos del mejoramiento en quinua incluyen el desarrollo de plantas más



cortas con menos ramas y cabezas de semillas más compactas, mayor tolerancia al calor y al estrés biótico, y la integración de nuevas variedades dulces en las variedades comerciales. Este estudio logro identificar la posible mutación que causaría la biosíntesis de saponinas triterpenoides, lo que permitiría la formación de variedades dulces, mediante la selección por marcadores.

## **2.9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA**

Fernández *et al.*, (2011), manifiesta que la estadística descriptiva nos permite comprender y describir el comportamiento de diferentes accesiones en función a cada carácter. Donde los más comunes vendrían hacer el promedio, la media aritmética, el rango de variación, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), siendo estos muy utilizados en el análisis de datos cuantitativos. Los análisis mencionados deben realizarse antes de cualquier análisis multivariado, porque brinda un panorama general de la variabilidad del germoplasma y permiten una visualización completa de donde, fácilmente podemos detectar algunos datos no esperados y errores de medición en el ingreso de datos.

## **2.10. ANÁLISIS DE VARIANZA**

Fernández *et al.*, (2011), menciona que el ANOVA conocido por su nombre en inglés “Analysis of Variance” es una técnica paramétrica utilizada en el análisis de datos de variables cuantitativas dependientes, generalmente procedentes de diseños experimentales obtenidos como respuesta de la aplicación de asignación aleatoria de tratamientos.



## 2.11. PRUEBA DE DUNCAN

Mujica *et al.*, (2013), mencionan que la prueba de Duncan es muy conocido y utilizado, contiene una filosofía similar a la prueba de Tukey, sin embargo, muchos estadísticos coinciden que la prueba de Duncan es más defendible matemáticamente que el de Tukey en condiciones de campo, por lo tanto, los resultados obtenidos son más confiables. Asimismo, Fernández *et al.* (2011), indican que es necesario realizar la prueba de Duncan. después del análisis de varianza, ya que el ANOVA solo indica que no todas las condiciones producen el mismo efecto sobre la variable respuesta, por lo que es necesario saber que tratamientos fueron los más óptimos o significativos en comparación con los demás.

## 2.12. ANTECEDENTES

Mujica *et al.* (2013), mencionan que la hibridación, es el punto de partida para la obtención de nuevas variedades de quinua mejoradas genéticamente, con características agronómicas requeridas por el productor. A través de las cruzas simples y dobles se obtendrán caracteres sobresalientes de la quinua, de tal forma que se seleccionara las mejores. La selección de progenitores adecuados permitirá hibridar aquellos que tengan menor similitud o aquellas que sean más distantes genéticamente para obtener nuevas variedades mejoradas. Bonifacio (2004), obtuvo progenies de cruzas simples en ocho variedades de quinua mediante la estimación de distancias genéticas realizadas por marcadores moleculares. El propósito fue obtener semillas de cruzas simples tomando en cuenta la similitud genética. Dando a conocer las variedades distantes entre Huariponcho (Hua) y Kcancolla; Salcedo INIA (Sal) y Huariponcho; Pasankalla (Pas) y kcancolla (Kca) y las variedades cercanas entre Negra Collana (Col) y Kcancolla (Kca); Salcedo INIA (Sal) y Pandela Rosada (Pan); Salcedo INIA (Sal) y Negra Collana (Col).



Apaza (2014), en su trabajo sobre caracterización y variabilidad de progenies S3 autofecundadas procedentes de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas, en seis cultivares de quinua. La correlación de las variables fue alta entre las características fenotípicas y el rendimiento del grano. Indicando que las variables con alto poder discriminante fueron número de días hasta el grano lechoso, número de días hasta 50% de floración, número de días a la forma de grano. Es resultado también fue corroborado por Dominguez (2014), que estudió la agromorfología de las autofecundaciones S4, procedentes de cruzas simples, genéticamente cercanas y distantes en quinua. Donde determino mediante el análisis de conglomerados la variabilidad fenotípica entre progenies, siendo la más distantes: Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 0.696409 y las más cercanas: Salcedo-Inia x Negra Collana con 0.214359. Los caracteres con alto poder discriminante fueron número de días al: 50% de madurez fisiológica, y longitud de panoja.

Choquechambi (2016), caracterizo progenies S5 utilizando descriptores morfológicos y evaluó; a partir de eso obtuvo los caracteres agromorfológicos de cada una de las progenies y progenitores. Se evaluaron 40 características morfológicas y agronómicas (21 cuantitativas y 19 cualitativas) mediante el análisis de componentes principales mostro que los tres primeros componentes explican más de los 63% de la variación total, en las seis cruzas y seis progenitores para las 40 variables explicativas. Con el análisis clúster observo que el progenitor femenino tiene mayor similitud o asociación con las cruzas en sus caracteres, mencionó que las cruzas que tienen mayor asociación con el progenitor femenino fueron las siguientes: Col x Kca. Hua x Kca. Sal x Col, Pas x Kca.

Flores (2017), caracterizó agronómicamente las líneas seleccionadas de las autofecundaciones S5 de cruzas simples distantes y cercanas genéticamente, tratando de



encontrar un idiotipo adecuado, encontrando características como, madurez fisiológica a la cruza PASxKCA con 192.98 días, rendimiento de grano/planta la cruza HUA x KCA 17 g., rendimiento por hectárea la cruza HUA X KCA 5099.28 kg/ha y su genitor Huariponcho 3995.78, cabe resaltar como conclusión que la cruza más precoz fue HUA X KCA con 177.51 días y la más tardía fue PAS X KCA con 192.98 días.

Apaza (2018), al seleccionar las líneas obtenidos por hibridación, que tuvo como propósito seleccionar líneas promisorias a partir de las autofecundaciones S5 de cruzas simples, en base a las características agronómicas, fueron 40 tratamientos y dos repeticiones como resultados se obtuvieron la cruza simple por hibridación, Huariponcho x Kcancolla que presentaron un periodo vegetativo de 183 días, con una altura de planta 64.23 cm y con un rendimiento de 4.10 t/ha. Concluyendo ganancia genética con respecto a sus progenitores.

Barrientos (2020), siguiendo con la evaluaciones de posteriores generaciones filiales, comparo el rendimiento mediante las evaluaciones agromorfológicas de 18 líneas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) provenientes de la generación S9, de las cuales las líneas Salcedo INIA x Pandela Rosada 171 (SALxPAN 171), Salcedo INIA x Negra Collana 37 (SALxCOL 37), Salcedo INIA x Negra Collana 30 (SALxCOL 30), Salcedo INIA Negra Collana 46 (SALxCOL 46) y Huariponcho x Kcancolla 53 (HUAxKCA 53) fueron las más promisorias agromorfológicamente ya que presentaron características deseadas por los agricultores.

## MATERIALES Y METODOS

### 3.1. LUGAR DE EJECUCION

#### 3.1.1. Ámbito de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la campaña 2021 – 2022 en el Anexo Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, ubicado a 22 Km de la carretera Puno-Juliaca.

#### 3.1.2. Localización del proyecto

##### Figura 1

*Localización del campo experimental en el Anexo Illpa – INIA (Campaña agrícola 2021 - 2022).*



El experimento se realizó en el anexo Illpa del INIA, distrito de Paucarcolla, provincia y departamento de Puno, a 22 km de la carretera panamericana del sur de Puno a Juliaca. Ubicado a una latitud sur con coordenadas



UTM de -15.68131, -70.07447 con una altitud de 3830 metros sobre el nivel del mar.

### **3.2. HISTORIAL DEL CAMPO EXPERIMENTAL**

El historial del campo experimental del 2020 – 2021 fue la siembra de papa, posteriormente se realizó la siembra de quinua, que forma parte del presente trabajo de investigación.

### **3.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO**

El trabajo de investigación se efectuó, durante la campaña agrícola 2021 - 2022 teniendo como fechas de inicio desde la siembra 5 de noviembre del 2021 y finalizando en la cosecha 15 de mayo del 2022.

### **3.4. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS**

Para el análisis de características edáficas, donde se obtuvo el análisis físico – químico del suelo (Tabla 1), se usó el método en zigzag para la extracción de la muestra, a una profundidad de 30 cm, teniendo puntos específicos en toda el área experimental. El CIP Illpa tiene un suelo de textura franco – limoso, con un pH ligeramente ácido, no salino, con un contenido de nitrógeno y materia orgánica calificado como bajo, sin embargo, contiene una concentración adecuada de fósforo y potasio. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelo, de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú.

**Tabla 1**

*Análisis de caracterización del suelo del campo experimental.*

COMPONENTE	CANTIDAD
Arena (%)	40.43
Limo (%)	46.28
Arcilla (%)	10.18
M.O. (%)	1.66
P(fosforo)ppm	7.18
K(potasio)ppm	106.3
Ph	6.13
C.E. mmhos/cm	0.427
Clase textual	Fr.Ar. A
Ca <sup>+2</sup> meq/100g	60 – 75
Mg <sup>+2</sup> meq/100g	15 – 20
K <sup>+</sup> meq/100g	3 a 7
Na <sup>+</sup> meq/100g	> 15

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, FCA UNA-Puno, (2021).

