

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**PRODUCTIVIDAD Y TOLERANCIA A FACTORES ADVERSOS DE  
30 CULTIVARES DE QUINUA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
DE KALLUTACA**

**Por:**

**Claudia Verónica Lecoña Quispe**

**EL ALTO – BOLIVIA  
Diciembre, 2025**

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**PRODUCTIVIDAD Y TOLERANCIA A FACTORES ADVERSOS DE 30 CULTIVARES DE QUINUA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

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

**Claudia Verónica Lecoña Quispe**

**Asesores:**

Lic. Ing. Félix Marza Mamani .....

**Tribunal Revisor:**  
M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas .....

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi .....

Lic. Ing. Soledad Chavez Vino .....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....

***DEDICATORIA:***

*A Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante, quien me acompaña a cada paso para poder concluir esta carrera.*

*A mi padre, por apoyarme en el transcurso mi carrera, por alentarme para concluir este trabajo de investigación.*

*A mi madre, quien me acompaña a cada paso desde el inicio de mi vida, quien con su sacrificio, sabiduría y amor infinito me ha permitido llegar hasta aquí, compartiendo este gran sueño contigo, en el que tus sabios consejos, lograron ser más que bellas palabras y hoy se convierten en un hecho.*

*A mi hermano, gracias por estar conmigo, confiar en mí y apoyarme incondicionalmente, por estar a mi lado dándome esos ánimos en los momentos más difíciles de mi vida, por apoyarme para poder concluir esta carrera.*

*“No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te fortalezco; siempre te ayudaré; siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia”, Isaías 41:10.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pública de El Alto por abrirme sus puertas y formarme Moral y Académicamente. Por sobre todo a la Facultad de Agronomía por acogerme durante todos estos años y al personal docente por compartirme su conocimiento y enseñanzas.

A mi asesor Lic. Ing. Félix Marza Mamani, ingeniero abnegado y dedicado a su trabajo quien en sus enseñanzas me brindó su apoyo, conocimiento, guía y paciencia en esta investigación, mostrando gran interés, preocupación y colaboración constante en la realización de este trabajo.

Al tribunal revisor, M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machica Terrazas, M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callacosi y Lic. Ing. Soledad Chavez Vino; por su apoyo, recomendaciones y sugerencias para poder culminar este trabajo.

Al Lic. Ing. Milton Pinto Porcel por su apoyo, recomendaciones y sugerencias para poder culminar este trabajo.

Al Lic. Ing. Erick Callizaya Yujra, que me brindó su apoyo, guía y sugerencias en mi trabajo de investigación.

A la Lic. Ing. Noemi Dorcas Ticona Mamani, que me brindó su apoyo, guía y sugerencias en mi trabajo de investigación.

A mis amigos, Javier Mamani, Gabriela Aruquipa Blanco, Jacqueline Jallaza, Cinthia Tapia y Maribel Quispe, quienes me brindaron su apoyo y aliento para el presente trabajo de investigación.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	Xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	Xiii
ABREVIATURAS.....	Xiv
RESUMEN.....	Xv
ABSTRACT.....	Xvi

## INDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. Generalidades del cultivo de la quinua.....	5
2.1.1. Importancia del cultivo .....	5
2.1.2. Producción Internacional de quinua.....	6
2.1.3. Producción nacional de quinua.....	6

2.1.4.	Producción de quinua en La Paz .....	7
2.1.5.	Taxonomía del cultivo.....	7
2.1.6.	Características botánicas de la quinua .....	8
2.1.7.	Requerimientos edafoclimáticos .....	8
2.1.8.	Valor nutricional de la quinua .....	10
2.1.9.	Labores culturales .....	11
2.1.10.	Plagas y enfermedades .....	13
2.1.11.	Cosecha y rendimiento .....	14
2.1.12.	Influencias de los factores abióticos y bióticos .....	15
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1.	Localización.....	17
3.1.1.	Ubicación Geográfica .....	17
3.1.2.	Características Edafoclimáticas.....	18
3.1.3.	Suelo .....	18
3.1.4.	Flora .....	18
3.2.	Materiales.....	19
3.2.2.	Material de campo .....	19
3.2.3.	Material de gabinete .....	19
3.3.	Metodología.....	19
3.3.1.	Ubicación de la parcela experimental .....	19
3.3.2.	Diseño experimental .....	21
3.3.3.	Tratamientos de estudio .....	22
3.3.4.	Variables de respuesta .....	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1.	Resultados del grupo de accesiones de altos índices de productividad .....	26
4.1.1.	Diámetro de tallo .....	26

4.1.2.	Numero de ramas.....	28
4.1.3.	Altura de planta .....	31
4.1.4.	Longitud de panoja.....	33
4.1.5.	Diámetro de panoja .....	35
4.1.6.	Diámetro de grano.....	37
4.1.7.	Peso de mil granos.....	40
4.1.8.	Rendimiento .....	42
4.2.	Resultados de accesiones con tolerancia a plagas y enfermedades (Factores bióticos) .....	45
4.2.1	Altura de planta.....	45
4.2.2	Diámetro de tallo .....	48
4.2.3	Número de ramas.....	49
4.2.4	Longitud de panoja.....	51
4.2.5	Diámetro de panoja .....	54
4.2.6	Total de hojas.....	56
4.2.7	Severidad .....	58
4.2.8	Incidencia .....	61
4.2.9	Diámetro de grano.....	63
4.2.10	Peso de mil granos .....	66
4.2.11	Rendimiento .....	69
4.3.	Resultados del grupo de accesiones con tolerancia a bajas temperaturas (Factores abióticos) .....	71
4.3.1	Altura de planta .....	71
4.3.2	Diámetro de tallo .....	74
4.3.3	Numero de ramas.....	76
4.3.4	Total, de hojas.....	77
4.3.5	Hojas afectadas por la granzada .....	79

4.3.6	Diámetro de grano.....	81
4.3.7	Peso de mil granos.....	83
4.3.8	Rendimiento .....	86
5.	CONCLUSIONES.....	89
6.	RECOMENDACIONES.....	92
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	93

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fecha de cosecha de los ensayos.....	21
Cuadro 2. Accesiones de quinua .....	22
Cuadro 3. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones de altos índices de productividad .....	27
Cuadro 4. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones de altos índices de productividad .....	29
Cuadro 5. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones de altos índices de productividad .....	31
Cuadro 6. Análisis de varianza para longitud de panoja en accesiones de altos índices de productividad .....	33
Cuadro 7. Análisis de varianza para diámetro de panoja en accesiones de altos índices de productividad .....	36
Cuadro 8. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones de altos índices de productividad .....	37
Cuadro 9. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones de altos índices de productividad .....	40
Cuadro 10. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones de altos índices de productividad .....	43
Cuadro 11. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	45
Cuadro 12. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos.....	48
Cuadro 13. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos.....	50
Cuadro 14. Análisis de varianza para longitud de panoja en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos.....	52
Cuadro 15. Análisis de varianza para diámetro de panoja en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos.....	54

Cuadro 16. Análisis de varianza para total de hojas en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	56
Cuadro 17. Análisis de varianza para severidad en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	58
Cuadro 18. Análisis de varianza para incidencia en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	61
Cuadro 19. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	64
Cuadro 20. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	66
Cuadro 21. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos .....	69
Cuadro 22. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	72
Cuadro 23. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	74
Cuadro 24. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	76
Cuadro 25. . Análisis de varianza para total de hojas en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	78
Cuadro 26. Análisis de varianza para hojas afectadas por la granizada, en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	79
Cuadro 27. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	81
Cuadro 28. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	84
Cuadro 29. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del Centro Experimental de Kallutaca del Municipio de Laja del Departamento de La Paz .....	17
Figura 2.	Porcentaje de afectación del mildiu en hojas de quinua (Danielsen y Ames, 2000). ....	24
Figura 3.	Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada (PP.), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), correspondiente a la campaña agrícola 2023-2024, recabadas de la Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica.....	25
Figura 4.	Diferencias numéricas en el diámetro de tallo promedio de 10 accesiones de quinua.....	27
Figura 5.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para el numero de ramas.....	30
Figura 6.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para promedios de altura de planta	32
Figura 7.	Diferencias numéricas en promedios de longitud de panoja de 10 accesiones de quinua.....	34
Figura 8.	Diferencias numéricas en promedios de diámetro de panoja de 10 accesiones de quinua.....	36
Figura 9.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano .	39
Figura 10.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos	41
Figura 11.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento.....	44
Figura 12.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable altura de planta.....	46
Figura 13.	Diferencias numéricas en promedios de diámetro de tallo de 10 accesiones de quinua de medias para diámetro de tallo .....	49
Figura 14.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable número de ramas ..	51
Figura 15.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable longitud de panoja .	53
Figura 16.	Diferencias numéricas en el diámetro de panoja de las accesiones en estudio ..	55
Figura 17.	Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable total de hojas .....	57

Figura 18. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable severidad del mildiu de la quinua.....	60
Figura 19. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable incidencia del mildiu de la quinua.....	62
Figura 20. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano .	65
Figura 21. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos	68
Figura 22. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento.....	70
Figura 23. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable altura de planta.....	73
Figura 24. Diferencias numéricas en el diámetro de tallo de 10 accesiones de quinua...	75
Figura 25. Diferencias numéricas en el número de ramas de 10 accesiones de quinua .	77
Figura 26. Diferencias numéricas en el total de hojas de 10 accesiones de quinua .....	78
Figura 27. Diferencias numéricas en el total de hojas de afectadas por granizada en 10 accesiones de quinua .....	80
Figura 28. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano .	82
Figura 29. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos	85
Figura 30. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento.....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis del ensayo de 10 accesiones de quinua de alto rendimiento .....	100
Anexo 2.	Croquis del ensayo de 10 accesiones de tolerancia a Factores bióticos adversos.....	101
Anexo 3.	Croquis del ensayo de 10 accesiones de tolerancia a Factores abióticos adversos.....	102
Anexo 4.	Imágenes de la siembra marbeteado de plántulas (marcación de hojas para la evaluación de severidad de mildiu).....	103
Anexo 5.	Imágenes de control de mildiu y evaluación de ensayos de rendimiento y factores abióticos.....	104
Anexo 6.	Imágenes de madurez fisiológica y cosecha de las accesiones de quinua...	105
Anexo 7.	Evaluación del rendimiento y de las características de los granos de quinua.....	106
Anexo 8.	Evaluación de la incidencia y severidad del mildiu de la quinua.....	107
Anexo 9.	Formas y colores de panojas de quinua en floración.....	108
Anexo 10.	Formas y colores de panojas de quinua en floración y vista panorámica del área de investigación.....	109
Anexo 11.	Área de investigación protegida con redes y visita a parcelas de investigación .	110

## ABREVIATURAS

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
ISTA	International Seed Testing Association
IPGRI	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos
UPEA	Universidad Pública de El Alto
CV	Coeficiente de Variación
DE	Desviación Estándar
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
g	Gramos

## RESUMEN

El cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un alimento muy importante de la región andina. La presente investigación tuvo como por objetivo evaluar las características de productividad, tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos en 30 accesiones de quinua. La investigación se desarrolló en la Estación Experimental de Kallutaca de la carrera de Ingeniería Agronómica- Universidad Pública de El Alto. Se empleó el diseño de bloques completamente al azar, para tres ensayos, en las que se distribuyeron al azar 10 tratamiento/accesiones por ensayo, en tres bloques por ensayo. Se realizó el Análisis de varianza y prueba de medias de Duncan para las variables: Altura de planta, número de ramas, diámetro de tallo, longitud y ancho de panoja, severidad e incidencia al mildiu, total de hojas afectadas por la granizada, diámetro de grano, peso de mil granos y rendimiento. El ensayo con altos índices de productividad identificó que las accesiones BOL\_2251 (2898 kg ha<sup>-1</sup>) y BOL\_1543 (2858.1 kg ha<sup>-1</sup>) emergen como las más prometedoras en términos de rendimiento, combinado con sus buenas características de grano, las convierte en candidatas ideales para la recomendación a productores y futuros programas de mejoramiento. En el ensayo de tolerancia a factores bióticos, la accesión BOL\_15870 emerge como la más prometedora con un rendimiento de (3080.7 Kg ha<sup>-1</sup>), con una baja severidad de mildiu (20.23%), y granos de alta calidad (2.04 mm y 2.93 g). Las accesiones para programas de mejoramiento por su fuente de resistencia son: BOL\_15872 por su excepcional baja incidencia y severidad de mildiu, y BOL\_15865 por su muy baja severidad. Aunque su rendimiento sea bajo, sus genes de resistencia son valiosos. En el ensayo de accesiones con tolerancia a factores abióticos, la accesión BOL\_2295 se destaca por su mayor altura de planta (140.45 cm) y por su rendimiento significativamente superior (3453,7 Kg ha<sup>-1</sup>). Las accesiones BOL\_2139 y BOL\_1660 son notables por producir los granos de mayor diámetro (2,20 a 2,24 mm) y peso (3,97 g a 4,18 g). Estos resultados proporcionan una base sólida para la selección de accesiones de quinua que exhiben las mejores características morfo-agronómicas bajo las condiciones de Kallutaca, contribuyendo al mejoramiento genético de este cultivo.

## ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a very important food crop in the Andean region. This research aimed to evaluate the productivity characteristics and tolerance to adverse biotic and abiotic factors in 30 quinoa accessions. The research was conducted at the Kallutaca Experimental Station of the Agronomic Engineering Department at the Public University of El Alto. A completely randomized block design was used for three trials, with 10 treatments/accessions randomly distributed in each trial across three blocks. Analysis of variance and Duncan's multiple range test were performed for the following variables: plant height, number of branches, stem diameter, panicle length and width, downy mildew severity and incidence, total number of leaves affected by hail, grain diameter, thousand-grain weight, and yield. The high-productivity trial identified accessions BOL\_2251 (2898 kg ha<sup>-1</sup>) and BOL\_1543 (2858.1 kg ha<sup>-1</sup>) as the most promising in terms of yield. Combined with their good grain characteristics, this makes them ideal candidates for recommendation to producers and future breeding programs. In the biotic tolerance trial, accession BOL\_15870 emerged as the most promising with a yield of 3080.7 kg ha<sup>-1</sup>, low downy mildew severity (20.23%), and high-quality grains (2.04 mm and 2.93 g). The accessions for breeding programs, based on their resistance genes, are BOL\_15872 for its exceptionally low downy mildew incidence and severity, and BOL\_15865 for its very low severity. Although their yields are low, their resistance genes are valuable. In the trial of accessions tolerant to abiotic factors, accession BOL\_2295 stands out for its greater plant height (140.45 cm) and significantly higher yield (3453.7 kg ha<sup>-1</sup>). Accessions BOL\_2139 and BOL\_1660 are notable for producing the largest grains in diameter (2.20 to 2.24 mm) and weight (3.97 g to 4.18 g). These results provide a solid basis for selecting quinoa accessions that exhibit the best morpho-agronomic characteristics under Kallutaca conditions, contributing to the genetic improvement of this crop.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

Los efectos del cambio climático global y su influencia en el crecimiento y la productividad de las plantas de cultivo están generando importantes impactos socioeconómicos en la población mundial y el medio ambiente (Jaikishun, Li, Yang, y Song, 2019). Uno de los principales problemas que surgen de estos escenarios es la seguridad alimentaria, que está preparada para ampliarse progresivamente (World Health Organization, 2018). Se prevé que la población mundial se sitúe en los alrededores de 9.8 y 11.2 mil millones para 2050 y 2100 respectivamente, y es necesario proporcionar alimentos adecuados con un aumento en la producción actual dentro del sector agrícola (Bazile, Jacobsen, y Verniau, 2016).

*Chenopodium quinoa* Willd. es un cultivo cereal y versátil con un potencial prometedor para satisfacer la demanda mundial de alimentos y reducir la pobreza a la luz del crecimiento de la población y los efectos del calentamiento global (Jaikishun *et al.*, 2019). Es considerado como un cultivo resistente al cambio climático y se originó en la región Andina, donde fue cultivado y consumido por los Incas y los Tiahuanacotas durante siglos hasta que fue reemplazado por el trigo como fuente primaria de alimento.