### 3.5. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS

Para la obtención de las características meteorológicas de la campaña agrícola de octubre del 2021 hasta junio del 2022 los datos de temperatura, precipitación y humedad relativa fueron obtenidos por medio del Servicio Nacional Meteorológico e Hidrológico (SENAMHI) de la estación más cercana al campo experimental. Estación Illpa - Puno Perú.

**Tabla 2**

*Promedio de datos meteorológicos durante el experimento (2021 - 2022), según el SENAMHI de la estación Illpa.*

Año	Mes	Temperatura °C			Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
		Máxima	Media	Mínima		
2021	Octubre	16.8	9.7	2.6	88	81.5
2021	Noviembre	16.4	10.4	4.4	87	71.9
2021	Diciembre	16.9	11.1	5.3	88	77.7
2022	Enero	16.1	10.6	5.1	91	162.6
2022	Febrero	15.7	10.7	5.7	93	162.8
2022	Marzo	15.5	10.45	5.4	40	72.2





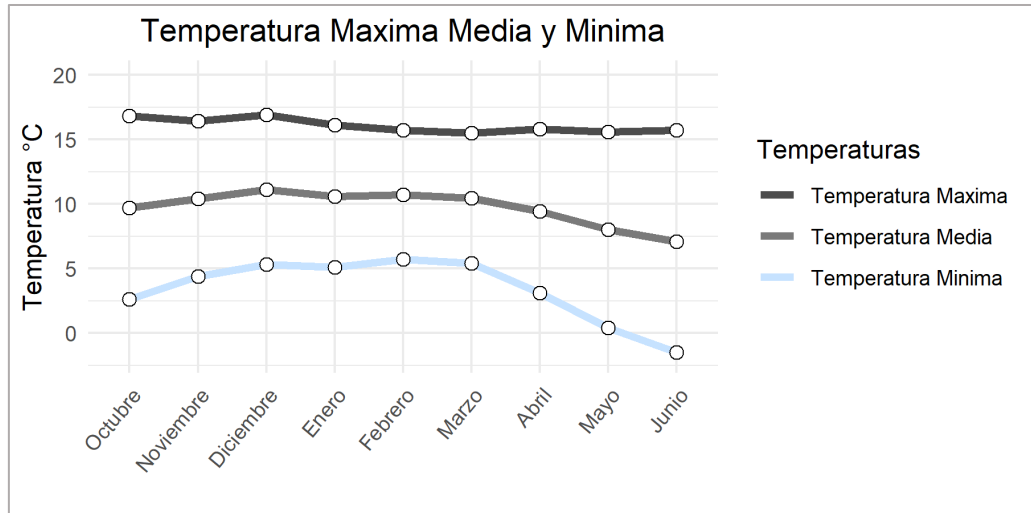
Año	Mes	Temperatura °C			Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
		Máxima	Media	Mínima		
2022	Abril	15.8	9.45	3.1	17	16.9
2022	Mayo	15.6	8	0.4	66	3.5
2022	Junio	15.7	7.1	-1.5	67	0

### 3.5.1. Temperatura

Se presento claramente una variación en las temperaturas máximas, medias y mínimas, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú-Puno. Como podemos ver en la Figura N°5, la temperatura más alta fue registrada en el mes de diciembre del 2021 con 16.9 °C por otra parte las temperaturas mínimas fueron registradas en los meses de mayo y junio del 2022 con valores de 0.4 y -1.5 respectivamente, los cuales se son meses en los cuales el cultivo no se encontraba en interacción durante el desarrollo del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Las temperaturas mínimas en los meses de la campaña agrícola no bajaron por debajo de 0°C lo cual ha permitido un desarrollo normal en condiciones de la zona donde se ha desarrollado la investigación.

**Figura 2**

*Temperaturas máximas, medias y mínimas durante la campaña agrícola 2021 – 2022.*



### 3.5.2. Precipitación

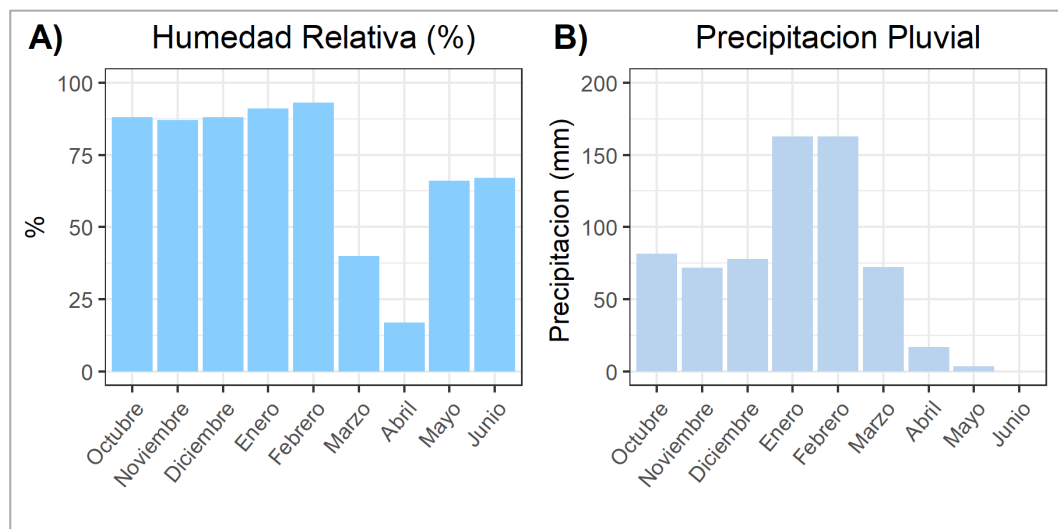
Como se puede observar en la Tabla 2, existe pequeñas variaciones en las precipitaciones pluviales mensuales, excepto en los meses de enero y febrero con 162.6 mm y 162.8 mm las cuales representan, máximas precipitaciones pluviales, por otro lado, en el mes de mayo y junio las precipitaciones pluviales disminuyeron en gran medida desde 0 a 3.5 mm, los cuales no influyeron en el desarrollo del cultivo. Las precipitaciones en los meses en los cuales se encontraba el cultivo en campo se dieron de manera regular tanto en volumen y distribución, donde los meses que mayores precipitaciones se registraron en los meses de diciembre a marzo, los cuales son los meses que la planta presenta mayores requerimientos hídricos.

### 3.5.3. Humedad relativa

Con respecto a la humedad relativa (Figura 3), se presentó en forma ascendiente en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero con 88, 87, 88, 91 y 93%, por otro parte en los meses marzo y abril, disminuyó en gran manera con 40 y 17%, en interacción con el desarrollo del cultivo en la campaña agrícola 2021 a 2022. La humedad relativa en los meses lluviosos estuvo por encima del 80% lo cual favorece muchas veces la presencia de patógenos como el mildiú.

### Figura 3

*Precipitación pluvial (A) y humedad relativa (B) durante la campaña agrícola 2021 – 2022.*



## 3.6. MATERIAL EXPERIMENTAL

### 3.6.1. Material genético

- Genotipos avanzados de quinua (líneas de quinua seleccionados en varias campañas agrícolas) de la generación 5, que fueron seleccionados durante



5 campañas agrícolas después de un proceso de hibridación y una variedad comercial, los genotipos evaluados son los siguientes:

- a) Salcedo INIA (variedad comercial)
- b) Genotipo 84(99)03-21-0018x003-21-005P
- c) Genotipo 03-21-001 (4.5)
- d) Genotipo 01-15-(1.1)
- e) Genotipo Alquipa 5

### **3.7. MATERIAL DE CAMPO**

#### **a) Insumos:**

- Estiércol
- Urea
- Fosfato di amónico

#### **b) Herramientas de campo:**

- Pico
- Pala
- Rastrillo
- Hoz
- Etiquetas
- Sacos
- Cinta métrica
- Rafia
- Sobres de manila
- Libro de campo
- Tijeras de podar



**c) Equipos de campo**

- Balanza analítica
- Cámara fotográfica
- Tractor con implementos agrícolas de los 3 procesos de preparación del suelo

**d) Equipos y materiales de laboratorio**

- Tubos de ensayo
- Vaso precipitado
- Pipeta
- Gradillas

**e) Otros**

- Calculadora
- Tamiz
- Regla
- Smartphone
- Lap Top
- Lapicero

### **3.8. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL**

El campo experimental tuvo un área neta de 25 m<sup>2</sup>, con una longitud de surco de 5 m, un distanciamiento entre surcos de 0.6m, un área neta por bloque de 100 m<sup>2</sup>, disponiendo al final de 513 m<sup>2</sup> de área total de experimento como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Medidas del campo experimental de la Campaña agrícola 2021 – 2022.*

<b>MEDIDAS DEL EXPERIMENTO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Superficie</b>
Numero de repeticiones	3
Longitud de surco	5 m
Ancho de surco	0.6 m
Área neta de parcela	25 m <sup>2</sup>
Área neta del bloque	100 m <sup>2</sup>
Área total del experimento	513 m <sup>2</sup>

### **3.9. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO**

La población constituyó 15 unidades experimentales, donde se consideró como muestra 10 plantas por unidad experimental para la toma de datos, en los 4 genotipos avanzados de quinua (generación 5) y 1 testigo comercial que fue la variedad Salcedo INIA.

### **3.10. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con la colección de datos del presente trabajo de investigación es considerado de tipo experimental, debido a que se llevó a cabo las respectivas evaluaciones en todo el proceso de ciclo fenológico de la planta bajo un diseño experimental, obteniendo finalmente individuos con características agro morfológicas deseadas según los objetivos.

### **3.11. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo utilizando el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con 5 tratamientos (4 genotipos y 1 testigo) de



quinua en 3 repeticiones, lo que lleva a un total de 15 unidades experimentales, en el Anexo ILLPA del INIA.

El modelo utilizado para el diseño de bloques completos al azar fue el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + e_{ij}$$

**Donde:**

**$Y_{ij}$**  = Rendimiento de i-esimo tratamiento, en la j-esima repetición.

**$M$**  = efecto de la media general

**$T_i$**  = efecto del i-esimo tratamiento

**$B_j$**  = efecto de la j-esimo bloque o repetición

**$e_{ij}$**  = efecto aleatorio del error experimental del i-esimo tratamiento, en la j-esima repetición.

## 3.12. CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

### 3.12.1. Preparación del suelo

La preparación del terreno se llevó a cabo días antes a la siembra, en el mes de octubre, donde, primeramente, se roturo la superficie experimental, posteriormente se realizó el proceso de rastra en discos, con el objetivo de desterronar y mullir el suelo, y finalmente se realizó el surcado antes de proceder a la siembra.

### 3.12.2. Siembra

La siembra de las líneas se realizó en el mes de noviembre. Asimismo, se preparó sobres con 30 gramos de semillas para cada unidad experimental,



debidamente etiquetados para su identificación correcta de cada compuesto de quinua, se sembró a chorro continuo, en este caso no se realizó la aplicación de estiércol antes de la siembra, como en otros experimentos, debido a que el año anterior se cultivó papa. El tapado se realizó a 2 cm de profundidad aproximadamente, con una rama así evitar problemas posteriores de emergencia de plantas.

### **3.12.3. Fertilización**

La formulación de la dosis de fertilización fue de 80N-40P-00K en base al análisis de fertilidad del suelo. Las fuentes utilizadas fueron urea, fosfato di amónico, los cuales fueron fraccionados a 50 % que se aplicó en el primer deshierbo y el otro 50% en el primer aporque.

### **3.12.4. Control de malezas**

El deshierbo es una de las actividades importantes en el cultivo de quinua, porque permite un crecimiento y desarrollo adecuado, asegurando la calidad de la producción (Apaza, 2017). El deshierbo se efectuó manualmente, aprovechando la humedad del suelo, después de las precipitaciones pluviales, se realizaron 2 deshierbas durante la campaña agrícola.

### **3.12.5. Desahije**

El desahije consiste en la eliminación de plantas débiles y pequeñas, el cual es necesario para el buen desarrollo de las plantas, que sean vigorosas y tener un distanciamiento aparente para el buen desarrollo de las plantas; esta actividad se realizó a los 65 días después de la siembra con la finalidad de tener un desarrollo óptimo.





### **3.12.6. Aporque**

El aporque permite una mejor fijación de las raíces y protege a las plantas del tumbado cuando tienen mayor altura, esta labor se realizó de forma manual concluido el deshierbo y desahije, a los 75 días después de la siembra, además se aplicó abono nitrogenado complementario.

### **3.12.7. Cosecha y Trillado**

La cosecha se realizó a la madurez fisiológica de cada línea genética, y testigo, donde se cosecha 10 plantas por cada línea genética y testigo, en la parte central donde abarcaban tres surcos de cada unidad experimental, posteriormente se procedió a realizar la trilla de panoja y la separación de granos de la broza con ayuda del viento. Finalmente se empaco las semillas en sobres de manila y sacos donde fueron pesados e identificados adecuadamente según los objetivos planteados.

## **3.13. EVALUACIÓN DE VARIABLES**

Las variables agronómicas y morfológicas se evaluaron de acuerdo con los descriptores de caracterización y evaluación validados por Bioversity International de la FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013), que consiste en la evaluación de caracteres agronómicos y morfológicos en la quinua, permitiendo una adecuada selección de líneas en base a sus características. Se extrajo 10 plantas al azar por unidad experimental, en el centro del mismo, descartando los surcos externos, se tomaron en cuenta las variables más importantes con respecto al rendimiento, tanto agronómicas y morfológicas, mediante el cual se seleccionó las líneas de quinua con mejor rendimiento. Por otra parte, Rojas y Pinto (2013), indican que la caracterización nos permite discriminar fácil y



rápidamente entre fenotipos que muestran caracteres resaltantes y detectables en la población evaluada.

### **3.14. METODOLOGIA DE CARACTERES AGRONOMICAS.**

#### **3.14.1. Número de días hasta el 50% de floración (d)**

Esta variable se evaluó cuantificando los días, desde la siembra hasta el 50% de las plantas hayan alcanzado floración, mediante la observación de cada parcela (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

#### **3.14.2. Número de días hasta el 50% de madurez fisiológica (d)**

Se registro contando los días desde la siembra hasta el 50% de las plantas de la unidad experimental ejerciendo presión con las uñas y presentando un estado pastoso (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

#### **3.14.3. Altura de planta (cm)**

Esta variable fue evaluada en la madurez fisiológica del cultivo, seleccionando 10 plantas al azar por parcela. La medida se estableció desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja central, representándose en centímetros (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

#### **3.14.4. Diámetro de tallo (mm)**

Se cuantifico el diámetro de la parte media del tallo principal, con la ayuda de una reglar vernier, evaluando 10 plantas al azar por parcela (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).



### **3.14.5. Longitud de panoja (cm)**

Esta variable se evaluó, midiendo desde la base hasta el ápice de panoja utilizando una cinta métrica, en 10 plantas al azar de una parcela (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

### **3.14.6. Diámetro de panoja (mm)**

Se midió el diámetro de panoja utilizando una regla vernier, donde se cuantifico exactamente en la parte media de la panoja, en la etapa de la madurez fisiológica tomando 10 plantas por unidad experimental (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

### **3.14.7. Peso de 1000 granos (g)**

Esta variable fue registrada una vez terminada la cosecha, se extrajo 1000 granos (semillas) de quinua sin perigonio y se pesó de una balanza analítica (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

### **3.14.8. Diámetro de grano (mm)**

Después de la cosecha, el trillado y venteado se procedió a medir el diámetro de grano utilizando una regla vernier (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

### **3.14.9. Espesor de grano (mm)**

Después de la cosecha, el trillado y venteado se procedió a medir el espesor de grano utilizando una regla vernier (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).



#### **3.14.10. Rendimiento por planta (g)**

Para determinar este variable, primero se desprendió el grano de la panoja luego se limpió las semillas para eliminar impurezas, posteriormente se utilizó una balanza analítica para pesar el grano por planta (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

#### **3.14.11. Rendimiento (Kg/ha)**

Para cuantificar el rendimiento de grano por hectárea se tomó en cuenta el peso de grano por planta, y se realizó la respectiva conversión (Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, 2013).

### **3.15. METODOLOGIA DE CARACTERES MORFOLOGICAS**

#### **3.15.1. Color de panoja en floración (escala)**

Para determinar el color de la panoja en floración se consideró que el 50% de las plantas llegaran a la floración, de esta manera se evaluó el color mediante las escalas de 4 colores propuesto por el Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013).

#### **3.15.2. Color de panoja en madurez fisiológica (escala)**

Para determinar el color de la panoja en maduración fisiológica se consideró que el 50% de las plantas llegaran a la maduración fisiológica, de esta manera se evaluó el color mediante las escalas de 14 colores más comunes y otros, usando la visualización propuesta por el Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013).



### **3.15.3. Forma de panoja (escala)**

Para evaluar la forma de la panoja se utilizó la visualización, donde se identificó la forma de la panoja de acuerdo a lo propuesto por Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013), existiendo 3 tipos de forma de panoja como glomerulada, intermedia y amarantiforme.

### **3.15.4. Densidad de la panoja (escala)**

Para evaluar la densidad de la panoja se utilizó la visualización, donde se identificó la densidad de la panoja de acuerdo al descriptor de Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013), habiendo 3 tipos de densidad de panoja, como laxa, intermedia y compacta.

### **3.15.5. Comportamiento al mildiu (escala)**

Para determinar el comportamiento al mildiu de las líneas, se utilizó el descriptor de Bioversity International, FAO, PROINPA, & INIAF, FIDA, (2013), mediante la visualización y en una escala desde muy bajo, bajo, intermedia, alta y muy alta.

## **3.16. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Para el análisis adecuado de datos se utilizó el software estadístico R Core Team Software (2022). Los datos colectados fueron sometidos a sus respectivos análisis estadísticos como el análisis de varianza (ANOVA) posteriormente la prueba de comparación múltiple Duncan al 5% de error.