La adaptación de la agricultura a las condiciones climáticas cambiantes y las necesidades dietéticas incluye el uso de cultivos adecuados, por ejemplo, especies o genotipos dentro de especies resistentes al estrés abiótico, como suelos fríos, sequías o salinos. El uso de especies o genotipos tolerantes también puede reducir el costo de la recuperación del suelo salado y la limpieza de los sitios contaminados. Aunque la variabilidad genética dentro de una especie a menudo conduce a la identificación de genotipos tolerantes a factores adversos. La tolerancia a la sal es generalmente baja en la mayoría de los cultivos, excepto en algunas especies, como la quinua, que son extremadamente tolerantes. Asimismo, es probable que los halófitos sean tolerantes a otros tipos de estrés abiótico (Ben Hamed *et al.* 2013).

La FAO (2013) menciona que la quinua es el único alimento de origen vegetal que tiene aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas. Además, tiene la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes ecológicas y edafoclimáticas. Muestra capacidades de tolerancia a la sequía, suelos pobres y a la salinidad. Se puede cultivar desde el nivel del mar hasta una altitud de 4000 m.s.n.m. y puede soportar temperaturas del aire entre -8 y

38 °C. A medida que el mundo se enfrenta al reto de aumentar la producción de alimentos de calidad para alimentar a una población creciente en el contexto de un cambio climático, la quinua se ofrece como una fuente alternativa de sustento para los países que sufren de escasez alimentaria.

## 1.2. Planteamiento del problema

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo andino de importancia global, reconocido por su excepcional valor nutricional y su capacidad de adaptación a diversas condiciones agroecológicas. Sin embargo, a pesar de su reputación de "Grano de oro" resiliente, la productividad de sus cultivares a menudo se ve limitada por la presencia de factores bióticos y abióticos adversos en el campo, lo que representa una amenaza directa a la seguridad alimentaria de las comunidades productoras y al potencial de exportación del cultivo.

La Estación Experimental de Kallutaca, ubicada en una región con características climáticas y edáficas específicas de la zona andina, sirve como un campo de prueba donde las limitaciones bióticas y abióticas son palpables. La variabilidad climática, que incluye sequías recurrentes, salinidad de suelo y heladas, son estresores abióticos significativos que impactan directamente el rendimiento. Tanto las sequías como la salinidad provocan estrés hídrico y osmótico en la planta, afectando la absorción de nutrientes, la fotosíntesis y, en última instancia, la formación de grano, tal como lo señalan Fuentes *et al.* (2019).

Jacobsen (2011) enfatiza que la intensificación del cultivo de quinua requiere una comprensión profunda de las interacciones genotipo-ambiente (G x E).

La disponibilidad de una amplia base genética en la quinua (30 cultivares en este estudio) es una oportunidad, pero también evidencia el desafío de la selección de genotipos superiores. Existe una destacada incertidumbre, por saber cuáles de estos cultivares combinan efectivamente una alta productividad de grano con una tolerancia a los estreses locales de Kallutaca.

### 1.3. Justificación

La investigación se justifica principalmente por la necesidad de incrementar la resiliencia y la rentabilidad del cultivo de quinua en comunidades productoras del Altiplano Norte. A pesar de la amplia diversidad genética del cultivo, existe un vacío de conocimiento sobre cuáles de los 30 cultivares disponibles combinan de manera óptima una alta productividad de grano con una buena tolerancia a los estreses específicos y recurrentes de la zona de Kallutaca, como heladas, sequía y presión de plagas. Este estudio busca cerrar esa brecha, ofreciendo una base de datos científica y localmente adaptada.

Al identificar los cultivares élite con mejor desempeño integral, se podrán generar recomendaciones agronómicas específicas y validadas para los agricultores. Esto no solo reducirá significativamente las pérdidas de rendimiento causadas por los factores adversos, estabilizando la producción y fortaleciendo la seguridad alimentaria de las comunidades productoras, sino que también mejorará la competitividad y rentabilidad del cultivo en el mercado.

Esta evaluación sistemática de una base de 30 genotipos procedentes del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y forestal (INIAF), contribuirá al entendimiento de la interacción genotipo-ambiente ( $G \times E$ ) en la quinua, un aporte teórico importante para la ciencia agrícola. Además, los datos detallados sobre el comportamiento agronómico de cada cultivar bajo condiciones de Kallutaca servirán como una fuente de información para futuros programas de mejoramiento genético, permitiendo a los investigadores seleccionar líneas parentales con las características de tolerancia deseadas para desarrollar variedades aún más adaptadas al cambio climático.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar características de productividad, tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos en cultivares de quinua preseleccionada bajo condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar cultivares de quinua con aptitudes de alta productividad en la Estación Experimental de Kallutaca
- Identificar cultivares de quinua con tolerancia a factores bióticos adversos bajo condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca
- Identificar cultivares de quinua con tolerancia a factores abióticos adversos bajo condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca.

## **1.5. Hipótesis**

$H_0$ : No existen diferencias significativas en las características de productividad entre cultivares de quinua en la Estación Experimental de Kallutaca.

$H_0$ : No existe cultivares de quinua con tolerancia a factores bióticos adversos bajo condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca.

$H_0$ : No existe cultivares de quinua con tolerancia a factores abióticos adversos bajo condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Generalidades del cultivo de la quinua

La evidencia histórica disponible señala que su domesticación por los pueblos de América puede haber ocurrido entre los años 3.000 y 5.000 antes de Cristo. Existen hallazgos arqueológicos de quinua en tumbas de Tarapacá, Calama y Arica, en Chile, y en diferentes regiones del Perú. A la llegada de los españoles, la quinua tenía un desarrollo tecnológico apropiado y una amplia distribución en el territorio Inca y fuera de él. El primer español que reporta el cultivo de quinua fue Pedro de Valdivia, quien al observar los cultivos alrededor de Concepción menciona que, entre otras plantas, los indios siembran también la quinua para su alimentación (FAO, 2017).

La quinua fue ampliamente cultivada en la región Andina por culturas precolombinas y sus granos han sido utilizados en la dieta de los pobladores tanto de valles interandinos, zonas más altas (superiores a 3500 msnm), frías (temperaturas promedio de 12 °C) y áridas (350 mm de precipitación promedio), como en el altiplano (PROINPA, 2011).

La quinua es una planta andina que se originó en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. La quinua fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas y reemplazada por los cereales a la llegada de los españoles, a pesar de constituir un alimento básico de la población de ese entonces (FAO, 2017).

FAO (2013), señala que la quinua es un grano que posee características intrínsecas sobresalientes, entre ellas: su amplia variabilidad genética cuyo acervo genético es extraordinariamente estratégico para desarrollar variedades superiores (precocidad, color y tamaño de grano, resistencia y/o tolerancia a factores bióticos y abióticos, rendimiento de grano y subproducto).

#### 2.1.1. Importancia del cultivo

MDRyT (2009), señala que la quinua posee un alto valor nutricional según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), su contenido de proteínas la convierte en excelente sustituto de la carne, lácteos y huevos e ideal para la alimentación de la población con bajos niveles nutricionales, población resistente al gluten, mujeres en gestación, madres lactantes, niños, y población de la tercera edad. Expertos han considerado a la quinua como un nutriente fundamental en el ámbito del deporte

Internacional y como alimento para los astronautas en sus viajes espaciales. El cultivo de quinua hoy ha despertado expectativas entre los agricultores del país, como consecuencia de la promoción de sus bondades nutricionales, medicinales y salud. La demanda ha incrementado significativamente tanto en el mercado local como externo. Las familias productoras de semilla certificada son importantes para el desarrollo de nuestro país, son ellos los que velan por la calidad y la oferta de la semilla.

### **2.1.2. Producción Internacional de quinua**

A nivel mundial, la demanda de quinua por su alto valor nutricional alcanza a 70000 t año<sup>1</sup>. Esta demanda de quinua es sostenida por más de 51 países, donde el 90 % está producido en la región Andina (FAO 2011). Los principales productores de este grano son: Bolivia, Perú, Ecuador, y Colombia. Bolivia cuenta con más de 47534 ha cultivadas y alrededor de 21900 t cosechadas (FAO 2011), de las cuales el 49% es consumida por las familias productoras, el 35% se vende en los mercados locales y el resto (3500 t) es para los mercados externos, constituyéndose, así como el primer productor y exportador de quinua en el mundo (Viñas 2000), mencionado por (Gabriel, 2012).

### **2.1.3. Producción nacional de quinua**

El Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), en 2013, indicó que en los últimos años se ha producido un incremento significativo de la demanda mundial de la quinua, lo que dio lugar a un importante incremento de su precio y, en correspondencia, también a un significativo crecimiento de la superficie cultivada y de la producción en el país (IICA, 2015).

La producción actual de quinua en la Región Andina es insuficiente para cubrir la demanda mundial cada vez más creciente, lo que se manifiesta por el incremento de precio ocurrido en los últimos años. La productividad podría aumentar en los países de la región a través de la incorporación de mayor resistencia a los factores limitantes y, a su vez, los volúmenes de producción aumentarían al llevar su cultivo a nuevas áreas usando variedades atractivas al mercado. La expansión en los países andinos es posible incrementando su cultivo en los valles y en las tierras bajas templadas de las zonas costeras y del trópico. Fuera de la Región Andina, su cultivo ya ha sido probado con éxito (IICA, 2015)

La producción de quinua en Bolivia ha experimentado un incremento significativo en la última década, de una producción de 23.000 toneladas en el año 2000, al año 2013 se superan las 61.000 toneladas (Alemán *et al.*, 2014)

Dichos volúmenes de producción, han significado también un incremento en la superficie cultivada, que va de casi 36.000 hectáreas en el año 2000 a más de 130.000 mil hectáreas para el año 2013 (Gandarillas *et al.*, 2014) citado por (Alemán *et al.*, 2014)

#### **2.1.4. Producción de quinua en La Paz**

El cultivo orgánico se desarrolla en el Altiplano norte, utilizando en su mayoría el sistema de producción tradicional y semi-mecanizado. Motivados por los precios crecientes en el mercado internacional, los agricultores se inclinan por este tipo de cultivo, dando lugar a la extensión de las superficies de siembra mediante el empleo de tractores. En los últimos años a raíz del denominado Boom de la quinua, según estadísticas plantean que existe un incremento de los rendimientos de la quinua en el Departamento de La Paz.

#### **2.1.5. Taxonomía del cultivo**

Soraide (2011), señala que los botánicos que han estudiado la taxonomía de la quinua, están de acuerdo en considerar que se trata de una sola especie, no obstante, de la amplia variación observada, ya sea en el color de la planta, color de grano, color de tallos, tipo de panoja o inflorescencia, hábito de crecimiento y entre otros.

De la misma manera, la clasificación taxonómica de quinua según MDRyT y CONACOPROQ (2009), es la siguiente:

Reyno: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Subfamilia Chenopodioideae

Género: Chenopodium

Sección: Chenopodia

Subsección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow

### **2.1.6. Características botánicas de la quinua**

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva. Presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4000 msnm; muy tolerante a factores climáticos adversos como sequía, heladas, salinidad de suelos entre otros que afectan al cultivo. Su periodo vegetativo varía desde 90 hasta 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 280 mm anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5, hasta alcalinos con pH de 9,0. Asimismo prospera en suelos arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y demás gamas que se puedan diferenciar.

### **2.1.7. Requerimientos edafoclimáticos**

#### **2.1.7.1. Temperatura**

Tolera una amplia variedad de climas. La planta no se ve afectada por climas fríos (-1 °C) en cualquier etapa de su desarrollo, excepto el momento de florecer. Las floras de las plantas son sensibles al frío (el polen se esteriliza). Una temperatura media anual de 10 a 18 °C y oscilación térmica de 5 a 7 grados es las más adecuadas para el cultivo. La planta tolera más de 35°C, pero no prospera adecuadamente. El déficit o exceso de lluvia ocurrido durante el ciclo productivo, inciden sobre los rendimientos de los cultivos, el factor más importante para el cultivo de la quinua es la temperatura mínima, normalmente la quinua se cultiva entre los 3000-4000 msnm, lo cual indica que el riesgo de heladas está presente durante el crecimiento (Gonzales, 2011).

#### **2.1.7.2. Sequía**

La planta también evita la sequía mediante la reducción de su superficie foliar por desprendimiento de hojas, células con paredes pequeñas y gruesas que preservan la turgencia incluso después de severas pérdidas de agua, y la regulación de los estomas. Además, la quinua puede escapar de la sequía mediante precocidad (es decir, genotipos tempranos), lo cual es importante en áreas donde el riesgo de sequía aumenta hacia el final de la temporada de crecimiento (sequía terminal), y también por el bajo potencial osmótico

y la capacidad para mantener turgencia positiva incluso a bajo potencial hídrico foliar (Zurita, 2014).

#### **2.1.7.3. Heladas**

Según PROINPA (2011), la tolerancia al frío depende de la etapa de desarrollo en que la helada ocurre y de la protección natural de las serranías. Existen reportes que indican que la quinua sobrevive a -7,8°C en etapas iniciales en condiciones de Montecillo, México, que se encuentra a 2245 metros sobre el nivel del mar; asimismo tolera suelos de diferente textura y pH, e incluso creciendo en suelos muy ácidos y fuertemente alcalinos.

#### **2.1.7.4. Radiación solar**

Calla (2012), menciona que la radiación es un factor que compensa las horas de calor necesarias para la planta para poder cumplir el desarrollo normal de la planta, especialmente en zonas altas donde hay mucho frío como es Puno, y es también aquí donde la planta soporta intensas radiaciones.

#### **2.1.7.5. Fotoperiodo**

Diversos regímenes de luz; genotipos adaptados a días cortos, largos e independientes al fotoperíodo (Julon, 2016).

#### **2.1.7.6. Precipitación**

Considerando las diferentes áreas del cultivo en América del Sur, la precipitación varía mucho. Así en los Andes ecuatorianos es de 600 a 880 mm, en el Valle de Mantaro de 400 a 500 mm y en la zona del Lago Titicaca de 500 a 800 mm. Sin embargo, conforme uno se desplaza hacia el sur del Altiplano boliviano y el norte chileno, la precipitación va disminuyendo hasta niveles de 50 a 100 mm, condiciones en las que también se produce quinua y el Altiplano Sur de Bolivia es considerado la principal área geográfica donde se produce el cultivo y se atiende un buen porcentaje de la demanda internacional del producto. Por otro lado, entre la octava y novena región de Chile también se produce quinua, con precipitaciones superiores a los 2000 mm y en condiciones de nivel de mar (PROINPA, 2011).

#### **2.1.7.7. Humedad relativa**

UNAM (2016), menciona que los periodos críticos en los que la falta de humedad afecta la productividad son: germinación-emergencia, que determina el establecimiento del cultivo, y el estado de crecimiento y llenado del fruto que determina la productividad. Dependiendo del tipo de suelo y la humedad almacenada se considera adecuada una precipitación en el rango de 60 a 100 mm para un buen establecimiento del campo.

#### **2.1.7.8. Altitud**

La quinua prospera desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm. En el primero se produce el periodo vegetativo corto con rendimientos altos (4000 Kg ha<sup>-1</sup>) y en el segundo, se efectúa el periodo vegetativo largo (Pinargote, 2018).

#### **2.1.7.9. Suelos**

La quinua puede crecer en un rango amplio de diferentes tipos de suelos, siendo los óptimos los de buen drenaje francos, semiprofundo con un alto contenido de materia orgánica. Se debe evitar suelos con problemas de anegamiento o inundación porque dificultan el establecimiento inicial del cultivo y luego a lo largo del ciclo propician la podredumbre radicular. Se puede encontrar variedades de quinua cultivadas en suelos con pH desde 4.5 (en los valles interandinos del Norte del Perú) hasta 9.0 (Altiplano Peruano Boliviano y los salares de Bolivia) (UNAM, 2016).