**Tabla 5***Prueba de Duncan para altura de planta de los genotipos evaluados*

TRATAMIENTOS	PROMEDIO
Salcedo INIA	1.26 A
84(99)03-21-0018x003-21-005P	1.26 A
03-21-001 (4.5)	1.20 A
01-15-(1.1)	1.16 A
Alquipa 5	0.93 B

Para las alturas alcanzadas según Marca (2022), reporto en su investigación que, la línea (HUAxKCA)x(PASxKCA) 99 alcanzo una altura de planta de 124.0 cm, sin embargo, la línea (SALxHUA)x(PASxKCA) 139 registro menor altura de planta con 98.00 cm, este reporte es muy parecido a lo que se registró en condiciones edáficas y climáticas de la campaña agrícola 2021-2022 en el CIP Illpa. Además, Mujica et al. (2004), indican que la altura de la planta depende de la especie y variedad de quinua, las condiciones ambientales en las que crece, la fertilidad del suelo y el genotipo.

También se resalta que Mayta (2021), reporta en su investigación que, los mayores promedios de altura de planta se presentaron (HUAxKCA)x(PASxKCA) y (HUAxKCA)x(SALxHUA), con 137.55 y 135.42 cm. Además, las cruza que presentaron menores promedios de altura de planta fueron (SALxHUA) x (PASxKCA),(COLxKCA)x(SALxPAN),(COLxKCA)x(SALxCOL)y(SALxCOL)x(SALxPAN) con 126.08, 123.35, 116.35 y 115.91 cm. Estas alturas aparentemente son mayores a los registrados en la presente investigación, pero las condiciones ambientales fueron diferentes.



#### 4.1.2. Longitud de panoja (m)

**Tabla 6**

*ANOVA para longitud de panoja para genotipos evaluados.*

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sig.</b>
Bloques	2	17.29	8.64	1.29	0.3267	n.s.
Tratamientos	4	108.34	27.08	4.04	0.0441	n.s.
Error experimental	8	53.57	6.70			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>179.19</b>				

**CV: 7.84 %**

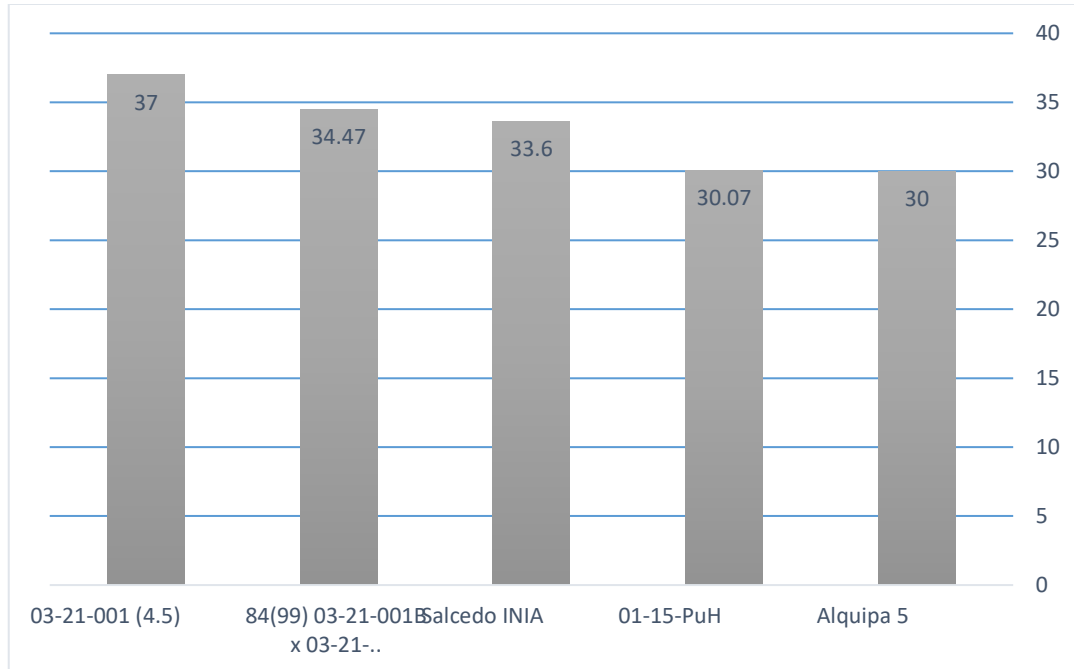
Interpretando la Tabla 6, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, por otro lado, tampoco se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos, que en este caso son los genotipos evaluados, por lo tanto, se deduce que la longitud de panoja entre los tratamientos (genotipos) es similar, tal como se observa en la Figura 4; asimismo se tiene un coeficiente de variación de 7.84%, que está dentro de lo aceptado para este tipo de investigación.



#### Figura 4

*Comportamiento de longitud de panoja en genotipos evaluados de quinua*

*(Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*



Marca (2022), reporta en su investigación que, la línea (HUAxKCA) x (PASxKCA) 99 resulto con mayor longitud de panoja con 52.90 cm. Sin embargo, la línea (SALxCOL)x(SALxPAN) 75 registró el promedio menor con 40.27 cm, siendo diferente a la información obtenida en la presente investigación donde la mayor longitud de panoja alcanzada es de 37 cm, la diferencia de estos resultados pudo haber sido ocasionado por las condiciones edafoclimáticas y por la densidad de plantas por metro lineal.

Asimismo, Mayta (2021), reporto en su investigación que los mayores promedios de longitud de panoja que se presentaron en (HUAxKCA)x (SALxHUA) y (SALxHUA) x (PASxKCA) con 48.22 y 43.31 cm. Por otra parte, los genotipos que presentaron menores promedios de longitud de panoja fueron (COLxKCA)x(SALxCOL),(HUAxKCA)x(PASxKCA),

(SALxCOL)x(SALxPAN) y con 35.88, 35.17 y 29.48 cm: que son similares a los registrados en el presente trabajo de investigación.

#### 4.1.3. Diámetro de panoja

Al interpretar la Tabla 7, se estableció que no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo se observa que, si existe diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que el diámetro de panoja entre los genotipos evaluados (tratamientos) es heterogéneo; también se puede observar que se tiene un coeficiente de variación de 3.71%.

**Tabla 7**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor	Sig.
Bloques	2	0.65	0.32	3.14	0.0983	n.s.
Tratamientos	4	3.96	0.99	9.65	0.0037	*
Error experimental	8	0.82	0.10			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>5.43</b>				

**CV: 3.71 %**

Interpretando prueba de Duncan (5%). En la Tabla 8, se observa que el genotipo 03-21-001 (4.5) presento mayor longitud de panoja con 9.47 cm, similar a los genotipos 01-15-(1.1), 84(99) 03-21-0018 x 03-21-005P y Alquiqa 5, asimismo el genotipo que presento el menor diámetro es Salcedo INIA con 8.07 cm en promedio, una variedad comercial que es muy cultivada en la región altiplánica.

**Tabla 8**

*Prueba de Duncan al 5% para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PROMEDIO</b>
03-21-001 (4.5)	9.47 A
01-15-(1.1)	8.87 A B
84(99)03-21-0018x003-21-005P	8.60 A B
Alquipa 5	8.13 B
Salcedo INIA	8.07 B

Según Marca, (2022) reporta en su investigación que, la línea (SALxCOL)x(SALxPAN) 31 y (HUAxKCA)x(PASxKCA) 99 obtuvieron rangos menores de diámetro de panoja con 72.17 y 66.60 mm, caso contrario para la línea (HUAxKCA)x(PASxKCA) 58 que registro una media menor de 49.53 mm en comparación con otras líneas. Esta diferencia de datos para este carácter con la presente investigación pudo generarse a causa de condiciones medio ambientales o manejo agronómico y al genotipo, tal como nos indican (Snowdon et al., 2021), por lo que se supondría que los genotipos evaluados presentan diámetros de panoja mayores a las variedades comerciales como Salcedo INIA.

Asimismo, Mayta (2021), reporto en su investigación que, los mayores promedios de diámetro de panoja los presentaron (HUAxKCA)x(PASxKCA) y (SALxHUA)x(PASxKCA) con 7.54 y 6.02 cm. En cambio, las cruza dobles que presentaron menores promedios de diámetro de panoja fueron (COLxKCA) x (SALxCOL),(HUAxKCA)x(SALxHUA)y(SALxCOL)x(SALxPAN) con 5.53, 4.90, 4.46 cm; estas medidas registradas son menores a lo registrado en la presente investigación. Al respecto, Tapia et al. (2000) menciona que, se debe tener en cuenta el tamaño de panoja (diámetro y longitud) para categorizar el material genético de quinua, el cual es el objetivo de la presente investigación, sin embargo,

la distribución de varios genotipos puede variar de un agroecosistema a otro y generar un sistema muy complicado de categorización de genotipos.

#### 4.1.4. Diámetro de tallo principal (cm).

Al interpretar la Tabla 9, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo, se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos (genotipos), estos resultados pueden deberse a la variabilidad entre los genotipos en estudio, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 8.16%.