#### **2.1.7.10. pH**

Según Calla (2012), el pH que requiere la planta es alrededor del neutro, sin embargo puede prosperar muy bien en suelos alcalinos de hasta 9, y también en suelos ácidos de hasta 4.5, esto dependerá de la variedad de quinua; pero el pH optimo varia de 6.5-8.0

### **2.1.8. Valor nutricional de la quinua**

En un estudio nutricional de Fischer et al. (2017) reveló que las semillas de quinua contienen alto contenido de proteína con aminoácidos esenciales biodisponibles, fibras dietéticas, carbohidratos complejos, lípidos con alta cantidad de ácidos grasos insaturados y otros compuestos bioactivos, es decir, polifenoles (flavonoides, ligninas, estílenos, taninos y ácidos fenólicos). Además, las semillas de quinua son un excelente ingrediente en

alimentos saludables y sabrosos. La fácil digestibilidad de las semillas de quinua y la ausencia de gluten se atribuyen a estas semillas como un alimento inusualmente completo ya que poseen un conjunto equilibrado de aminoácidos esenciales para el ser humano, además de ser una buena fuente de proteínas, fibra, fósforo, magnesio, y hierro (Abdelaleem, 2021).

### **2.1.9. Labores culturales**

#### **2.1.9.1. Preparación del suelo**

En el Altiplano Sur el sistema mecanizado (95%) prácticamente está reemplazando al sistema tradicional (5%). En los Altiplanos Centro y Norte el cultivo sigue en rotación a la papa y se aprovecha la preparación del suelo del año anterior sea mecanizado o tradicional, aunque por el precio de la quinua se están habilitando y preparando suelos bajo el sistema mecanizado. En los Valles Interandinos prevalece el sistema tradicional respecto al mecanizado. En el caso del Altiplano Sur se realizan montículos de forma cónica, con un diámetro de 25 a 30 cm y una altura de 15 a 20 cm, aunque este sistema generalmente se los realiza en laderas (PROINPA, 2011).

#### **2.1.9.2. Época de siembra**

Según Benique (2021), la siembra en la fecha adecuada garantiza rendimientos superiores, aumentando la productividad y mejoras en los ingresos de los productores. La agricultura de montaña depende mucho de la temporalidad de lluvias, los escases de precipitación pluvial pueden ser fatal para los cultivos andinos.

#### **2.1.9.3. Requerimiento nutricional del cultivo**

Los requerimientos nutritivos de la planta de quinua por los elementos minerales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio son muy importantes, pues la planta extrae del suelo en cantidades relativamente medias, así para producir 5000 kilos/ha de materia seca (grano, broza más jipi) extrae del suelo 65,15,126, y 11 Kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg respectivamente. Un buen abonamiento dependerá de la riqueza del suelo, antecedente de campo, de la rotación que se maneja, y del nivel de producción que se quiere lograr (Calla, 2012).

#### **2.1.9.4. Semilla**

Estrada (2012) indica que la calidad de semilla antes de la siembra se debe desinfectar, a fin por las pérdidas por ataque de insectos y hongos del suelo, es la consideración técnica principal que garantiza la mayor productividad del cultivo. La semilla debe tener un valor cultural o poder germinativo mayor a 80%.

#### **2.1.9.5. Densidad de siembra**

La densidad de siembra va depender de los aspectos como son tamaño de la semilla y sistemas de siembra. La densidad será mayor en siembras al voleo, y variedades de tamaño grande. La densidad será baja con semillas pequeñas en surcos. Se tiene que tener muy en cuenta el manejo adecuado de densidades pues en altas densidades habrá muchas plantas por área ocurriendo mayor competencia entre ellas por nutrientes causando plantas débiles y raquícticas susceptibles al ataque de plagas y enfermedades como el mildiu, y densidades muy bajas facilitara el establecimiento rápido de las malezas (Calla, 2012).

#### **2.1.9.6. Profundidad de siembra**

La profundidad de siembra adecuada es aquella que coloca las semillas donde puede absorber agua para la germinación y no desecarse posteriormente. Debido al tamaño de las semillas la profundidad no debe sobrepasar los 2 cm (UNAM, 2016).

#### **2.1.9.7. La resiembra**

Tambo (2010), indica que la emergencia se manifiesta en un rango de 5 a 25 días después de la siembra, posterior a este periodo si no existen signos de germinación y emergencia de las plántulas, será necesario volver a sembrar los espacios vacíos.

#### **2.1.9.8. Raleo de plántulas**

El raleo o desahíje, sirve para conseguir una densidad uniforme y desarrollo óptimo de la quinua al eliminar plantas enfermas, débiles o fuera de tipo. Se realiza junto al deshierbo con plantas de quinua de 15 a 20 cm. Se recomienda dejar plantas vigorosas de la variedad separadas de 5 a 10 cm entre ellas; debido a que todavía tendrán pérdidas de plantas durante las fases posteriores de desarrollo del cultivo (Sanchez, 2013).

#### **2.1.9.9. Control de malezas**

Gonzales (2011), menciona que esta labor se realiza con la finalidad de proporcionar una buena estabilidad a la planta, que consiste en acumular cierta cantidad de tierra en la base de la planta. Esta labor cultural se realiza cuando la planta alcanza una altura de 20 cm., aproximadamente entre 25 a 30 días después de la siembra.

#### **2.1.9.10. Aporque**

Actividad necesaria para sostener a la planta sobre todo en los valles interandinos, evitando de este modo el tumbado de las plantas, así mismo le permite resistir los fuertes embates de los vientos, sobre todo en la zona de la costa, se recomienda un buen aporque antes de la floración y junto a la fertilización complementaria, lo que le permite un mayor enraizamiento y por lo tanto mayor estabilidad ante eventualidades como aniegos o fuertes vientos (Mujica et.al., 2013).

### **2.1.10. Plagas y enfermedades**

Las plagas y enfermedades afectan la productividad y calidad de los cultivos a nivel mundial, a pesar de los múltiples esfuerzos realizados en el desarrollo de métodos de control. Se ha estimado que un tercio de la producción de los cultivos se pierde anualmente por daños ocasionados por agentes bióticos, aun cuando se haya utilizado plaguicidas y cultivares con resistencia genética a plagas y enfermedades (Zurita, 2015).

#### **2.1.10.1. Plagas**

Las plagas de insectos causan daños en el cultivo de quinua, y pueden reducir el rendimiento entre 8 y 40 % dependiendo del tipo de insecto, la incidencia y la época de cultivo.

Polilla de la quinua – larva de mariposa nocturna (lepidópteros) que ataca a nivel de hojas y panojas, provocando la destrucción parcial o total de inflorescencias, granos lechosos, pastosos y maduros.

Oruga “quema quema”, larva de lepidóptero con hábito masticador de hojas. Estos insectos dañan directamente las plántulas en su fase inicial, cortando las plantas tiernas, masticando y defoliando hojas.

Las aves plagas ocasionan daños en los últimos periodos vegetativos de la planta (maduración del grano), se alimentan de granos de la misma panoja, provocan caída de granos y contaminan con sus excrementos los granos de la panoja, además, durante la siembra se comen los granos sembrados disminuyendo la densidad (Martinez, 2012).

#### **2.1.10.2. Enfermedades**

La enfermedad de mayor importancia y conocida a nivel global es el mildiu, no obstante, existen otras de menor importancia como marchites a la emergencia, moho verde, marcha foliar, podredumbre morrón del tallo, mancha ojival, mancha bacteriana, ojo de gallo, nematos y virosis. En general, estas enfermedades no son consideradas de importancia económica, pero, debido a la rápida expansión del cultivo en las zonas andinas y a efectos del cambio climático, eventualmente estas enfermedades podrían tomarse prevalentes. También, debido al desarrollo del cultivo en diferentes países del mundo, con características agroecológicas y ambientales diferentes, es probable que se presente nuevas enfermedades (Plata *et al.* 2014) citado por (Alcon, 2018)

#### **2.1.11. Cosecha y rendimiento**

Tapia y Fries (2007), indican que la cosecha se efectúa una vez que las plantas alcanzan a la madurez fisiológica, reconocible porque las hojas inferiores cambian de color y empiezan a caerse, dando una coloración amarilla característica a toda la planta. El grano, al ser presionado con las uñas ofrece resistencia que dificulta su penetración.

##### **2.1.11.1. Almacenamiento**

Terán (2010), indica que el grano seco y limpio debe ser almacenado en recipientes cerrados o costales de tejido estrecho (yutes), en depósitos limpios, secos, sobre estivas, protegidas de ataque de roedores e insectos, con circulación de aire y con un contenido de 12 a 14% de humedad en grano.

##### **2.1.11.2. Rendimiento**

Para obtener el rendimiento en grano seco se realizó mediante la cosecha, secado, trillado y posterior venteado de las muestras seleccionadas de cada unidad experimental totalmente aleatorio; luego se procedió a pesar en g con la balanza analítica de precisión,

luego se sacó el promedio de cada tratamiento y bloque, estos datos se transformaron en Kg ha<sup>-1</sup> (Mullo, 2011).

### **2.1.12. Influencias de los factores abióticos y bióticos**

#### **2.1.12.1. Factores abióticos**

Entre los factores abióticos más adversos que afectan al cultivo de quinua son: Sequía, helada, salinidad de los suelos, granizadas, nevadas, vientos, inundaciones y exceso de calor. Estos factores afectan a la producción de la quinua en diferentes proporciones, desde pequeños daños con relativa disminución de la producción hasta una pérdida total de la cosecha (Mujica et al, 2000). En consecuencia, los factores abióticos adversos revisten gran importancia en el proceso productivo de la quinua. Generalmente, el desarrollo del vegetal depende de tres niveles: expresión de genes, hormonas y de los 3 estímulos que ejercen las condiciones medioambientales (Torrey 1967) citado por (Zegarra, 2018).

Hace unas cuatro décadas, los factores abióticos adversos (helada, vientos, lluvias) tenían ocurrencia regular. Estos fenómenos eran aprovechables para el proceso de producción, almacenamiento, procesamiento y consumo de productos (Zegarra, 2018). Sin embargo, los factores adversos de los últimos años son mucho más severos y sus efectos son más perjudiciales para la agricultura, para el suelo e inclusive la ganadería. Ante esta situación, es necesario realizar acciones orientadas a la adaptación de cultivos y vegetación de cobertura (Bonifacio, 2010).

#### **2.1.12.2. Factores bióticos**

Durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua, las fitopestes (plagas, enfermedades, plantas invasoras y otras) influyen adversamente en la producción y productividad de la quinua. Estimar las perdidas es difícil y complejo; sin embargo, la información es muy importante para orientar y establecer mejor un programa de manejo integrado de plagas y enfermedades, dentro del contexto de la protección vegetal (Zanabria y Banegas, 1997; citado por Zegarra, 2018)

Factores que favorecen a la adaptación es la reproducción sexual: La quinua, cañahua, algunos pastos y arbustos, por su naturaleza de reproducción sexual, genera alguna variabilidad. La variabilidad favorece a la adaptación de especies. Otros factores que favorecen a la adaptación es la hibridación y la recombinación: La mutación, la transposición

y la para mutación son mecanismos genéticos que las plantas poseen para la adaptación (Zegarra, 2018).

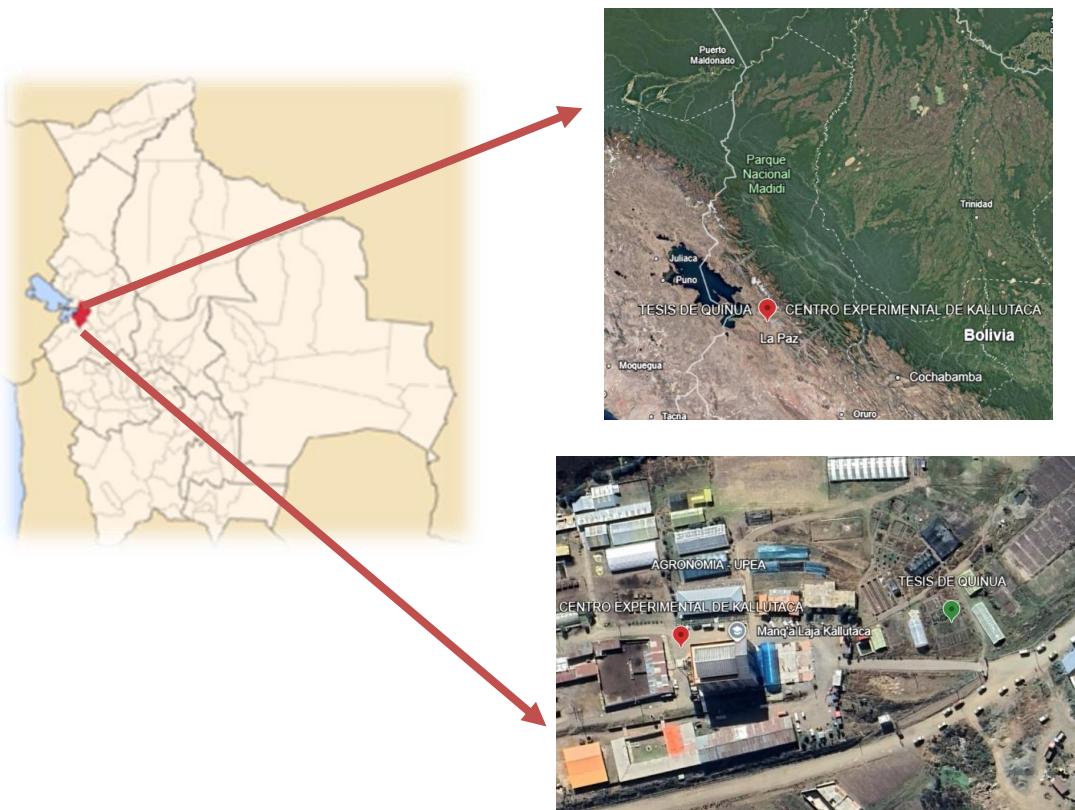
La mayor parte de las enfermedades que afectan al cultivo de la quinua están ocasionadas por hongos, en menor número por bacterias, nematodos y virus; siendo la más importante el mildiú originado por *Perenospora variabilis*. La incidencia y severidad varían en función a la variedad, estado fenológico y condiciones ambientales (Campos, 2018).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

##### 3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en predios del Centro Experimental Kallutaca dependiente de la Universidad Pública del El Alto UPEA ubicado en la provincia Los Andes entre los paralelos 16°31'27" de Latitud Sur y los paralelos 68°18'32" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. A una altitud de 3908 msnm, sobre la carretera internacional a Desaguadero a una distancia de 26 km de la sede de gobierno del departamento de La Paz (Carita, 2014).



**Figura 1. Mapa de ubicación del Centro Experimental de Kallutaca del Municipio de Laja del Departamento de La Paz (Fuente: Google Earth, mayo 2024)**

### **3.1.2. Características Edafoclimáticas**

#### **3.1.2.1. Clima**

Estudios realizados por Serrano (2013), señalan que el comportamiento de la temperatura media es 7.1°C, se cuenta con temperaturas extremas mínimas de -10.8 a -11.0 °C en los meses de junio y julio indicando temperaturas bajo cero. En los meses de noviembre y diciembre se observa el comportamiento de las temperaturas máximas de 21.6 a 22.3 °C.

El porcentaje de humedad relativa (HR) en los meses de diciembre a marzo registra valores entre 64.5 a 71.0 % (verano), de junio a agosto se evidencia valores promedios de 40.0 % (invierno), y con una precipitación promedio de 435 mm.

#### **3.1.3. Suelo**

La mayoría de los suelos está constituida por arena, arcilla y limo. Además, con presencia de acumulación de restos vegetales. Con suelos superficiales de formación aluvial con problemas de drenaje y poco contenido de materia orgánica. Asimismo, son susceptibles a la erosión hídrica y eólica, principalmente en las serranías. Las prácticas conservacionistas que se realizan en la zona, son las de tipo cultural, es decir, rotaciones y descanso, (Salguero, 2009).

#### **3.1.4. Flora**

Las principales especies agrícolas de la región son: Papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), haba (*Vicia faba*), oca (*Oxalis tuberosum*), papalisa (*Ullucus tuberosum*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). La vegetación está constituido en la zona por: paja brava o “iro icho” (*Festuca orthophylla*), túla (*Bacharis incarum*), añawayá (*Adesmia miraflorensis*), chilliwa (*Festuca dolichophylla*), pasto estrella (*Paspalum pygmaeum*), cebadilla (*Bromus sinermis*), Carex (*Carex pinetorum*), diente de león (*Taraxacum officinale*), sillosillo (*Lachemilla pinnata*), layu (*Trifolium amabile*), sicuya (*Stipa ichu*), cola de zorro (*Chondrosum simplex*), cola de ratón (*Hortium muticum*), kaylla (*Tetraglochin cristatum*), chiji (*Distichlis humilis*) reloj o “aguja” (*Erodium cicutarium*) (Mamani, 2015).

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1.1. Material biológico**

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron 30 accesiones de quinua provenientes del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) que se seleccionaron de acuerdo a sus características sobresalientes: 10 accesiones con características de alta productividad, 10 accesiones con tolerancia a factores abióticos y 10 accesiones de quinua con tolerancia a plagas y enfermedades.

### **3.2.2. Material de campo**

Para la realización de este estudio se utilizaron los siguientes materiales de campo como: Tractor agrícola, motocultor, wincha métrica, estacas, picotas, hazadones, marbetes, letreros de identificación, vernier, libro de campo, balanza electrónica y cámara fotográfica.

### **3.2.3. Material de gabinete**

Para el análisis de la información y redacción del documento se utilizó: Computadora, impresora, calculadora, cámara fotográfica, cuaderno de notas, hojas bond, bolígrafos, lápices, marcadores, Microsoft office y programas estadísticos.

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. Ubicación de la parcela experimental**

Mediante un convenio suscrito entre la UPEA (Universidad Pública del El Alto) y la institución de INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal), se asignó un terreno para la realización de la investigación, en la Estación Experimental de Kallutaca, perteneciente a la Carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA.

### **3.3.1.1. Preparación del terreno**

Una vez identificado el lugar se procedió a realizar el roturado y mullido del suelo con la ayuda del tractor agrícola, una vez que empezaron las lluvias posteriormente se realizó el nivelado del suelo con el motocultor para realizar la siembra con facilidad.

### **3.3.1.2. Siembra**

La siembra se realizó el 03 de octubre de 2023, empleando el método de surcos a chorro continuo. Donde, en cada unidad experimental se tuvo 3 surcos por accesión siendo así, También la distancia entre surcos fue 0.50 m. y entre plantas fue de 10 cm. esto se realizó cuando se hizo el raleo; de la misma manera se depositó a una profundidad de siembra de 2 a 3 cm, en el lugar húmedo; pero la apertura del surco fue de manera manual.

### **3.3.1.3. Evaluación de las variables de respuesta**

La primera evaluación se realizó a 15 días después de la siembra, contando el número de plántulas emergidas en cada unidad experimental. Posteriormente; se fueron evaluando las demás variables planteadas, hasta el momento de la cosecha.

### **3.3.1.4. Raleo, deshierbe y aporque**

El raleo de las plantas y el primer aporque se realizó simultáneamente con el primer deshierbe, a los 40 días después de la siembra, cuando las plántulas tenían una altura de 5 a 15 cm. Asimismo, el raleo consistió en eliminar las plántulas débiles y pequeñas, con el objetivo de prevenir la competencia por nutrientes entre plantas en la fase de desarrollo.

### **3.3.1.5. Control de plagas y enfermedades**

Ya que la investigación presenta 3 ensayos diferentes, el control de plagas y enfermedades se realizó en 2 de los ensayos (Factores abióticos y rendimiento), cuando algunas plantas mostraron la presencia del Mildiu de la quinua (*Peronospora farinosa*).

#### **3.3.1.5.1. Cosecha, secado y trillado**

La cosecha se realizó cuando las plantas llegaron a la madurez fisiológica, la misma se procedió de forma manual (con hoz), según la madurez de cada accesión de quinua.

Asimismo, después de la cosecha se procedió al emparve para el secado; pero, el trillado se realizó una vez que los granos estuvieron secos, y se realizó totalmente manualmente.

### 3.3.1.6. Cosecha

El período de cosecha estuvo sujeto a las condiciones climatológicas de la zona de cultivo. La cosecha de los ensayos fue realizada en diferentes fechas.

**Cuadro 1. Fecha de cosecha de los ensayos**

<b>COSECHA</b>		
Rendimiento	14 de abril de 2024	195 días
Factores Abióticos	26 de mayo de 2024	211 días
Factores Bióticos	3 de junio de 2024	245 días

La cosecha se realizó con la tijera de podar, de forma manual y al momento de la cosecha estas fueron separadas por accesiones para realizar las próximas evaluaciones.

### 3.3.2. Diseño experimental

El diseño experimental que se aplicó en el presente estudio, fue Diseño de Bloques Completamente al Azar. Debido a las expresiones genéticas de cada accesión se clasificó en tres grupos (Grupo 1: 10 accesiones con altos índices de productividad; Grupo 2: 10 accesiones con tolerancia a bajas temperaturas; y Grupo 3: 10 accesiones con tolerancia a plagas y enfermedades), con diez tratamientos (diez accesiones), distribuidas en tres bloques (Calzada, 1970 y Ochoa, 2009).

El modelo lineal aditivo del Diseño de Bloques Completamente al Azar, es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Observación cualquiera.

$\mu$  = Media de la población.

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo acceso de la quinua.

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental.

### 3.3.3. Tratamientos de estudio

**Cuadro 2. Accesiones de quinua**

<b>RENDIMIENTO</b>		<b>FACTORES ABIÓTICOS</b>		<b>FACTORES BIÓTICOS</b>	
ACCESSION	BOL_473	ACCESSION	BOL_74	ACCESSION	BOL_15861
ACCESSION	BOL_1287	ACCESSION	BOL_78	ACCESSION	BOL_15863
ACCESSION	BOL_1543	ACCESSION	BOL_171	ACCESSION	BOL_15865
ACCESSION	BOL_1558	ACCESSION	BOL_178	ACCESSION	BOL_15870
ACCESSION	BOL_1636	ACCESSION	BOL_1289	ACCESSION	BOL_15871
ACCESSION	BOL_2251	ACCESSION	BOL_1297	ACCESSION	BOL_15872
ACCESSION	BOL_2265	ACCESSION	BOL_1660	ACCESSION	BOL_15925
ACCESSION	BOL_2274	ACCESSION	BOL_1663	ACCESSION	BOL_15926
ACCESSION	BOL_2712	ACCESSION	BOL_2139	ACCESSION	BOL_15929
ACCESSION	BOL_1174	ACCESSION	BOL_2295	ACCESSION	BOL_15936

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Se efectuaron pruebas de Análisis de Varianza (ANVA), pruebas de Rango Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad. También, los datos de las variables evaluadas, se analizaron con el paquete estadístico SAS (Sistema de Aplicación Estadística) v.9.2.

### Croquis del experimento

La distribución de las accesiones de la quinua (tratamientos) se realizó totalmente azar en cada unidad experimental con 3 repeticiones de la misma (Anexo1)

### 3.3.4. Variables de respuesta

Las siguientes variables se evaluaron en plantas seleccionadas al azar por cada accesión en cada ensayo (Rendimiento= 5 plantas/accesión, Factores abióticos=5 plantas/accesión y Factores abióticos=10 plantas/Accessión).

#### Altura de planta (cm)

Para la variable altura se evaluó a todas las plantas seleccionadas aleatoriamente en cada unidad experimental, a partir de la superficie del suelo hasta el ápice de la panoja en la madurez fisiológica (Anexo 3).

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

Para esta variable de longitud de la panoja se midió el largo de la panoja en las plantas seleccionadas al azar.

### **Diámetro de panoja (cm)**

Para determinar el diámetro de la panoja se midió en la fase de madurez fisiológica de planta, en las plantas muestreadas totalmente al azar en cm (CIRF, 1981 y Bioversity International, 2013).

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

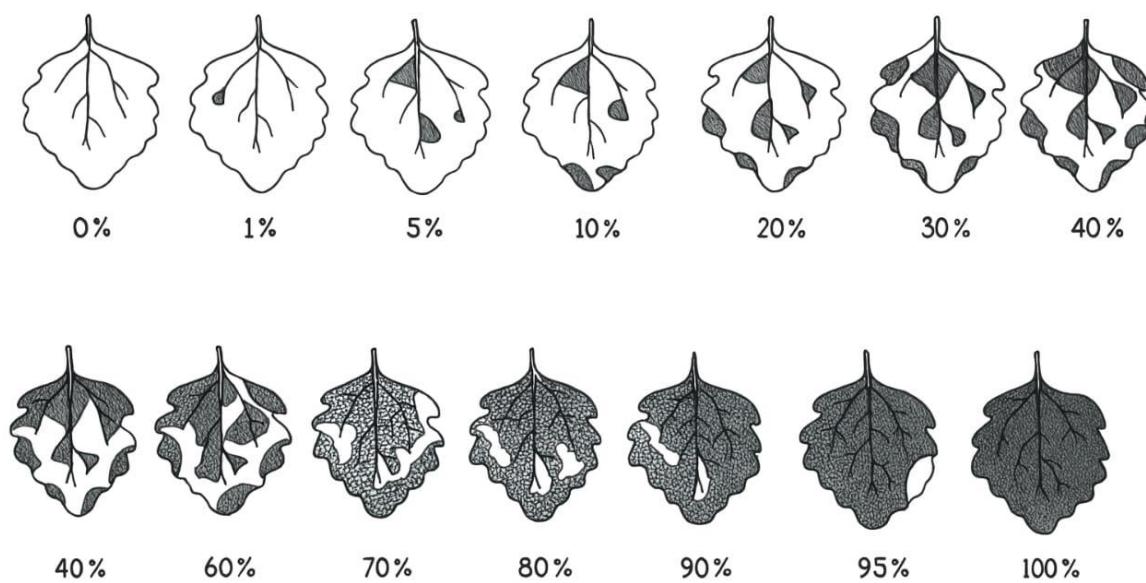
Se realizó el conteo de 1000 granos de cada accesión, de las plantas que fueron muestreadas totalmente al azar (Bioversity International, 2013).

### **Rendimiento (Kg ha<sup>-1</sup>)**

Para obtener el rendimiento en grano seco se realizó mediante la cosecha, secado, trillado y posterior venteado de las muestras seleccionadas de cada unidad experimental totalmente aleatorio; luego se procedió a pesar en g con la balanza analítica de precisión, luego se sacó el promedio de cada tratamiento y bloque, estos datos se transformaron en kg ha<sup>-1</sup> (Mullo, 2011).

### **Evaluación de Severidad e Incidencia de mildiu en quinua**

Danielsen y Ames (2000) aconsejan determinar el porcentaje del área foliar afectado en hojas individuales y no en plantas enteras. Se mide la severidad en 3 hojas por planta, una de cada tercio escogidas al azar, según una escala de 0 % hasta 100 %



**Figura 2. Porcentaje de afectación del mildiu en hojas de quinua (Danielsen y Ames, 2000).**

La incidencia de una enfermedad indica el porcentaje de plantas afectadas, para lo cual se realizó el conteo de las hojas afectadas por el mildiu de las plantas marbeteadas esto se lo realizó solo en el ensayo de factores bióticos.

### Análisis de datos

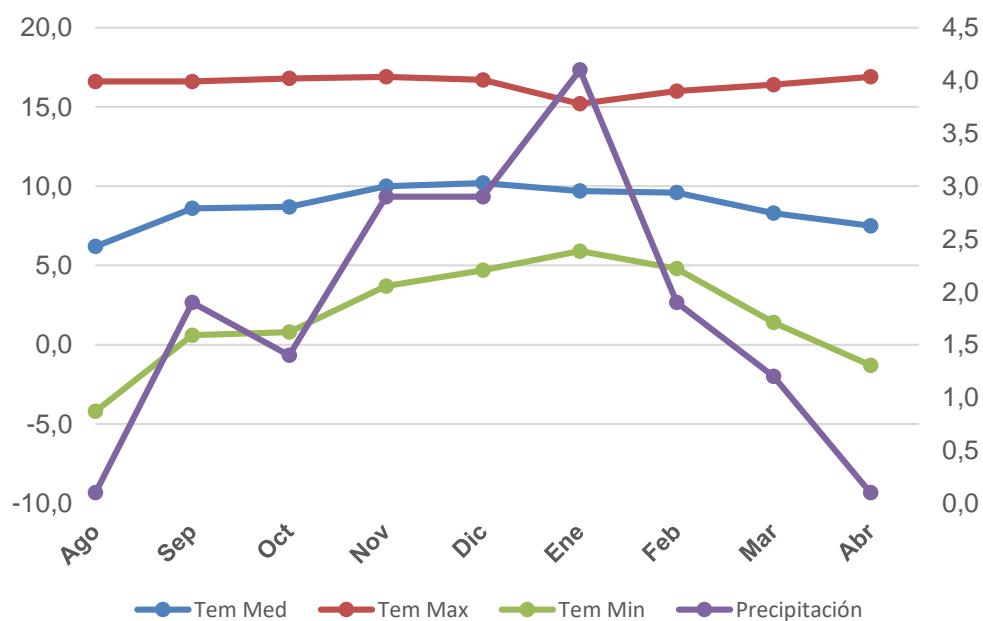
Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA). Asimismo, en caso de que se tuviera la significancia en el ANVA, se realizó la prueba de Duncan, empleándose el programa SAS v.9.2.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación que a continuación se presentaran, provienen de la gestión agrícola 2023 -2024, representados a los aspectos de variables fenológicas, agronómicas.

### Aspectos climáticos

Los índices climáticos de mayor importancia que se consideraron en el presente trabajo son la temperatura, los datos fueron recabados de la Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica-UPEA, ubicado en la Estación Experimental de Kallutaca, donde estuvo ubicada la presente investigación.



**Figura 3. Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada (PP.), temperaturas mínimas (T Min) y temperaturas máximas (T Max), correspondiente a la campaña agrícola 2023-2024, recabadas de la Estación Meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica.**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

En cuanto a la precipitación, se evidencia un incremento progresivo desde los meses iniciales de septiembre y octubre alcanzando valores altos durante los meses de diciembre,

enero y febrero. Posteriormente la precipitación disminuye en los meses de marzo y abril, tal motivo marcando el final de la temporada húmeda.

Las temperaturas mínimas registran valores cercanos a 0°C durante los meses de agosto, septiembre y octubre indicando heladas en la etapa inicial del cultivo, posteriormente las temperaturas mínimas aumentan ligeramente en los meses de diciembre y febrero.

Las temperaturas máximas mantienen un comportamiento más estable, con valores que oscilan aproximadamente entre 15°C y 20°C durante la mayor parte del ciclo agrícola, las cuales contribuyen al desarrollo fisiológico del cultivo. Estos factores son determinantes que nos ayudan en la evaluación de la tolerancia y productividad de los cultivares de quinua en estudio.

León (2003), indica que la temperatura óptima para una buena producción de la quinua está alrededor de 8 a 15°C. Asimismo, Mujica y Jacobsen (2006) y FAO (2011), señalan que el cultivo tiene una gama adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos, soporta temperaturas desde -4°C hasta 38°C y una temperatura media de 5 a 14°C; por consiguiente, los registros de temperatura están acorde a las necesidades del cultivo que mencionan estos autores.

#### **4.1. Resultados del grupo de accesiones de altos índices de productividad**

##### **4.1.1. Diámetro de tallo**

El Cuadro 3 muestra los resultados del ANVA realizado al diámetro de tallo de las accesiones de quinua en estudio, a un nivel de significancia de  $p=0,05$ . Estos resultados indican que las 10 variedades de quinua evaluadas en Kallutaca no presentan diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de tallo. Esto sugiere que, independientemente de la accesión, el diámetro del tallo tiende a ser similar bajo las condiciones de cultivo de este estudio. El coeficiente de variación para esta variable fue de 10,58 % esto indica que la precisión del experimento en el registro del diámetro de tallo fue alta y que los datos tomados en campo son confiables y se encuentran en los rangos permitidos desde el punto de vista estadístico (Ochoa, 2016).

No se puede afirmar que alguna accesión tenga un diámetro de tallo promedio significativamente diferente de las otras. Por lo tanto, una prueba de comparación de medias de Duncan para esta variable no es estadísticamente justificada.