**Tabla 9**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sig.</b>
Bloques	2	1.35	0.67	0.96	0.4226	n.s.
Tratamientos	4	13.71	3.43	3.43	0.0	*
Error experimental	8	5.62	0.70			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>20.67</b>				

**CV: 8.16 %**

Interpretando prueba de Duncan (5%). En la Tabla 10, se nota que los genotipos 84(99) 03-21-0018 x 03-21-005P; 03-21-001 (4.5); Salcedo INIA, con 11.14 mm, 11.07 mm, 10.64 mm de diámetro respectivamente presentaron los mayores diámetros; los cuales son similares a lo alcanzado por el genotipo 01-15-(1.1) que tuvo 9.90 mm, pero el genotipo que tuvo el menor diámetro de tallo fue Alquipa 5 con 8.56 mm de diámetro.

**Tabla 10**

*Prueba de Duncan al 5% para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

TRATAMIENTO	PROMEDIO
84(99)03-21-0018x003-21-005P	11.14 A
03-21-001 (4.5)	11.07 A
Salcedo INIA	10.64 A
01-15-(1.1)	9.90 A B
Alquipa 5	8.56 B

En cuanto a diámetro de tallo Marca, (2022), reporto en su investigación que, la línea (HUAxKCA)x(PASxKCA) 99 tuvo como media 12.97 mm, siendo ligeramente superior a la información obtenida en la presente investigación; además reporto que la línea (HUAxKCA)x(SALxHUA) 108 tuvo como media 12.50 mm, siendo superior a la información obtenida en la presente investigación, estas desigualdades pueden deberse a las condiciones edafoclimáticas.

Asimismo, Mayta (2021), reporto en su investigación que, los genotipos que presentaron menores promedios de diámetro de tallo fueron (SALxHUA)x(PASxKCA),(HUAxKCA)x(SALxHUA),(COLxKCA)x(SALxCOL),(HUAxKCA)x(PASxKCA),(COLxKCA)x(SALxPAN)y(SALxCOL)x(SALxPAN) con 1.31, 1.18, 1.12, 1.05, 1.03 y 0.99 cm, claramente los resultados son similares a la presente investigación.

Las condiciones agroecológicas a la cual son expuestas y la capacidad adaptativa que poseen los genotipos como respuesta del carácter diámetro de tallo principal podrían prevenir el tumbado de plantas que son causados por el peso excesivo de la panoja, problemas ornitológicos y factor viento, resultando este

carácter primordial para los programas de mejoramiento genético (López et al., 2020).

#### 4.1.5. Diámetro de grano

Al interpretar la Tabla 11, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo, se observa que tampoco existe diferencias significativas entre los tratamientos (genotipos), estos resultados pueden deberse a que el diámetro de grano es similar estadísticamente entre los genotipos en estudio, pero se observa una diferencia matemática entre las medias de los genotipos, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 5.89%.

**Tabla 11**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sig.</b>
Bloques	2	2.80	1.40	0.96	0.8904	n.s.
Tratamientos	4	0.05	0.01	3.43	0.4488	n.s.
Error experimental	8	0.10	0.01			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>0.15</b>				

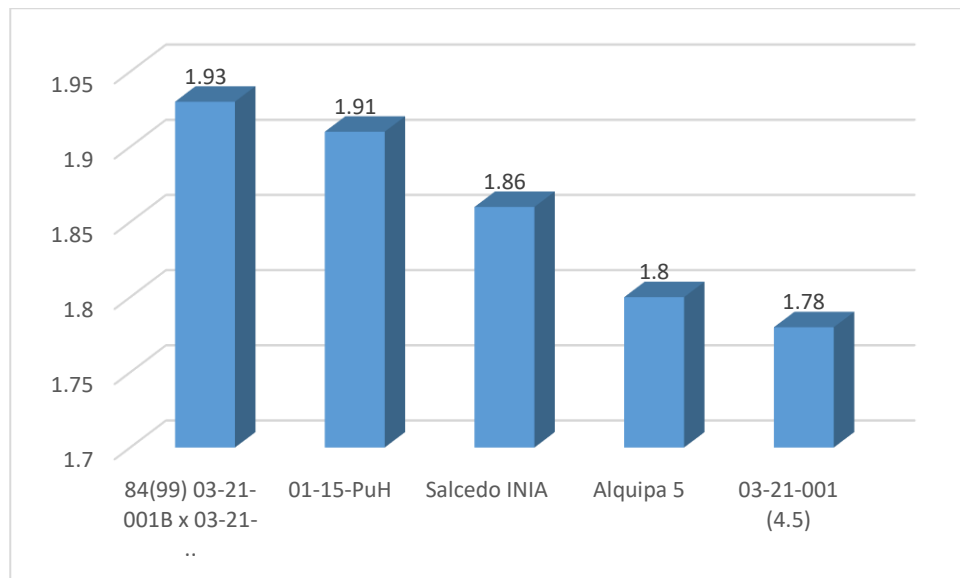
**CV: 5.89 %**

Al observar la figura 5, se observa que los genotipos 84(99) 03-21-0018 x 03-21-005P; 01-15-(1.1); Salcedo INIA, Alquipa 5 y 03-21-001 (4.5) con 1.93 mm, 1.91 mm, 1.86 mm, 1.8 mm y 1.78 mm de diámetro respectivamente, si bien presentan no presentan diferencias estadísticas significativas y se observan diferencias matemáticas, donde el mayor diámetro lo presenta el genotipo 84(99) 03-21-0018 x 03-21-005P, seguido de 01-15-(1.1), que son los que mayor

diámetro de grano presentan en comparación de la variedad Salcedo INIA que es el testigo.

### Figura 5

*Diámetro de grano en genotipos evaluados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), 2021 – 2022.*



Según Marca, (2022), evaluando genéticos en Camacani, Puno - Perú, reporto que la línea (SALxCOL)x(SALxPAN) 31 alcanzo mayor diámetro de grano con 2.17 mm, del mismo modo, reporto que las líneas que tuvieron menor diámetro de grano fueron (HUAxKCA)x(SALxHUA) 28 y (SALxHUA) x (PASxKCA) 92 con 1.83 y 1.77 mm, resultando mínimo la diferencia de datos de los genotipos evaluados en la presente investigación, este resultado puede deberse por condiciones edafoclimáticas que se presentaron y la genética del material evaluado, también Mayta, (2021), en su estudio de investigación, reporto que las cruza obles (COLxKCA)x(SALxCOL),(SALxCOL)x(SALxPAN),(SALxHUA) x (PASxKCA),(HUAxKCA) x (SALxHUA) y (HUAxKCA)x(PASxKCA), presentaron un promedio de diámetro de grano de 1.81, 1.81, 1.80, 1.80, 1.80 y 1.79 mm, en condiciones de invernadero, estos resultados son similares a los que

se obtuvo en la presente investigación, además de ello cabe precisar que el peso de las semillas y diámetro de grano están estrechamente relacionados (Chura et al., 2019).

#### 4.1.6. Espesor de grano.

Al interpretar la Tabla 12, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo, se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos (genotipos), estos resultados pueden deberse a que el espesor de grano no es similar entre los genotipos en estudio, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 2.53%.

**Tabla 12**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sig.</b>
Bloques	2	9.30	4.70	0.07	0.9310	n.s.
Tratamientos	4	0.01	2.60	4.05	0.0440	*
Error experimental	8	0.01	6.50			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>0.02</b>				

**CV: 2.53 %**

Interpretando prueba de Duncan (5%). En la Tabla 13, se observa que los genotipos 01-15-(1.1) con 1.04 mm de espesor, Alquipa 5 con 1.02 mm y Salcedo INIA con 1.0 mm de espesor de grano son similares estadísticamente; también se puede observar que el genotipo 84(99) 03-21-0018 x 03-21-005P, es el que tiene el menor espesor de grano con respecto al genotipo 01-15-(1.1) que registro el mayor espesor de grano en la presente investigación.



**Tabla 13**

*Prueba de Duncan al 5% para diámetro de panoja en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

TRATAMIENTO	PROMEDIO
01-15 (1.1)	1.04 A
Alquipa 5	1.02 A B
Salcedo INIA	1.00 A B C
03-21-001 (4.5)	0.98 B C
84(99)03-21-0018x003-21-005P	0.97 C

Para la característica de espesor de grano cabe precisar que está directamente relacionado con el peso de las semillas y diámetro de grano tal como indican Chura et al. (2019). Por lo que se supone que es una característica complementaria a los parámetros mencionados.

#### 4.1.7. Rendimiento de semilla por planta (g)

Al interpretar la Tabla 14, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo, se observa que existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos (genotipos), estos resultados pueden deberse a que el rendimiento de grano por planta es diferente entre los genotipos evaluados, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 15.12%.

**Tabla 14**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para diámetro de tallo principal en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor	Sig.
Bloques	2	6.36	3.18	0.67	0.5373	n.s.
Tratamientos	4	412.78	103.19	21.81	0.0002	**.
Error experimental	8	37.85	4.73			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>456.89</b>				

**CV: 15.12 %**

Interpretando prueba de Duncan (5%). En la Tabla 15, se nota que el genotipo 01-15-(1.1) obtuvo el mayor peso de semilla por planta con 29.19 gramos, seguido de los genotipos Alquipa 5, con 16.92 gramos; 03-21-001(4.5) con 15.77 gramos; Salcedo INIA con 12.62 gramos y el genotipo 84(99) 03-21-0018 x 03-21- con 5.45 gramos es quien registro en menor rendimiento por planta.