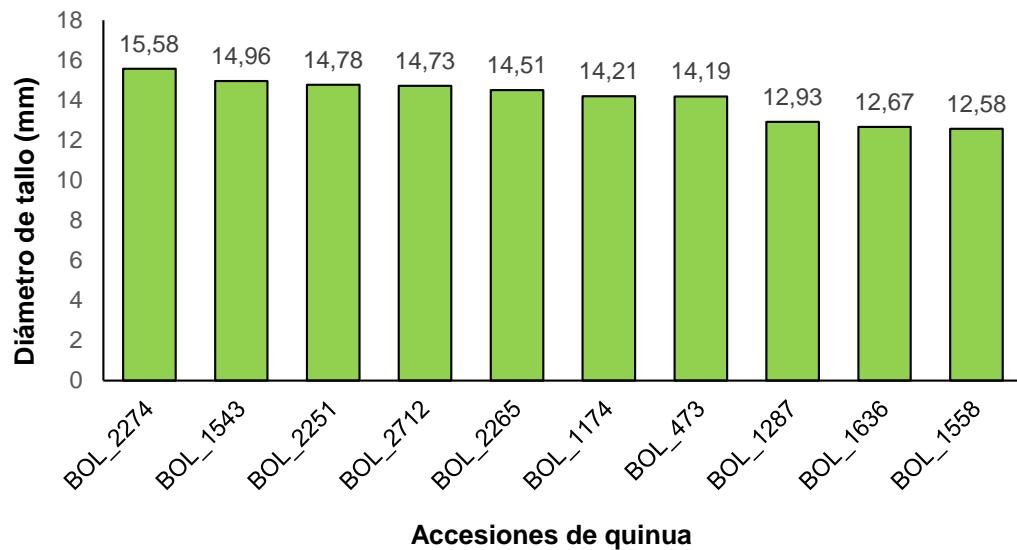
**Cuadro 3. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	29,07	3,23	1,45	0.2409 NS
Bloque	2	9,34	4,67	2,09	0.1525 NS
Error	18	40,19	2,23		
Total	29	78,61			
C.V.		10,58%			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Si bien no existen diferencias estadísticas significativas en el diámetro de tallo en las 10 accesiones en estudio, si existe diferencias numéricas las cuales se muestran en la siguiente Figura 4.



**Figura 4. Diferencias numéricas en el diámetro de tallo promedio de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Según la Figura 4, el diámetro de tallo varió de 12,58 a 15,58 milímetros, diferencias poco perceptibles a simple vista. La accesión BOL\_1558 registró el menor diámetro de tallo (12,58 mm), contrariamente, la accesión BOL\_2274 tuvo el tallo más grueso con 15,58 mm.

Los diámetros de tallo de las accesiones BOL\_1543, BOL\_2251, BOL\_2712, BOL\_2265, BOL\_1174, BOL\_473, BOL\_1287 y BOL\_1636, mostraron un bajo rango de variación de 2.29 mm, imperceptible a simple vista.

Estos resultados son distintos a los reportados por Fernández (2023) quien indicó que el diámetro de tallo de las accesiones de quinua que estudió tuvo 18.8 mm en promedio, con una desviación estándar de 2.0 mm. Respecto a los valores extremos, el valor mínimo fue 15.5 mm y el valor máximo fue 23.6 mm, correspondientes a las accesiones BOL02 y BOL04, respectivamente.

Asimismo, Benito (2020), reportó un promedio de diámetro de tallo superior a los encontrados en el presente estudio. Según esta autora, la media fue 19.21 mm, con una desviación estándar de 4.40 mm. Los valores extremos fueron 9.0 mm y 29.0 mm correspondientes a las accesiones BOL1003GA y BOL1025GA respectivamente, con un rango de variación de 20.0 mm. Por su parte, Alanoca y Machaca (2014), en sus estudios reportaron datos mayores respecto a la presente investigación, con un promedio de 21.27 mm, una mínima de 14.05 y una máxima de 27.52 mm, con un coeficiente de variación de 18.84 %

#### **4.1.2. Número de ramas**

De acuerdo a los resultados del Cuadro 4, existen diferencias altamente significativas entre las 10 accesiones de quinua en cuanto a su número de ramas. Esto sugiere que hay accesiones de quinua que tienen la capacidad de producir significativamente más o menos ramas que otras, en las condiciones edafoclimáticas de Kallutaca. El diseño de bloques fue efectivo para controlar la variabilidad del terreno, lo que contribuyó a la alta precisión del experimento que se expresa en un coeficiente de variación de 9.34% estadísticamente es menor al 30% y se encuentra en los rangos permitidos para este tipo de investigación (Ochoa, 2016).

En la comparación entre accesiones y bloques se obtuvo diferencias altamente significativas; esto nos indica, que las accesiones de quinua tienen diferentes cantidades de ramas, esta característica también se observa entre bloques.

**Cuadro 4. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	377,20	41,92	5,88	0.0007 **
Bloque	2	309,60	154,8	21,7	0.0001 **
Error	18	128,80	7,14		
Total	29	815,20			
C.V.		9,34 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Dado que se encontraron diferencias significativas entre las accesiones, se realizó la prueba de comparación de medias de Duncan, con el propósito de identificar qué accesiones o grupos de accesiones son significativamente diferentes entre sí, en términos del número de ramas. Esto permitirá seleccionar las accesiones con las características deseables para investigaciones posteriores.

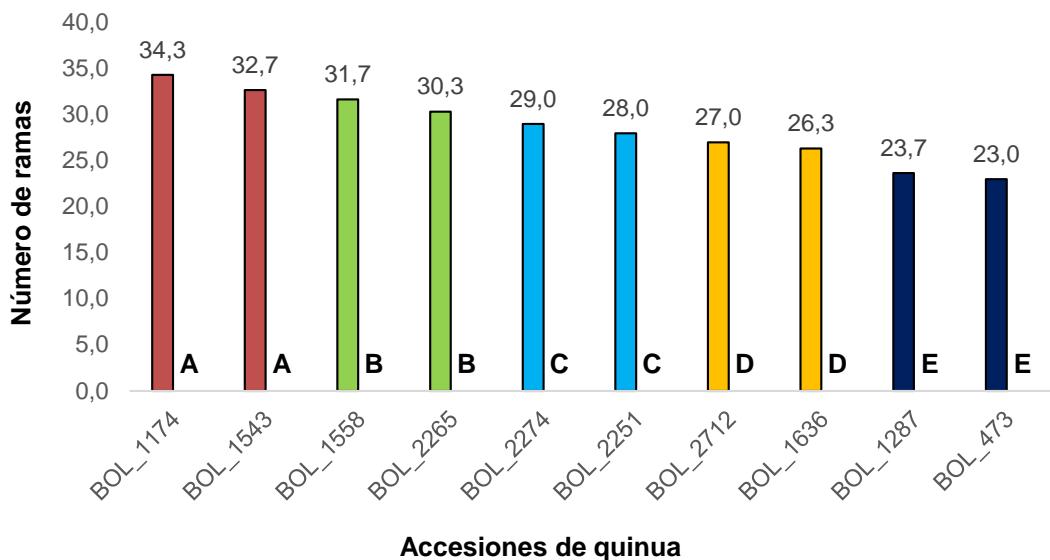
#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), numero de ramas**

La prueba de Duncan (Figura 5) ha revelado diferencias claras y significativas en el número de ramas entre las 10 accesiones de quinua. Las accesiones se agruparon en cinco categorías distintas según su capacidad para producir ramas.

Según la prueba de medias Duncan se tiene evidencia de que entre accesiones existen diferencias altamente significativas ( $p=0,0007$ ) en cuanto a número de ramas. La cantidad de ramas presentes en las accesiones de quinua variaron de 23 a 34 entre las accesiones BOL\_ 473 y BOL\_1174, respectivamente (Figura 5).

Las accesiones BOL\_1174 y BOL\_1543 fueron superiores en cuanto al número de ramas, sin diferencias significativas entre ellas. En el otro extremo, las accesiones BOL\_1287 y BOL\_473 son las que presentan el menor número de ramas, también sin diferencias

significativas entre ellas. Las accesiones restantes se distribuyen en grupos intermedios, mostrando una jerarquía clara en esta característica agronómica.



**Figura 5. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para el numero de ramas**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Con la prueba de medias de Duncan, se ha podido identificar cuáles accesiones específicas se distinguen unas de otras. Esto es valioso para la selección de variedades con características deseables para fines de mejoramiento o producción.

Los resultados encontrados en esta investigación fueron mucho mayores a los reportados por Fernández (2023) quien indicó que las accesiones de quinua de su estudio presentaron 8 ramas en promedio, con una desviación estándar de 2.1 ramas y un coeficiente de variación de 27.3 % que muestra amplia variación de este carácter entre accesiones. El valor mínimo fue 4 ramas registrado en la accesión BOL09, en cambio, el valor máximo correspondió a la accesión BOL03 con 13 ramas. El rango de variación fue de 9 ramas entre valores extremos. También son mucho mayores a los resultados de Benito (2020), quien reportó que sus accesiones de quinua en estudio tuvieron 13 ramas en promedio, con una desviación estándar de 4 ramas y un coeficiente de variación de 31.45 %. El valor mínimo fue cero, sin la presencia de ramas principales, los cuales corresponden a las accesiones BOL2866GA y BOL2877GA, denominados de hábito de crecimiento simple, el valor máximo corresponde a la accesión BOL294GA con 26 ramas.

#### 4.1.3. Altura de planta

Los resultados del Cuadro 5 indican que se encontraron diferencias altamente significativas entre las 10 accesiones de quinua en cuanto a su altura, dado que el valor  $p=0,0029$  es menor al nivel del 0.05,. Esto significa que hay accesiones que crecen significativamente más altas o más bajas que otras en las condiciones de Kallutaca.

**Cuadro 5. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	6282,73	698,08	5,46	0.0011 **
Bloque	2	498,98	249,49	1,95	0.1711 NS
Error	18	2302,69	127,93		
Total	29	9084,41			
C.V.		9,06 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

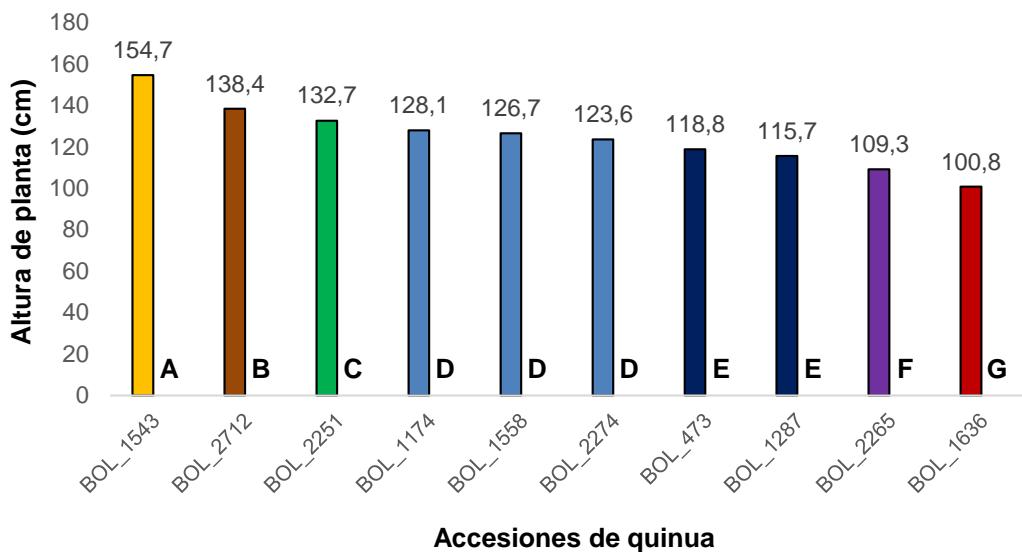
El efecto de los bloques no fue significativo para la altura de planta, lo que indica que, para esta variable, la variabilidad dentro del campo no fue una fuente de error importante. Asimismo, el coeficiente de variación de 9.06% muestra la alta precisión del experimento, lo que respalda fuertemente la validez de las diferencias detectadas entre las accesiones. El valor de coeficiente de variación estadísticamente es menor al 30 % y se encuentra en los rangos permitidos para la investigación (Ochoa, 2016).

En otras palabras, las accesiones no se comportan de la misma manera en cuanto a su altura, y algunas son inherentemente más altas o más bajas que otras. Este es un resultado importante para la selección y mejora de variedades. Debido a esta significancia, se realizó la prueba de comparación de medias de Duncan para identificar qué accesiones específicas son las que difieren y qué grupos se forman.

#### Comparación de medias (Prueba de Duncan), para altura de planta

La prueba de Duncan organiza las medias de las accesiones y las agrupa con letras. Si dos o más accesiones comparten al menos una letra en común, sus alturas de planta no son

estadísticamente diferentes al nivel de significancia del 5% Por el contrario, si no comparten ninguna letra, sí hay una diferencia significativa.



**Figura 6. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para promedios de altura de planta**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Según la prueba de medias Duncan se tiene evidencia de que entre accesiones existen diferencias altamente significativas ( $p=0,0029$ ) en cuanto a altura de planta, por lo que confirmamos tales diferencias mostrando los promedios de altura de planta para las 10 accesiones de quinua (Figura 6).

La prueba de Duncan ha revelado distinciones claras en 7 grupos estadísticos respecto a la altura de planta entre las 10 accesiones de quinua multiplicadas en Kallutaca. Las accesiones no se comportan de manera uniforme en esta característica. La accesión BOL\_1543 destaca como la más alta de todas (154.7 cm), en el extremo opuesto, la accesión BOL\_1636 es consistentemente la más baja (100.82 cm).

El resto de las accesiones se distribuyen en cinco grupos intermedios (B, C, D, E y F), con alturas comprendidas entre 109.3 cm y 138.4 cm, con un rango de variación de 29.1 cm entre ellas. Estos resultados son valiosos para la selección. Si se busca accesiones de porte alto, BOL\_1543 es la opción clara. Si se necesita accesiones más compactas, BOL\_1636 sería la más adecuada, seguida por BOL\_2265.

Como se mencionó anteriormente, la altura de planta exhibió diferencias altamente significativas entre las accesiones, este resultado es de gran importancia agronómica, debido a su relación con el rendimiento de grano. Esta variabilidad en alturas encontradas en el presente estudio se alinea con investigaciones en el altiplano. Paredes (2018), en un estudio en el altiplano norte de La Paz, reportó alturas de planta que variaban considerablemente entre variedades de quinua, desde 1.0 m hasta más de 1.8 m. En el lado peruano del altiplano, Quispe et al. (2017) también documentaron rangos amplios de altura (1.2 m a 1.7 m) entre variedades cultivadas en Puno, enfatizando la influencia genotípica en este rasgo. La identificación de accesiones con alturas contrastantes en el estudio es crucial para la adaptación a diferentes sistemas de manejo; por ejemplo, variedades de menor porte pueden ser preferibles para la cosecha mecanizada, mientras que las más altas podrían ser útiles para la producción de biomasa o en sistemas de rotación. El bajo coeficiente de variación (9.06 %) confirma la fiabilidad de estas diferencias.

#### **4.1.4. Longitud de panoja**

Los resultados del análisis de varianza realizado a la variable longitud de panoja se presentan en el Cuadro 6. De acuerdo a estos resultados se muestra que no existen diferencias significativas en la longitud de panoja entre las accesiones de quinua en estudio, debido a que estadísticamente los valores de p son mayores a 0,05. En otras palabras, bajo las condiciones de este estudio, las accesiones se comportan de manera similar en cuanto a la longitud de sus panojas.