**Tabla 15**

*Prueba de Duncan al 5% para para rendimiento de grano por planta en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

TRATAMIENTO	PROMEDIO
01-15 (1.1)	29.19 A
Alquipa 5	16.92 B
03-21-001 (4.5)	15.77- B C
Salcedo INIA	12.62 C
84(99)03-21-0018x003-21-005P	5.45 D

Según Marca, (2022) evaluando materiales genéticos de cruza de quinua en Camacani, Puno - Perú, reporto que la línea (HUAxKCA)x(SALxHUA) 108 alcanzo mayor rendimiento de semillas por planta con 32.07 g, resultando superior a lo registrado en el estudio actual, pero similar al genotipo 01-15-(1.1) que registro 29.19 gramos por planta, este resultado puede deberse por las condiciones edafoclimáticas. Del mismo modo, reporto que las líneas (HUAxKCA) x (SALxHUA) 28 y (COLxKCA)x(SALxCOL) 125 con 25.00 y 24.70 g registraron menores rendimientos, los mismos que son rendimientos superiores a los registrados por los demás genotipos evaluados en la presente investigación.

Por otro lado, Mayta (2021), en su investigación reporto que los mayores promedios de rendimiento de semilla por planta se presentaron en (SALxCOL)x(SALxPAN),(COLxKCA)x(SALxCOL)y(HUAxKCA)x(PASxKC

A) con 10.48, 10.22, 9.36 g, que son menores a los registrado en la presente investigación con los genotipos Alquiya 5 con 16.92 gramos; 03-21-001(4.5) con 15.77 gramos y Salcedo INIA con 12.62 gramos. Del mismo modo reporto que las cruza dobles (HUAxKCA)x(SALxHUA) y (SALxHUA)x(PASxKCA) reportaron menores promedios de rendimiento de semilla por planta, con 4.73 y 3.38 g que también son menores al genotipo que registro el menor rendimiento en la presente investigación que viene a ser 84(99)03-21-0018x003-21-005P con 5.45 gramos. Finamente, el rendimiento de semilla por planta tiene relación con los días a la madurez fisiológica, las condiciones edafoclimáticas tal como refiere Bertero *et al.*, (2004).

#### 4.1.8. Peso de 1000 granos (g)

Interpretando la Tabla 16, se puede observar que, no existe diferencias significativas entre bloques, de la misma manera, se observa que, si existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 11.45%.

#### Tabla 16

*Análisis de Varianza (ANOVA) para peso de 1000 granos en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

F.V.	GL	SC	CM	F	p-valor	Sig.
Bloques	2	5.86	3.23	0.68	0.5250	n.s.
Tratamientos	4	408.15	101.11	19.21	0.0001	**.
Error experimental	8	38.35	4.23			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>426.09</b>				

**CV: 11.45 %**

Interpretando prueba de Duncan (5%). En la Tabla 17, se observa que el genotipo 01-15-(1.1) es el que presento el mayor peso de 1000 granos de quinua con un promedio de 6.50 gramos, el resto de los genotipos presentan promedios menores de peso donde el genotipo Alquipa 5 con 4.84 gramos, 03-21-001 (4.5) con 4.04 gramos presentan pesos similares a los genotipos Salcedo INIA con 3.10 gramos y 84(99)03-21-0018x003-21-005P con 3.10 gramos es el genotipo que presenta el menor peso en comparación de los demás genotipos.

### Tabla 17

*Prueba de Duncan al 5% para para peso de 1000 de granos en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

TRATAMIENTO	PROMEDIO
01-15 (1.1)	6.50 A
Alquipa 5	4.84 B
03-21-001 (4.5)	4.04 B C
Salcedo INIA	3.10 C
84(99)03-21-0018x003-21-005P	2.50 C

Marca, (2022) evaluando materiales genéticos de quinua en Camacani, reporto que la línea (SALxCOL)x(SALxPAN) 31 alcanzo mayor peso de 1000 granos con 4.30 gramos, el cual es menor a los registrado en la presente investigación donde el genotipo 01-15-(1.1) con 6.5g es que presento el mayor peso por 1000 granos de quinua. Asimismo, del mismo modo, reporto que las líneas que tuvieron menor peso de 1000 granos fueron (SALxHUA)x(PASxKCA) 92 y (SALxHUA)x(PASxKCA) 139 con 2.53 y 2.40 g. siendo este resultado más cercano a lo registrado en la presente investigación, la mínima diferencia puede atribuirse a las condiciones del suelo, clima, manejo agronómico, tal como nos indica Halanoca 2023). Al respecto sobre este carácter, Wahli (1990), refiere una serie de categorización del tamaño de grano de acuerdo a su peso de 1000 granos,



donde con peso mayor a 3 g son mencionados de tamaño grande, con peso entre 2.5 y 3 g son mencionados mediano y menores a 2.5 g son mencionados de tamaño pequeño.

También Mayta (2021), en su estudio de investigación, reporto que las cruzas dobles (COLxKCA) x (SALxCOL),(SALxCOL) x (SALxPAN), (HUAxKCA)x(SALxHUA),(SALxHUA)x(PASxKCA),(HUAxKCA)x(PASxKCA), presentaron un promedio de peso de 1000 granos de 2.11, 2.10, 2.10, 2.10, 2.09 g, en condiciones de invernadero que son menores a los genotipos con mayor peso y similar al genotipo que obtuvo el menor peso. Finalmente, según Barrientos (2020), menciona que el carácter está relacionado con el tamaño de la planta.

#### **4.1.9. Evaluación de caracteres morfológicos**

##### **4.1.9.1. Color de panoja en floración**

La variable se caracterizó mediante los caracteres propuestos por Bioversity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por lo cual, se tiene colores de verde y purpura para este carácter como se visualiza en la Tabla 18, donde los genotipos 03-21-001 (4.5) y Alquiqa 5 y Salcedo INIA presentaron una panoja de color verde en floración, y una panoja de color purpura los genotipos Rosado 01-15- (1.1) y 84(99)03-21-0018x003-21-005P.

En los resultados mostrados por Marca (2022), donde evaluó materiales genéticos de quinua, registro que se expresaron mayormente colores rojo y verde, sin embargo, algunos expresaron colores purpura. A diferencia con el presente estudio, más de la mitad expresaron colores entre purpura a verde. También Rojas *et al.* (2014) mencionan que al



principio de la floración muestran colores de púrpura, verde, rojo y mixtura. Finalmente, reportan que la coloración en floración es establecida por el gen “EL” (Harty *et al.*, 2021).

#### **4.1.9.2. Color de panoja en Madurez fisiológica**

La variable evaluada también se realizó mediante la propuesta de Bioversity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por lo cual, se tiene una escala de blanco, rosado y púrpura, donde los genotipos 03-21-001 (4.5) y Alquipa 5 y Salcedo INIA presentaron una panoja de color blanco a la madurez fisiológica, y una panoja de color rosado el genotipo Rosado 01-15-(1.1) y una panoja de color púrpura el genotipo 84(99)03-21-0018x003-21-005P en la madurez fisiológica, tal como se observa en la Tabla 18.

Marca (2022), utilizando los mismos materiales genéticos de quinua, registro en su reporte coloraciones entre rosado, blanco, púrpura, gris, anaranjado y marrón. Asimismo, Rojas *et al.* (2014) manifiestan que al paso que se forma los granos y lograr la madurez fisiológica, las panojas presentan una diversidad de colores como púrpura, rosado, blanco, anaranjado, café, crema, mixturas, amarillo, negro, verde silvestre, rojo y gris en la mayoría de los casos.

#### **4.1.9.3. Forma de panoja**

Esta variable se evaluó también mediante la propuesta de Bioversity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por lo cual, se tiene panojas amarantiformes y glomeruladas. En la Tabla 18, se visualiza que en todos los genotipos evaluados se tiene forma de panoja



glomerulada para 03-21-001 (4.5); 84(99)03-21-0018x003-21-005P y Salcedo INIA; forma de panoja amarantiforme para los genotipos Rosado 01-15-(1.1) y Alquipa 5.

En las observaciones realizados por Marca (2022), utilizando los mismos materiales genéticos de quinua, registró formas de panoja amarantiforme y glomerulada también en su mayoría. En relación a los resultados observados para forma de panoja, Emrani *et al.* (2020), mencionan que, la forma de panoja está definido por algún gen dominante y el genotipo de cada individuo en particular.

#### **4.1.9.4. Densidad de panoja**

La variable de densidad de panoja también se evaluó mediante la propuesta de Bioersivity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por ende, se observó densidades de panoja compacta y desagregado como se observa en la Tabla 18, donde los genotipos evaluados 03-21-001 (4.5); 84(99)03-21-0018x003-21-005P y Salcedo INIA tienen densidad de panoja compacta y densidad de panoja desagregado los genotipos Rosado (1.1) y Alquipa 5.