**Cuadro 6. Análisis de varianza para longitud de panoja en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	1139,26	126,58	2,05	0.0930 NS
Bloque	2	249,52	124,76	2,02	0.1614 NS
Error	18	1110,77	61,71		
Total	29	2499,56			
C.V.		21,87 %			

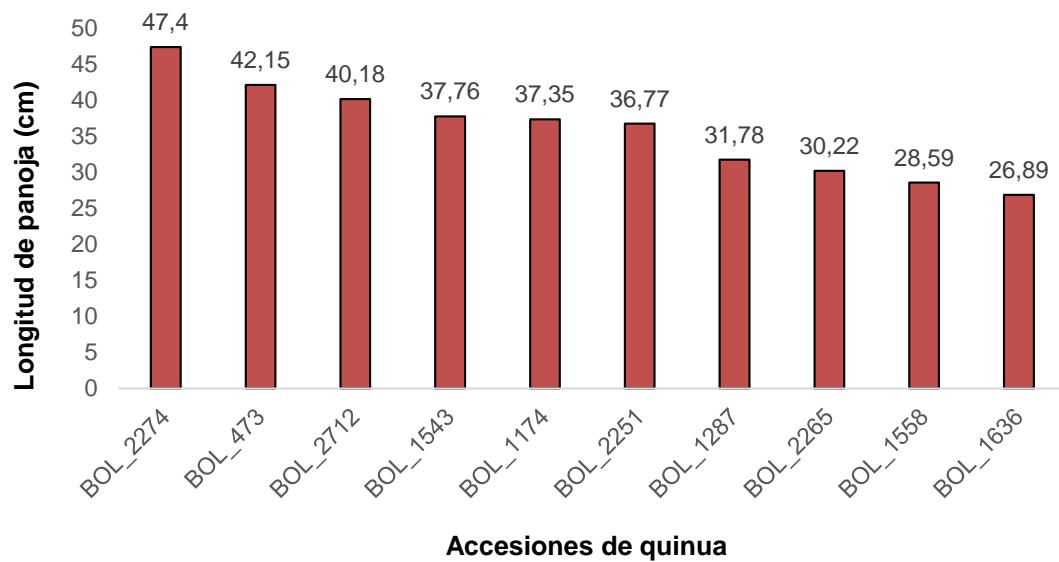
\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Los resultados del Análisis de Varianza del Cuadro 6, sugieren que todas las accesiones tienden a producir panojas de longitudes similares bajo las condiciones de Kallutaca. El efecto de los bloques tampoco fue significativo, lo que significa que la heterogeneidad del terreno no impactó significativamente esta variable. El coeficiente de variación es moderado a alto (21,87 %), lo que sugiere una mayor variabilidad experimental en la medición de esta característica en comparación con otras variables analizadas. Asimismo, el coeficiente de variación de 21.78%, estadísticamente es menor al 30% y se encuentra en los rangos permitidos para investigaciones en campo (Ochoa, 2016).

De acuerdo a estos resultados no se puede afirmar que alguna accesión tenga una longitud de panoja promedio significativamente diferente de las otras. Por lo tanto, una prueba de comparación de medias de Duncan para esta variable no se justifica desde el punto de vista estadístico, si el objetivo es identificar diferencias significativas al 5%

La Figura 7 muestra las diferencias numéricas en la longitud de panoja de las accesiones en estudio. Como se mencionó anteriormente, si bien existen diferencias numéricas en la longitud de panojas, estas no son significativas desde el punto de vista estadístico.



**Figura 7. Diferencias numéricas en promedios de longitud de panoja de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La accesión BOL\_2274 tiene una longitud de panoja significativamente mayor en comparación con las accesiones BOL\_1287, BOL\_2265, BOL\_1558 y BOL\_1636. En cambio, las panojas de las accesiones BOL\_473, BOL\_2712, BOL\_1543, BOL\_1174 y BOL\_2251 no difieren significativamente ni de la más larga (BOL\_2274) ni de las más corta (BOL\_1636) (Figura 7).

Los resultados encontrados en esta investigación son similares a los reportados por Mamani (2017) quien realizó un estudio con variedades de quinua en el altiplano boliviano reportando rangos amplios de longitud de panoja, con variedades que pueden oscilar entre 20 cm y 45 cm. Similarmente, investigaciones en Puno han indicado que la morfología de la panoja, incluyendo su diámetro, puede variar significativamente entre genotipos, pero que factores ambientales como la disponibilidad hídrica o la fertilidad del suelo también juegan un papel importante en su expresión (Lizarbe et al., 2020).

La ausencia de diferencias marcadas en la longitud de panoja las accesiones en estudio sugieren que, bajo las condiciones específicas de Kallutaca, el ambiente puede haber ejercido un efecto homogeneizador, o que las diferencias genéticas en la panoja no son tan acentuadas como en otros rasgos que están directamente vinculados al rendimiento.

#### **4.1.5. Diámetro de panoja**

El Cuadro 7 muestra los resultados del ANVA realizado al diámetro de panoja de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0.05$ ). Los resultados de este análisis indican que el  $p$ -valor (0.1526) es mayor que el nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ . Esto significa que no existen diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de la panoja entre las 10 accesiones de quinua cultivadas en Kallutaca. Es decir, bajo las condiciones edafoclimáticas del estudio, las diferentes accesiones de quinua tienden a tener panojas con diámetros similares.

Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre accesiones y el efecto de los bloques tampoco fue significativo, lo que indica que la heterogeneidad del campo no influyó de forma importante en esta característica. El coeficiente de variación para esta variable fue de 14,26 % valor que indica que la precisión del experimento fue buena, lo que asegura que la falta de diferencias significativas no se debe a una alta variabilidad del diámetro de panoja. Inconsecuencia, una prueba de comparación de medias

Duncan para esta variable no es apropiada estadísticamente para encontrar diferencias significativas, ya que el ANOVA principal no las detectó.

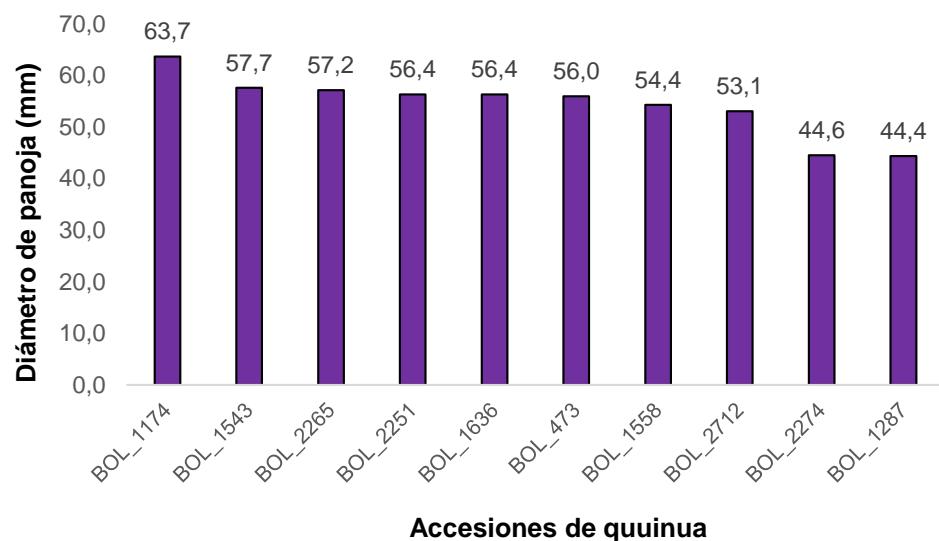
**Cuadro 7. Análisis de varianza para diámetro de panoja en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	939,38	104,37	1,74	0.1526 NS
Bloque	2	76,44	38,22	0,64	0.5411 NS
Error	18	1082,34	60,13		
Total	29	2098,16			
C.V.		14,26 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La Figura 8, muestra la variación de diámetro de panoja en las 10 accesiones en estudio. De acuerdo a estos resultados, la accesión BOL\_1174 registró el máximo diámetro de panoja (63.73 cm), contrariamente, las accesiones BOL\_2274 y BOL\_1287, tuvieron panojas de menor diámetro, con valores de 44.59 cm y 44.43, respectivamente.



**Figura 8. Diferencias numéricas en promedios de diámetro de panoja de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La accesión BOL\_1174 presenta el mayor diámetro de papa promedio y es significativamente superior a BOL\_2274 y BOL\_1287. El resto de las accesiones (BOL\_1543, BOL\_2265, BOL\_2251, BOL\_1636, BOL\_473, BOL\_1558, BOL\_2712) no se diferencian significativamente ni de la accesión con el mayor diámetro ni de las de menor diámetro. Esto significa que, si el objetivo es seleccionar accesiones con un mayor diámetro de papa, BOL\_1174 es la que se destaca más.

Tanto la longitud como el diámetro de papa no mostraron diferencias significativas en el ANVA general, sin embargo, si existen diferencias numéricas en las variables de papa. Estudios realizados en Puno han indicado que la morfología de la papa, incluyendo su diámetro, puede variar significativamente entre genotipos, pero que factores ambientales como la disponibilidad hídrica o la fertilidad del suelo también juegan un papel importante en su expresión (Lizarbe et al., 2020).

#### **4.1.6. Diámetro de grano**

Según el Cuadro 8, el p-valor (0.0003) es extremadamente bajo, siendo mucho menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$  (5 %) esta alta significancia estadística indica que existen diferencias altamente significativas en el diámetro del grano entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua. Esto implica que el genotipo de la accesión juega un papel crucial en determinar el tamaño del grano bajo las condiciones de Kallutaca.

**Cuadro 8. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
ACCESSION	9	0,56	0,06	6,68	0.0003 **
Bloque	2	0,03	0,02	1,56	0.2370 NS
Error	18	0,17	0,01		
Total	29	0,76			
C.V.		5,11 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Asimismo, el efecto de los bloques no fue significativo, lo que indica que la heterogeneidad del terreno no impactó esta característica. La precisión del experimento expresada en un

bajo coeficiente de variación (5.11 %) fue sobresaliente, lo que brinda una alta confianza en la detección de estas diferencias genotípicas. Según Ochoa (2016) un coeficiente menor a 30 % es aceptable para las investigaciones en campo.

La diferencia altamente significativa encontrada en el diámetro del grano de las 10 accesiones de quinua en estudio es un hallazgo importante, debido a que el tamaño del grano es una característica de calidad crucial en la quinua.

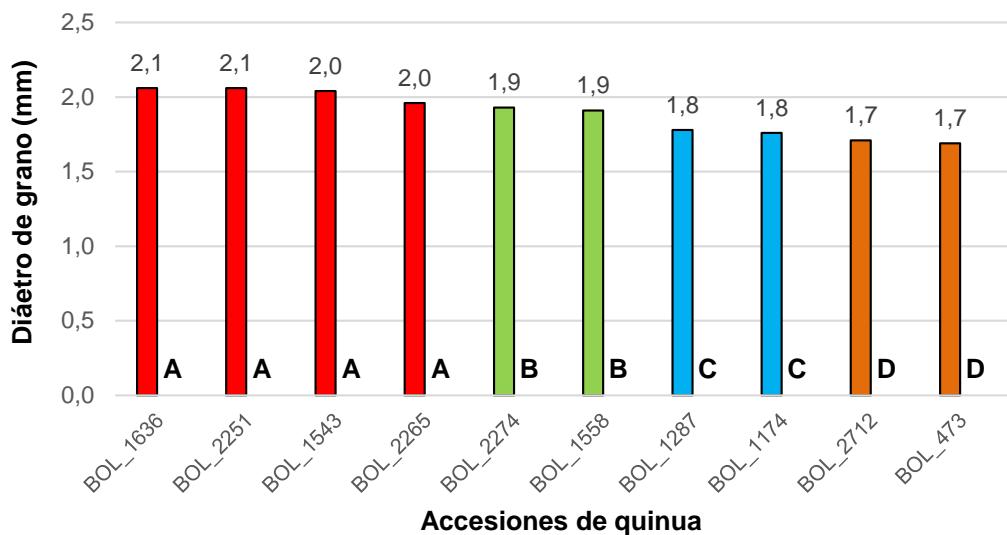
Estos resultados sugieren que las diferentes accesiones tienen un potencial genético distinto para producir granos de diferentes diámetros. Debido a esta significancia, es indispensable realizar una prueba de comparación de medias Duncan para identificar cuáles accesiones específicas son las que producen granos de mayor o menor diámetro, aspecto fundamental para el mejoramiento y la selección de accesiones con fines comerciales o de investigación.

### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para diámetro de grano**

Los resultados de Duncan son altamente consistentes con el ANVA previo para Diámetro de Grano, que arrojó un p-valor de 0.0003 (Altamente Significativo). Dado que el ANVA indicó diferencias muy claras entre las accesiones en general, la prueba de Duncan ha logrado identificar estas diferencias y agrupar las accesiones en distintas categorías según el tamaño de su grano. La prueba de medias Duncan mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio existen cuatro grupos conformados de similar diámetro de grano (Figura 9).

Las accesiones BOL\_1636 (2,06 mm), BOL\_2251 (2,06 mm), BOL\_1543 (2,04 mm) y BOL\_2265 (1,96 mm) forman el Grupo A con el mayor diámetro de grano, los resultados indican que no hay diferencias significativas entre estas cuatro accesiones. Las accesiones BOL\_2274 (1,93 mm) y BOL\_1558 (1,91 mm) forman un grupo intermedio B, en el que no hay diferencias significativas entre ellas, pero son significativamente diferentes del Grupo A.

El Grupo C está conformado por las accesiones BOL\_1287 (1,78 mm) y BOL\_1174 (1,76 mm) y no presentan diferencias significativas entre ellas, pero son significativamente diferentes de los Grupos A y B y del Grupo D. Las accesiones BOL\_2712 (1,71 mm) y BOL\_473 (1,69 mm) forman el Grupo D con el menor diámetro de grano.



**Figura 9. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Estos hallazgos son de gran importancia para el mejoramiento genético y la selección de variedades de quinua, ya que el diámetro del grano es un atributo clave para la calidad comercial y la aceptabilidad en el mercado. Si se busca accesiones con granos grandes, el Grupo A es el más prometedor.

Los resultados del diámetro de grano de este estudio son similares a los descritos por Benito (2020), quien reportó que las accesiones de quinua registraron un promedio de 1.99 mm, siendo la accesión BOL838GA la que mostró el valor mínimo con 1.46 mm, proveniente de la provincia Ladislao Cabrera del departamento de Oruro, y el valor máximo fue de 2.65 mm que corresponde a la accesión BOL2997GA proveniente de la provincia Tomas Frías del departamento de Potosí.

Por su parte, Alanoca y Machaca (2014), reportaron un promedio de diámetro de 2.12 mm, un coeficiente de variación de 15.81 % con valores extremos de 1.19 y 2.34 mm. Estos datos son mayores respecto al presente estudio.

#### 4.1.7. Peso de mil granos

Los resultados del Cuadro 9, indican que existen diferencias altamente significativas entre las 10 accesiones de quinua en cuanto al peso mil granos. Esto subraya que la accesión es un factor determinante para esta característica de calidad y rendimiento.

**Cuadro 9. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
ACCESSION	9	5,68	0,63	5,01	0.0018 **
Bloque	2	0,78	0,39	3,13	0.0683 NS
Error	18	2,27	0,13		
Total	29	8,74			
C.V.		13,33 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Asimismo, el p-valor (0.0683) para los bloques es ligeramente mayor que  $p=0.05$ . Esto indica que no hubo un efecto significativo de los bloques sobre el peso de mil granos al nivel de significancia del 5%. Sin embargo, es un p-valor que se acerca al umbral (a diferencia de otros p-valores de bloques que eran mucho más altos, como 0.5411). Esto sugiere que pudo existir una tendencia a la heterogeneidad, aunque no alcanzó la significancia estadística convencional. El uso de bloques de todos modos fue una buena medida precautoria.

La precisión del experimento fue buena, que se expresa en un coeficiente de variación de 13.33 % esto indica que las diferencias detectadas en campo son robustas, confiables y están en los rangos permitidos estadísticamente (Ochoa, 2016).