Al respecto Marca (2022), utilizando material genético de quinua reporto densidad de panojas intermedias, compactas y laxas. Asimismo, Harty *et al.*, (2021), mencionan que son considerados variedades potenciales con buen rendimiento aquellas líneas con densidades de panoja intermedias. Complementando a este mismo carácter, Romero (2021), también indica que se busca densidades intermedias – compactas, con la finalidad de priorizarlas en programas de mejora genética de quinua.



#### 4.1.9.5. Color de pericarpio y episperma

Para los caracteres de color de pericarpio y episperma de grano se evaluó mediante la propuesta de Bioversity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por lo cual se observó para color de pericarpio el color crema para los genotipos evaluados y color blanco para episperma para 03-21-001 (4.5); 84(99)03-21-0018x003-21-005P; Salcedo INIA, Rosado 01-15 (1.1) y Alquipa 5, tal como se observa en la Tabla 18.

Al respecto de los caracteres Marca (2022), utilizando material genético de quinua reporto colores blanco, crema y rosado para color de pericarpio y color blanco para color de episperma en el material genético evaluado. Asimismo, Harty *et al.*, (2021), mencionan que los colores episperma blanco son priorizados en programas de mejora genética de quinua.

#### 4.1.9.6. Reacción al Mildiu

La evaluación de esta variable se realizó mediante la propuesta de Bioversity International, FAO, PROINPA y INIAF, FIDA, (2013), por lo cual, se tiene una escala, de baja a muy baja, y ausente, de acuerdo a la tipología de daño. La variedad Salcedo INIA es la que presentó una tipología de daño baja y genotipo 03-21-001 (4.5) una tipología muy baja al mildiu (*Peronospora variabilis*). El resto de los genotipos no presentaron síntomas de daño por mildiu, como se observa en la Tabla 18.

Con respecto al mildiu, Marca (2022), evaluando material genético de quinua, registró variaciones entre baja a muy baja, que coincide con las evaluaciones registradas en el presente estudio, además cabe mencionar





que los registros de mildiu en quinua están sujetos a condiciones medio ambientales favorables como alta humedad relativa y temperaturas altas como indica (Romero, 2021).

**Tabla 18**

*Caracterización de variables morfológicas en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), en campaña agrícola 2021 – 2022.*

<b>Genotipo</b>	<b>Color de panoja floración</b>	<b>Color de panoja Madurez Fisiológica</b>	<b>Forma de panoja</b>	<b>Densidad de panoja</b>	<b>Color de pericarpio</b>	<b>Color de Episperma</b>	<b>Presencia de mildiu en hojas</b>
03-21-001 (4.5)	Verde	Blanco	Glomerulada	Compacta	Crema	Blanco	Muy bajo
01-15 (1.1)	Purpura	Rosado	Amarantiforme	Desagregado	Crema	Blanco	Ausente
Alquipa 5	Verde	Blanco	Amarantiforme	Desagregado	Crema	Blanco	Ausente
84(99)03-21-0018x003-21-005P	Purpura	Purpura	Glomerulada	Compacta	Crema	Blanco	Ausente
Variedad Salcedo INIA (Testigo).	Verde	Blanco	Glomerulada	Compacta	Crema	Blanco	Bajo

#### 4.1.10. Evaluación de caracteres fenológicos

Los genotipos evaluados para los caracteres fenológicos presentaron variaciones mínimas es así que para días a la emergencia presentaron entre 8 a 11 días, donde la variedad Salcedo INIA emergió a los 8 días, los genotipos 03-21-001 (4.5) emergieron a los 9 días y Alquipa 5; 84(99)03-21-0018x003-21-005P, emergieron a los 11 días tal como se puede observar en la Tabla 19.

Para los días de inicio de floración los genotipos 03-21-001 (4.5), Rosado (1.1) y la variedad Salcedo INIA se dieron a los 75 días de la siembra, así mismo los genotipos Alquipa 5 y 84(99)03-21-0018x003-21-005P presentaron inicio de floración a los 80 días de la siembra.

**Tabla 19**

*Caracterización de variables fenológicas en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), en campaña agrícola 2021 – 2022.*

<b>Genotipo</b>	<b>Días Emergencia</b>	<b>Días inicio floración</b>	<b>Días 50% Floración</b>	<b>Días 50% Madurez Fisiológica</b>
03-21-001 (4.5)	<b>9</b>	<b>75</b>	<b>97</b>	<b>176</b>
01-15 (1.1)	<b>9</b>	<b>75</b>	<b>97</b>	<b>176</b>
Alquipa 5	<b>11</b>	<b>80</b>	<b>104</b>	<b>178</b>
84(99)03-21-0018x003-21-005P	<b>11</b>	<b>80</b>	<b>104</b>	<b>178</b>
Variedad Salcedo INIA (Testigo).	<b>8</b>	<b>75</b>	<b>94</b>	<b>175</b>

Para días al 50% de floración de los genotipos se observó que 03-21-001 (4.5), Rosado (1.1) y la variedad Salcedo INIA se dieron a los 97 días de la siembra, así mismo los genotipos Alquipa 5 y 84(99)03-21-0018x003-21-005P presentaron inicio de floración a los 104 días de la siembra. Finalmente, para días



al 50% de la madurez fisiológica la variedad Salcedo INIA presento tal característica a los 175 días, 03-21-001 (4.5) y Rosado 01-15 (1.1) a los 176 días y Alquiya 5, 84(99)03-21-0018x003-21-005P a los 178 días en condiciones del CIP ILLPA del INIA.

Según Mujica et al., (2013) manifiesta que las plantas en su proceso de desarrollo realizan cambios externos visibles, las condiciones edafoclimáticas son determinantes, por lo tanto, el seguimiento durante su desarrollo fenológico es primordial.

## **4.2. IDENTIFICAR EL GENOTIPO AVANZADO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) CON MAYOR RENDIMIENTO EN GRANO EN CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE ILLPA DEL INIA-PUNO**

### **4.2.1. Rendimiento de semilla por hectárea (T/ha)**

Interpretando la Tabla 20, se estableció que, no existe diferencias significativas entre bloques, asimismo, se observa que, si existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos, indicando que el rendimiento por hectárea entre los tratamientos es heterogéneo entre los genotipos evaluados, asimismo se tiene un coeficiente de variación de 15.04%.

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para rendimiento de semilla por hectárea en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sig.</b>
Bloques	2	0.05	0.02	0.28	0.7596	n.s.
Tratamientos	4	7.51	1.88	22.44	0.0002	**
Error experimental	8	0.67	0.08			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>8.22</b>				

CV = 15.04%

Al Interpretar la prueba de Duncan (5%), en la Tabla 21, se nota el genotipo 01-15-(1.1) con 2.96 toneladas/hectárea que es muy similar con Alquiya 5 con 2.59 toneladas/hectárea. Asimismo, los genotipos Salcedo INIA con 1.45 t/ha, 03-21-001 (4.5) con 1.34 t/ha y el genotipo 84(99) 03-21-0018 x 003-21-005P con 1.28 t/ha son los que menor peso por hectárea han registrado.

**Tabla 21**

*Prueba de Duncan al 5% para para rendimiento de semilla por hectárea en genotipos evaluados de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), 2021 – 2022.*

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>PROMEDIO</b>
01-15 (1.1)	2.96 A
Alquiya 5	2.59 A
Salcedo INIA	1.45 B
03-21-001 (4.5)	1.34 B
84(99)03-21-0018x003-21-005P	1.28 B

Según Marca (2022), evaluando material genético de quinua en condiciones de Camacani, Puno - Perú, reporto que la línea (HUAxKCA)x(SALxHUA) 108 alcanzo mayor rendimiento por hectárea con 5344.33 kg/ha, resultando muy por encima de lo registrado en el estudio actual, este resultado puede deberse por las condiciones climáticas de la localidad de



Camacani que son más benéficas que las de la localidad de ILLPA. Del mismo modo, reporto líneas con menor rendimiento por hectárea, las cuales son (HUAxKCA)x(SALxHUA) 28 y (COLxKCA)x(SALxCOL) 125 con 4166.67 y 4116.67 kg/ha, que también están por encima de lo registrado en la presente investigación. Es sabido que los caracteres agro morfológicos de la quinua pueden alterarse acorde a las condiciones edafoclimáticas que se pueden mostrarse en una localidad determinada, especialmente ello se muestra en el rendimiento por hectárea, la baja fertilidad del suelo y riego limitado, lo que perjudican la producción de quinua (De la Torre *et al.*, 2013).