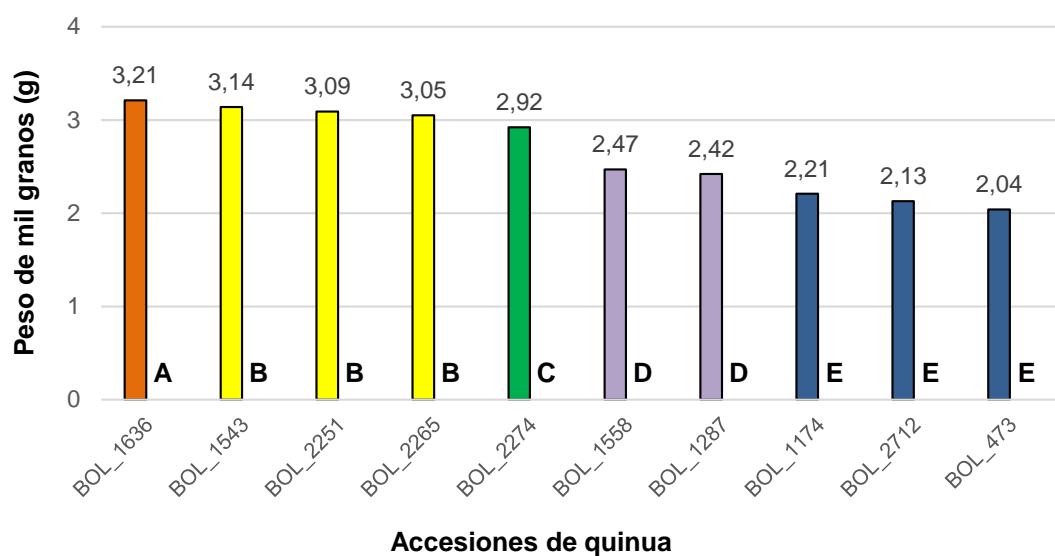
Dado que el ANVA muestra diferencias y significativas, es esencial analizar los resultados de la prueba de medias Duncan para identificar cuáles accesiones se destacan por tener granos más pesados, lo cual es fundamental para cualquier programa de mejoramiento o selección de variedades.

### Comparación de medias de Duncan, para peso de mil granos

La prueba de medias Duncan mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio se conformaron cinco grupos con similar peso de mil granos (Figura 10).

El primer grupo (A) está conformado por la accesión BOL\_1636 que registró el mayor peso de mil granos (3.21 g), el segundo grupo (B) está conformado por las accesiones BOL\_1543, BOL\_2251 y BOL\_2265 y con pesos de grano de 3.05 g y 3.14 g, respectivamente.

El tercer grupo (C) está conformado por la accesión BOL\_2274 con 2.92 gramos de peso de mil granos. Las accesiones BOL\_1558 (2,47 g) y BOL\_1287 (2,42 g) forman el cuarto grupo (D), no hay diferencias significativas entre ellas en el peso de mil granos, sin embargo, son significativamente más ligeras que las de los grupos A, B y C, y significativamente más pesadas que las del grupo E. Finalmente, las accesiones BOL\_1174 (2,21 g), BOL\_2712 (2,13 g) y BOL\_473 (2,04 g) constituyen el grupo con el menor peso de mil granos.



**Figura 10. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La prueba de Duncan ha revelado que la accesión BOL\_1636 se destaca como la mejor opción si el objetivo es obtener granos de mayor peso. Le sigue un grupo de tres accesiones (BOL\_1543, BOL\_2251, BOL\_2265) que son muy prometedoras, aunque significativamente más ligeras que BOL\_1636. Estos hallazgos son valiosos para la selección y el mejoramiento de variedades de quinua, especialmente en programas que buscan aumentar el rendimiento o la calidad de grano.

Estos resultados son consistentes y concordantes con la literatura que subraya la amplia variabilidad genética en el tamaño y peso del grano de quinua en la región andina. Al respecto, Ticona et al. (2018), en un estudio en el altiplano central de Bolivia, confirmaron la existencia de genotipos con diámetros de grano y pesos de mil granos significativamente diferentes, siendo estos rasgos fundamentales para la clasificación y el valor comercial de la quinua. Lizarbe et al. (2020) en Puno, Perú, también enfatizan la necesidad de seleccionar variedades con alto peso de mil granos (superiores a 3.0 g) para optimizar el rendimiento. Los hallazgos del presente estudio confirman la capacidad de seleccionar accesiones específicas para producir granos de mayor tamaño y peso, aspectos importantes para el mercado y la agroindustria.

#### **4.1.8. Rendimiento**

Los resultados del análisis de varianza para la variable Rendimiento son muy importantes y claros. El p-valor (0.0025) en accesión es muy bajo, siendo menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$  (5%). Esta alta significancia estadística indica que existen diferencias altamente significativas entre las 10 accesiones de quinua en cuanto a su rendimiento en  $\text{Kg ha}^{-1}$ . Esto demuestra que la elección de la accesión es un factor crítico en la productividad del cultivo en condiciones edafoclimáticas de Kallutaca.

El efecto de los bloques no fue significativo, lo que sugiere que la variabilidad espacial del campo no fue un factor determinante en el rendimiento. Asimismo, el coeficiente de variación es moderado a alto (25.58 %), lo que indica cierta variabilidad experimental, pero no lo suficiente como para enmascarar las diferencias genotípicas claras en el rendimiento.

Los resultados del Cuadro 10, demuestran que la elección de la accesión tiene un impacto fundamental en el rendimiento. Algunas accesiones son inherentemente más productivas que otras bajo las condiciones del estudio.

**Cuadro 10. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones de altos índices de productividad**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	12066478.16	1340719.80	4.72	0.0025 **
Bloque	2	695548.66	347774.33	1.22	0.3172 NS
Error	18	5111668.63	283981.59		
Total	29	17873695.44			
C.V.		25,58 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Debido a esta significancia, fue indispensable realizar una prueba de comparación de medias de Duncan, para identificar cuáles accesiones específicas son las que se distinguen y cuáles son las de mayor potencial productivo.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para rendimiento**

La prueba de Duncan ha revelado seis grupos estadísticamente diferentes para el rendimiento, lo que muestra una clara jerarquía entre las accesiones (Figura 11).

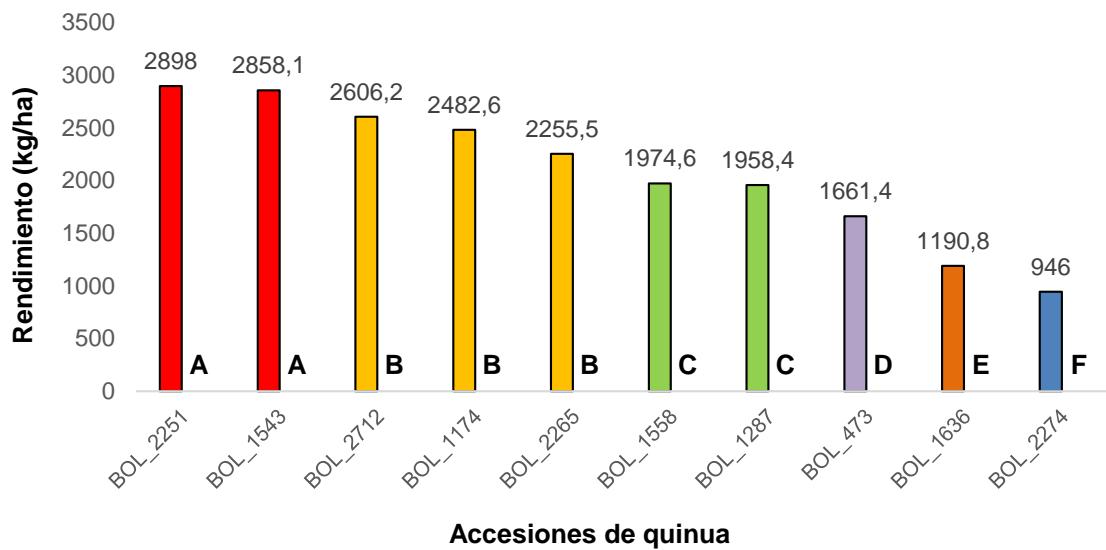
El Grupo A (Mayor Rendimiento), está conformada por las accesiones BOL\_2251 (2898 Kg  $ha^{-1}$ ) y BOL\_1543 (2858,1 Kg  $ha^{-1}$ ) con los mayores rendimientos, no hay diferencias significativas en el rendimiento entre estas dos accesiones. Ambas son significativamente superiores a todas las accesiones de los grupos B, C , D, E y F.

Las accesiones BOL\_2712 (2606,2 Kg  $ha^{-1}$ ), BOL\_1174 (2482,6 Kg  $ha^{-1}$ ) y BOL\_2265 (2255,5 Kg  $ha^{-1}$ ) componen el Grupo B. Asimismo, las accesiones BOL\_1558 (1974,6 Kg  $ha^{-1}$ ) y BOL\_1287 (1958,4 Kg  $ha^{-1}$ ) forman el Grupo C.

El Grupo D está conformada solo por la accesión BOL\_473 (1661,4 Kg  $ha^{-1}$ ) es significativamente inferior a los grupos A, B y C, y significativamente superior a los grupos E y F.

La accesión BOL\_1636 (1190,8 Kg  $ha^{-1}$ ) también forma un grupo individual (E) y la accesión BOL\_2274 (946 Kg  $ha^{-1}$ ) (Menor rendimiento) se encuentra en el extremo inferior (Grupo

F), siendo significativamente inferior a todas las demás accesiones y es la de menor rendimiento en este estudio.



**Figura 11. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La prueba de Duncan ha proporcionado información importante respecto a las diferencias en el rendimiento entre las 10 accesiones de quinua cultivadas en Kallutaca. Las accesiones BOL\_2251 y BOL\_1543 son claramente las accesiones de mayor rendimiento, destacándose significativamente sobre el resto. Estas serían las opciones preferenciales si el objetivo es maximizar la producción. En contraste, la accesión BOL\_2274 presenta el menor rendimiento, siendo significativamente menos productiva que todas las demás.

Estos hallazgos son fundamentales para la toma de decisiones agronómicas y para futuros programas de mejoramiento de quinua en la región, permitiendo seleccionar las accesiones más adecuadas para la producción de granos en las condiciones de La Paz, Bolivia.

Estos rendimientos y las diferencias observadas son coherentes con investigaciones en el altiplano. Condori (2021), en el altiplano central de Bolivia, reportó que el rendimiento de la quinua puede oscilar drásticamente entre variedades y condiciones de manejo, con rangos desde  $800 \text{ Kg ha}^{-1}$  hasta más de  $2500 \text{ Kg ha}^{-1}$ . En el altiplano peruano, Quispe et al. (2017) encontraron que variedades mejoradas pueden superar los  $3000 \text{ Kg ha}^{-1}$  en parcelas

experimentales bajo condiciones adecuadas, mientras que las variedades locales pueden tener rendimientos más variables.

Los rendimientos máximos del presente estudio (cercaos a 2900 Kg ha<sup>-1</sup>) se encuentran en el rango superior de lo reportado para la región bajo condiciones de secano, lo que valida el potencial productivo de las accesiones BOL\_2251 y BOL\_1543 en Kallutaca. La identificación de estas accesiones de alto rendimiento es crucial para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola en las comunidades del altiplano norte de La Paz.

#### **4.2. Resultados de accesiones con tolerancia a plagas y enfermedades (Factores bióticos)**

##### **4.2.1 Altura de planta**

Los resultados del Cuadro 11 indican que existen diferencias estadísticamente significativas en la altura de la planta entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua, dado que el valor  $p=0,0131$  es menor al nivel del  $p=0.05$  (5 %), en otras palabras, existe diferencia entre accesiones respecto a la altura de planta, en accesiones seleccionadas por su buena tolerancia a plagas y enfermedades.

**Cuadro 11. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	4161,78	462,42	3,39	0.0131 *
Bloque	2	128,31	64,15	0,47	0.6321 NS
Error	18	2453,28	136,29		
Total	29	6743,36			
C.V.		8,06 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

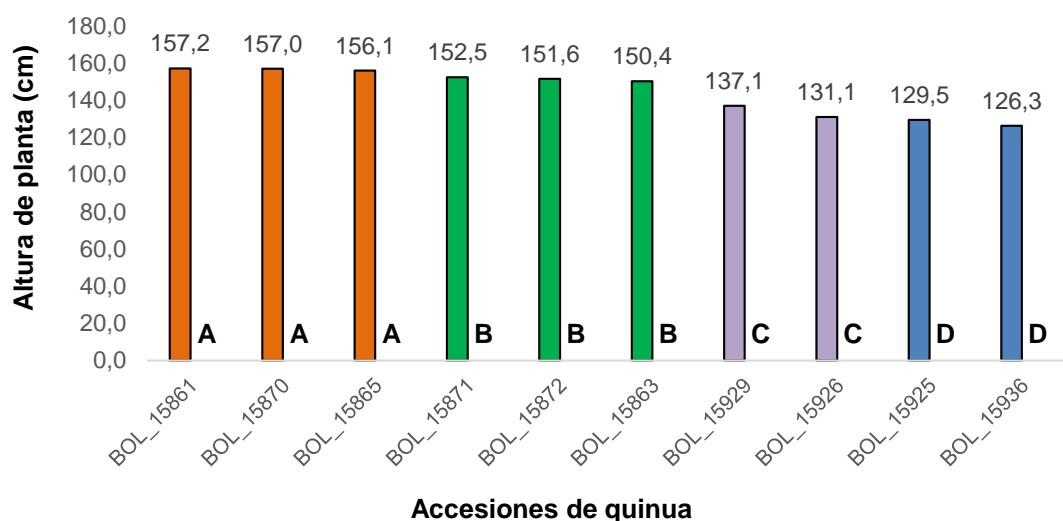
El p-valor para el factor Bloque (0.6321) es mucho mayor que  $p=0.05$ , esto indica que no hay diferencias significativas en la altura de la planta debido al efecto de los bloques. Es decir que, la variabilidad entre tus bloques experimentales no fue lo suficientemente grande

como para influir significativamente en la altura de las plantas. Esto es bueno, ya que significa que el diseño de tu experimento fue efectivo en controlar la variabilidad espacial.

En el Cuadro 11, se muestra la variable de respuesta de altura de planta con un coeficiente de variación de 8.6%, estadísticamente es menor al 30 % se encuentra en los rangos permitidos (Ochoa, 2016). Un coeficiente de variación bajo indica que los datos son relativamente precisos y consistentes, y que la variabilidad no atribuida a las accesiones es pequeña. Esto refuerza la confiabilidad de los resultados. Dado que el ANVA fue significativo para accesiones, se procedió con la prueba de medias de Duncan para esta variable.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para altura de planta**

La prueba de Duncan nos proporcionó información sobre que accesiones específicas son más altas, cuáles son más bajas y cuáles no difieren entre sí, permitiendo identificar las accesiones con las características morfológicas (altura) deseadas o indeseadas en el contexto de la investigación sobre plagas y enfermedades.



**Figura 12. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable altura de planta**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La prueba de medias Duncan dividió las accesiones en 4 grupos de similar altura de planta. El Grupo A (Más Altas), está formado por las accesiones BOL\_15861 con 157,2 cm,

BOL\_15870 con 157 cm y BOL\_15865 con 156,07 cm de altura. Estas tres accesiones son las más altas y no presentan diferencias significativas entre ellas en cuanto a su altura (Figura 12).

El Grupo B (Intermedias Altas) está constituido por las accesiones: BOL\_15871 con 152,54 cm, BOL\_15872 con 151,62 cm y BOL\_15863 con 150,35 cm de altura. Estas tres accesiones tienen una altura significativamente menor que las del Grupo A. Las accesiones BOL\_15929 con 137,13 cm y BOL\_15926 con 131,13 cm de altura, conforman el Grupo C (Intermedias Bajas).

El Grupo D (Más Bajas), está formado por las accesiones BOL\_15925 con 129,53 cm y BOL\_15936 con 126,32 cm de altura. Estas dos accesiones son significativamente más bajas de todas las accesiones evaluadas (Figura 12).

Estos resultados son diferentes a los descritos por Benito (2021), quien reportó que la altura promedio en las accesiones de su estudio fue de 118.24 cm, con una desviación estándar de 26.69 cm. Los valores extremos correspondieron a las accesiones BOL2953GA con 62.00 cm como valor mínimo y BOL2035GA con 185.67 cm como valor máximo. Por su parte, Luna *et al.* (2011), en sus estudios realizados en el valle alto de Cochabamba, reportó un rango de variación de 119.2 a 171.0 cm, con un promedio de 145 cm y un coeficiente de variación de 21.38 %. Asimismo, Condori (2019), en su investigación sobre caracterización de genotipos de quinua en el altiplano de La Paz, también reportó una amplia gama de alturas de planta, sugiriendo que la altura es un carácter altamente influenciado por el genotipo y el ambiente. De igual manera, Quispe (2017), al evaluar la diversidad de quinua en Oruro, encontró variaciones significativas en la altura de planta entre sus materiales, lo cual es consistente con la base genética diversa de la especie. La altura de planta es una característica importante para la resistencia al vuelco y la facilidad de cosecha, y la identificación de grupos distintos en tu estudio permite una selección dirigida.

La información de la altura de planta es importante dependiendo de los objetivos de la selección, por ejemplo, si una menor altura es deseable para reducir el acame o para facilitar la cosecha, las accesiones BOL\_15925 y BOL\_15936 son las adecuadas, o por el contrario si una mayor altura de planta es beneficiosa para tener mayor biomasa las accesiones BOL\_15861, BOL\_15870 y BOL\_15865, pueden cumplir este objetivo.

#### 4.2.2 Diámetro de tallo

El Cuadro 12 muestra los resultados del ANVA realizado al diámetro de tallo de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre accesiones y tampoco entre bloques. Esto significa que, en promedio, todas las accesiones tienden a tener un diámetro de tallo similar.

**Cuadro 12. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	33,48	0,06	6,68	0.2536 NS
Bloque	2	10,45	0,02	1,56	0.1661 NS
Error	18	0,17	0,01		
Total	29	0,76			
C.V.		5,11 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

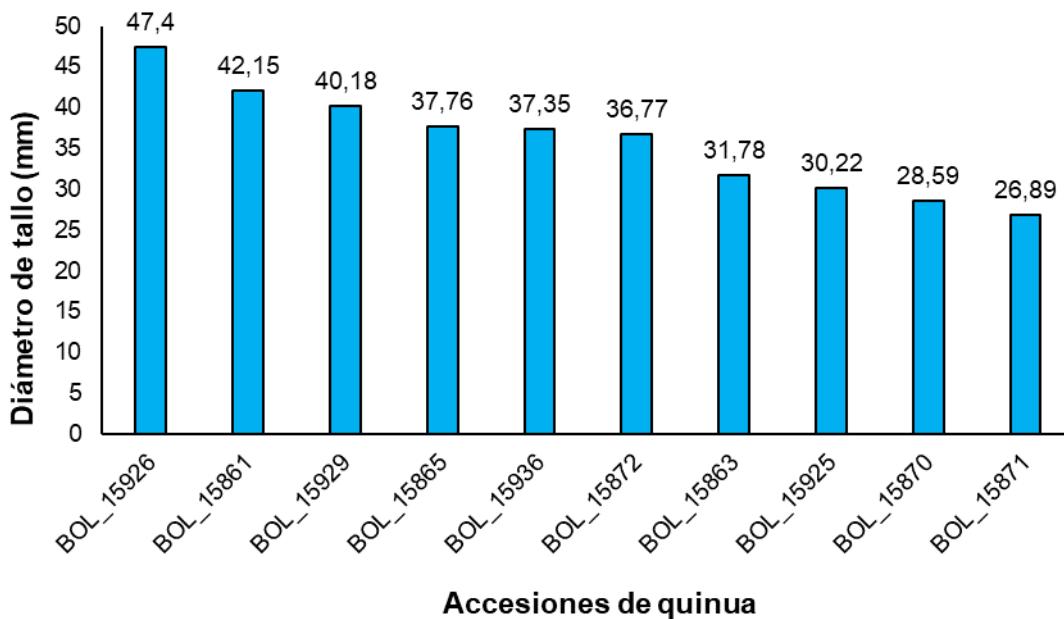
**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación para esta variable fue de 5.11% esto indica que los datos tomados en campo son confiables y están en los rangos permitidos para este tipo de investigación en campo (Ochoa, 2016). Dado que el ANVA no encontró diferencias significativas para esta variable, no es necesario, ni estadísticamente apropiado, realizar una prueba de comparación de medias como Duncan para el diámetro de tallo.

Según la Figura 13, el diámetro de tallo de las accesiones en estudio, no mostró diferencias estadísticas significativas, pero si mostro diferencias numéricas. Esta característica varió de 26.89 a 47.4 milímetros, diferencias poco perceptibles a simple vista.

La accesión BOL\_15926 con una media de 47,4 mm registro el tallo más grueso. Contrariamente la accesión BOL\_15871 tuvo los tallos más delgados (26,89 mm).

Los hallazgos en esta variable son diferentes a los reportados por Mamani et al. (2018), quienes, al caracterizar la diversidad de quinua en el altiplano boliviano, sí reportaron diferencias significativas en el diámetro de tallo entre diversas accesiones, atribuyéndolo a la diversidad genética.



**Figura 13. Diferencias numéricas en promedios de diámetro de tallo de 10 accesiones de quinua de medias para diámetro de tallo**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La discrepancia podría deberse a la selección específica de las 10 accesiones de este estudio, que podrían ser más homogéneas en esta variable, o a que las condiciones ambientales específicas de del experimento no favorecieron la expresión diferencial de este carácter. Un coeficiente de variación bajo (5.11 %) en el estudio indica una alta precisión en la medición, por lo que la falta de significancia es confiable.

#### 4.2.3 Número de ramas

Los resultados de ANVA para el número de ramas identificó que para las accesiones en estudio el p-valor (0.0006) es extremadamente bajo, siendo mucho menor que el nivel de significancia común de  $p=0.05$ . Esto significa que existen diferencias altamente significativas en el número de ramas entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua. Similar al factor accesión, el p-valor para el factor Bloque (0.0038) también es altamente significativo. Esto indica que existen diferencias significativas en el número de ramas debido al efecto de los bloques.

En otras palabras, la variabilidad genética entre las accesiones se manifiesta claramente en el número de ramas que desarrollan. Las accesiones no producen la misma cantidad de

ramas en promedio. Además, las condiciones o la variabilidad dentro de los bloques sí influyeron notablemente en el desarrollo de las ramas. Esto resalta la importancia de haber usado un diseño en bloques para controlar esta fuente de variabilidad.

**Cuadro 13. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	399,57	34,59	6,04	0.0006 **
Bloque	2	88,20	44,1	7,7	0.0038 **
Error	18	103,13	5,72		
Total	29	502,70			
C.V.		7,74 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

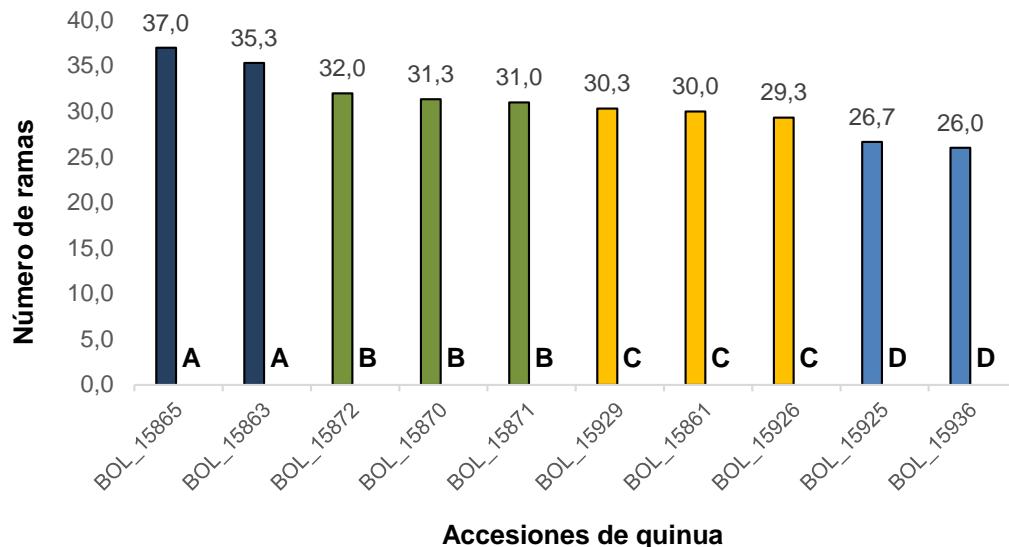
El coeficiente de variación de esta variable fue de 7.74 % y se considera bajo para un experimento de campo. Este valor no indica que la precisión experimental fue buena y que la variabilidad no explicada por las accesiones o los bloques, es decir, el error experimental, es relativamente pequeña. Esto aumenta la confianza en que las diferencias significativas que observamos son reales. Al respecto Ochoa (2016) menciona que un coeficiente inferior a 30 % para condiciones de campo, se encuentra en los rangos permitidos. Dado que el efecto de la accesión y de los bloques, fue altamente significativo, se procedió con la prueba de comparación de medias Duncan para el Número de Ramas.

#### **Comparación de media (Prueba de Duncan), número de ramas**

La prueba de Duncan ha clasificado las 10 accesiones de quinua en cuatro grupos estadísticamente distintos en función de su número de ramas. Las accesiones BOL\_15865 (37 ramas) y BOL\_15863 (35 ramas) son las que destacan por producir la mayor cantidad de ramas, mientras que BOL\_15925 (27 ramas) y BOL\_15936 (26 ramas) son las que producen menos (Figura 14).

Esta información es muy valiosa para la investigación. Si un mayor número de ramas se asocia con una mejor respuesta a plagas y enfermedades (por ejemplo, mayor capacidad de compensación por daño, o mayor biomasa general), entonces las accesiones de los

grupos A y B serían de particular interés. Por el contrario, si un menor número de ramas fuera preferible para una respuesta favorable a ataque de plagas/enfermedades de la quinua, los grupos C y D serían relevantes.



**Figura 14. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable número de ramas**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Esta variabilidad en la ramificación es crucial para la plasticidad de la quinua y su capacidad de compensación ante el estrés causado por plagas o enfermedades. Al respecto Condori (2019), en su estudio, también identificó al número de ramas como un carácter con alta variabilidad, relevante para la capacidad productiva de la planta. La significancia del bloque, como observó Laura (2022) en sus investigaciones, es común en ensayos de campo y resalta la importancia de los diseños experimentales para controlar la variabilidad espacial en características vegetativas directamente influenciadas por micro-ambientes.

#### 4.2.4 Longitud de panoja

Los resultados del análisis de varianza realizado a la variable longitud de panoja se presentan en el Cuadro 14. Según estos análisis el factor accesión presento un p-valor (0.0123) menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , esto indica que existen diferencias estadísticas significativas en la longitud de la panoja entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua. La selección de las accesiones del estudio, se traduce en una

variabilidad observable en la longitud de sus panojas, no todas las accesiones producen panojas del mismo tamaño promedio. Esto es importante porque la longitud de la panoja puede estar directamente relacionada con el rendimiento del grano y también podría influir en la exposición o resistencia a ciertas plagas y enfermedades.

**Cuadro 14. Análisis de varianza para longitud de panoja en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	2222,22	246,92	3,44	0.0123 *
Bloque	2	163,89	81,95	1,14	0.3412 NS
Error	18	1291,64	71,76		
Total	29	3677,75			
C.V.		5,11 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

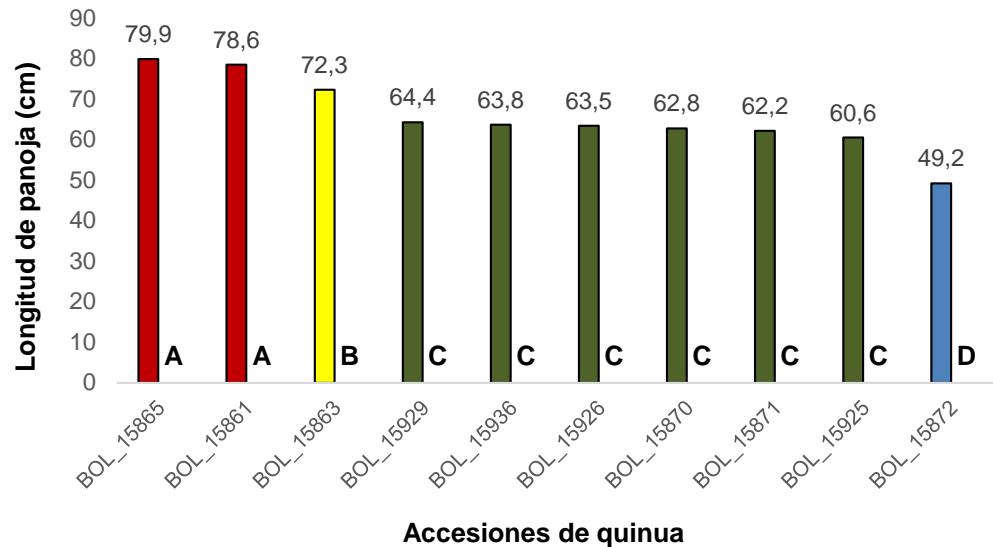
Asimismo, el ANVA indica que no hay diferencias significativas en la longitud de la panoja atribuibles al efecto de los bloques, es decir que, las condiciones entre los bloques experimentales no influyeron de manera significativa en la longitud de la panoja. Esto es positivo, debido a que muestra que el diseño experimental controló bien la variabilidad no asociada a las accesiones.

Se registró un coeficiente de variación de 5.11 % estadísticamente es menor al 30 % se encuentra en los rangos permitidos (Ochoa, 2016). Esto sugiere que las mediciones de longitud de panoja son altamente precisas y consistentes, con poca variabilidad experimental o error aleatorio. Debido a que el ANVA es significativo para el efecto de la Accesión, se realizó el análisis de los resultados con la prueba de comparación de medias de Duncan.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para longitud de panoja**

La prueba de medias Duncan (5%) mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio existen cuatro grupos conformados de similar longitud de panoja (Figura 15).

El Grupo A (Panojas más largas), está constituido por las accesiones BOL\_15865 con 79,93 cm y BOL\_15861 con 78,55 cm de largo de panoja. Estas dos accesiones producen las panojas más largas y no presentan diferencias significativas entre ellas.



**Figura 15. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable longitud de panoja**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El Grupo B (Panojas intermedias-altas), está conformado por la accesión BOL\_15863 con 72,34 cm. Asimismo, el Grupo C (Panojas intermedias-bajas), está constituido 6 accesiones BOL\_15929 con 64,36 cm, BOL\_15936 con 63,75 cm, BOL\_15926 con 63,47 cm, BOL\_15870 con 62,79 cm, BOL\_15871 con 62,19 cm y BOL\_15925 con 60,55 cm. Este grupo grande de seis accesiones produce panojas que son significativamente más cortas que las de los Grupos A y B.

Finalmente, el Grupo D (Panojas más cortas), está formada por la BOL\_15872 con 49,23 cm de largo de panoja. Esta accesión produce las panojas más cortas de todas las evaluadas. Es distinta de todos los demás grupos.

La prueba de Duncan ha clasificado tus 10 accesiones de quinua en cuatro grupos estadísticamente distintos en función de la longitud de sus panojas. Las accesiones BOL\_15865 y BOL\_15861 son las que destacan por producir las panojas más largas, mientras que BOL\_15872 produce las más cortas. Esta información es muy valiosa,

especialmente si la longitud de la panoja se correlaciona con el rendimiento del grano o con la resistencia a plagas/enfermedades. Si se busca un mayor rendimiento, las accesiones del Grupo A serían de gran interés.

La longitud de la panoja es un componente directo del rendimiento, ya que está correlacionada con el número de granos por panoja. Flores y Chambi (2020), en sus ensayos en Patacamaya, también encontraron variaciones importantes en la longitud de panoja entre las variedades de quinua evaluadas, indicando que es un rasgo sobre el cual se puede ejercer selección para mejorar el rendimiento.

#### **4.2.5 Diámetro de panoja**

El Cuadro 15 muestra los resultados del ANVA realizado al diámetro de panoja de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre accesiones, es decir que no hay evidencia suficiente para afirmar que las accesiones difieren en el diámetro promedio de sus panojas, según los resultados todas tienden a tener un diámetro de panoja similar.

De igual forma el ANVA estableció que no hay diferencias significativas en el diámetro de la panoja debido al efecto de los bloques, esto sugiere que la variabilidad entre tus bloques experimentales no influyó de manera significativa en esta característica.

**Cuadro 15. Análisis de varianza para diámetro de panoja en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor	
Accesión	9	514,95	57,22	2,24	0.0689	NS
Bloque	2	31,04	15,52	0,61	0.5548	NS
Error	18	458,78	24,48			
Total	29	1004,76				
C.V.		16,41 %				

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