## V. CONCLUSIONES

- En cuanto a las características morfológicas de los genotipos evaluados se observó que el color de panoja en floración para los genotipos sobresalientes es de color verde para 03-21-001 (4.5) y blanco a la madures, así como purpura para 01-15 (1.1) y rosado a la madurez fisiológica. Asimismo, para el genotipo 03-21-001 (4.5) la forma de panoja es glomerulada, compacta con granos de color crema y episperma blanco, en cambio el genotipo 01-15 (1.1) presento una panoja amarantiforme, desagregado de color crema y episperma blanco. En cuanto a los demás caracteres morfológicos de los genotipos evaluados como altura de planta, los genotipos sobresalientes no alcanzaron alturas de planta considerables en comparación de la variedad comercial. En cuanto a longitud de panoja fueron similares, el diámetro de panoja los genotipos sobresalientes fueron similares, además en diámetro de tallo principal tuvieron medidas menores al resto debido a las alturas que fueron menores al resto.
- La característica agronómica más determinante para los genotipos evaluados fue el rendimiento, el cual es superior a la variedad comercial, es así que los genotipos 01-15 (1.1) con 2.96 t/ha y Alquipa 5 con 2.59 t/ha obtuvieron rendimientos superiores a la variedad Salcedo INIA, por lo que los genotipos 01-15-(1.1) con 2.96 t/ha y Alquipa 5, a pesar de no alcanzar alturas considerables tuvieron el mayor rendimiento por hectárea en comparación del resto de los genotipos evaluados por lo que estos dos genotipos serían los seleccionados para ser liberados como una nueva variedad.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir evaluando sus características agronómicas de los genotipos 03-21-001 (4.5) y purpura para 01-15 (1.1) por sus altos rendimientos de producción, los cuales constituirían alternativas de cultivo como variedades adaptadas al Altiplano favoreciendo a los productores de la región Puno.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación con hibridaciones con genotipos comerciales para poder ser evaluados en distintas condiciones edafoclimáticas del Altiplano, con el fin de ver su comportamiento y seguir buscando alternativas de cultivo de quinua para condiciones de la región.





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelbar, O. (2018). Flower vascularization and fruit developmental anatomy of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Amaranthaceae. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), pp. 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.05.002>
- Apaza, J. (2018). Selección de líneas a partir de autofecundaciones S5 de cruza simple, genéticamente distantes, de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo condiciones ambientales de puno. *Revista de investigaciones de la escuela de posgrado de la UNA Puno*, 7(1), pp. 422-432.
- Apaza, J. D. (2014). Caracterización Y Variabilidad De Progenies S3 Autofecundadas, Procedentes De Cruzas Simples Genéticamente Distantes Y Cercanas, En Seis Cultivares De Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 133p.
- Alvarez, A. (1993). Evaluación de técnicas de hibridación en el mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Universidad Nacional Agraria La Molina. 98p. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2543>
- Apaza, J. (2017). Selección de líneas a partir de autofecundaciones s5 de seis cruza simples, genéticamente distantes y cercanas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones ambientales Tesis de Maestría. Universidad Nacional Del Altiplano Puno, Perú. 185 p.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. 76 p. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/767>
- Barrientos, E. (2020). Rendimiento y evaluación agromorfológica de 18 progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes de cruza simples distantes y cercanas en el CIP. Camacani e Illpa. Universidad Nacional del Altiplano. 214 p. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/15782>



- Bioersivity internacional, FAO, PROIMPA, INIAF y FIDA (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. UNA, CIRNMA, FIDA, Roma, Italia.
- Bazile, D., Jacobsen, S.-E., & Verniau, A. (2016). The Global Expansion of Quinoa: Trends and Limits. *Frontiers in Plant Science*, 6p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>.
- Bazile, D., y Santivañez, T. (2014). Introducción al estado del arte de la quinua en el mundo (605), pp. 1-2.
- Bonifacio, A., Mujica, A., Alvarez, A., y Roca, W. (2004). Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. En quinua ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago, Chile. pp. 125-159.
- Choquechambi, L. (2016). Caracterización de progenies S5 autofecundadas, procedentes de cruzas simples en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) genéticamente distantes y cercanas en camacani. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 180 p.
- Chura, E., Mujica, Á., Haussmann, B., Smith, K., Flores, S., & Flores, A.L. (2019). Agronomic characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) progeny from close and distant self-fertilized s5 simple crosses. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 154-165.
- Danielsen, S., y Ames, T. (2000). El Mildiu de la Quinoa en la Zona Andina. Centro Internacional de la Papa.
- Dominguez, J. (2014). Caracterización agromorfológica de progenies autofecundadas S4, procedentes de cruzas simples, genéticamente distantes y cercanas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en condiciones de Campiña de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 105p.
- EL-Harty, E. H., Ghazy, A., Alateeq, T. K., Al-Faifi, S. A., Khan, M. A., Afzal, M., Alghamdi, S. S., & Migdadi, H. M. (2021). Morphological and molecular characterization of quinoa genotypes. *Agriculture*, 11(4), Article 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040286>



- FAO (2012). (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), University of cordoba and IAS - CSIC, KU Leuven University y University of California. 2012. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. FAO irrigation and drainage. paper 66. pp. 230-235.
- Fernández, S. d. (2011). Fac. Ciencias Económicas y Empresariales. Obtenido de UAM: <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/CUALITATIVAS/CONTINGENCIA/tablas-contingencia.pdf>.
- Field, C., y Barros, V. (2014). Climate Change 2014. Impacts, adaptation and vulnerability: Regional Aspects. Cambridge University Press. 650 p.
- Flores, S. (2017). Caracterización agronómica y variabilidad genética de progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes de autofecundaciones S5 de cruzas simples cercanas y distantes genéticamente. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 134 p.
- Gandarillas, H. (1979) a. Mejoramiento genético: Quinoa y Kanihua, Cultivos Andinos. M.E. Tapia et al. (Ed.). IICA, Bogotá, Colombia. pp. 65-82.
- Gómez, L., y Aguilar, E. (2016). Guía del cultivo de quinua. 1 ed. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 121 p.
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>
- Gomez, L. R., Aguilar, E., y Ibañez, M. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Breeding. En J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, y D. V. Johnson (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. 5, pp. 259-316.
- Jiménez, J. (2006). Biodiversity of traditional seed propagated crops cultivated in Peruvian highland. Tesis Ph. D. University of Silesia. Polonia.
- Llano, L. (2012). Caracterización morfológica y componentes de rendimiento de compuestos avanzados de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en dos localidades del valle del Mantaro. Tesis pregrado-Agronomía.



- Lescano, J. (1994). Genética y mejoramiento de cultivos andinos. Programa Interinstitucional de waru waru, Puno, Perú. 459 pp.
- López-Marqués, Anton F., Norrevang, Peter Ache, Max Moog, Davide Visintainer, Toni Wendt, Jeppe T Osterberg, Christoph Dockter, Morten E Jørgensen, Andrés Torres Salvador, Rainer Hedrich, Caixia Gao, Sven-Erik Jacobsen, Sergey Shabala, Michael Palmgren (2020). Prospects for the accelerated improvement of the resilient crop quinoa, *Journal of Experimental Botany*, Volume 71, Pages 5333–5347, <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa285>
- Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J., y Marathee, J. (2001). Ancestral cultivo, alimento del presente y futuro. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. En: Quinoa, Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Santiago de Chile, Chile. pp. 9-53.
- Mujica A. y Jacobsen S. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz- Bolivia. p. 449-457.
- Mujica, A. (2006). Descriptores para la caracterización del cultivo de quinua. Manual para caracterización in situ de cultivos nativos. INIEA Lima, Perú. p. 90-94.
- Mujica, A., Suquilanda, M., Chura, E., Ruiz, E., León, A., Cutipa, S., y Ponce, C. (2013). Producción orgánica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Primera edición. Universidad Nacional del Altiplano - FINCAGRO. 118 p.
- Portilla, A. (1955). La quinua. *Revista de la Facultad de Medicina*, 23(4), 178–189. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/2546>
- PROINPA. (2015). Informe Compendio 2011-2014. Cochabamba, Bolivia.
- Rojas, W. y Pinto, M. (2013). La diversidad genética de quinua de Bolivia. Congreso Científico de la Quinoa. pp. 77-91
- Rojas, R. (2015). Efecto de abonos organicos en el rendimiento y composición química de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad hualhuas, en el Distrito de



- Huando. Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. 69 p.
- Ruiz KB, Biondi S, Oses R, *et al.* (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 349–359.
- Simmonds, N. (1965). The grain chenopods of the tropical American highlands. *Econ. Bot.* 19:223-235.
- Schmidt, D., Verruma, M., Forti, V. y Borges, M. (2021). «Quinoa and amaranth as functional foods: A review». *Foods Reviews International*, 39(4), pp. 2277-2296. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950175>.
- Wilson, H., Heiser C. (1979). The origin and evolutionary relationships of ‘huauzontle’ (*Chenopodium nuttaliae* Safford), domesticated chenopod of Mexico. *American Journal of Botany* 66:198-206.



## ANEXOS



Siembra de genotipos de quinua en parcelas experimentales.



Genotipos de quinua en las parcelas experimentales.





Labores culturales en las parcelas experimentales.



Genotipo: Alquipa 5.





Genotipo 01-15 (1.1)





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo WILBER CONDO CHOQUETOCRO  
identificado con DNI 47669635 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA DE PRODUCCION

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

"SELECCION DE GENOTIPOS AVANZADOS DE QUINUA  
(chenopodium quinoa Willd.) ADAPTADOS A CONDICIONES  
AGROECOLOGICAS DE 222 PA 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 17 de Julio del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo WILBER CONDO PLOQUETOCRO identificado con DNI 43669635 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:

"SELECCIÓN DE GENOTIPOS AVANZADOS DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.) ADAPTADOS A CONDICIONES NEOROECOLÓGICAS DE ILCA PUNO - PERÚ"

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 17 de Julio del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella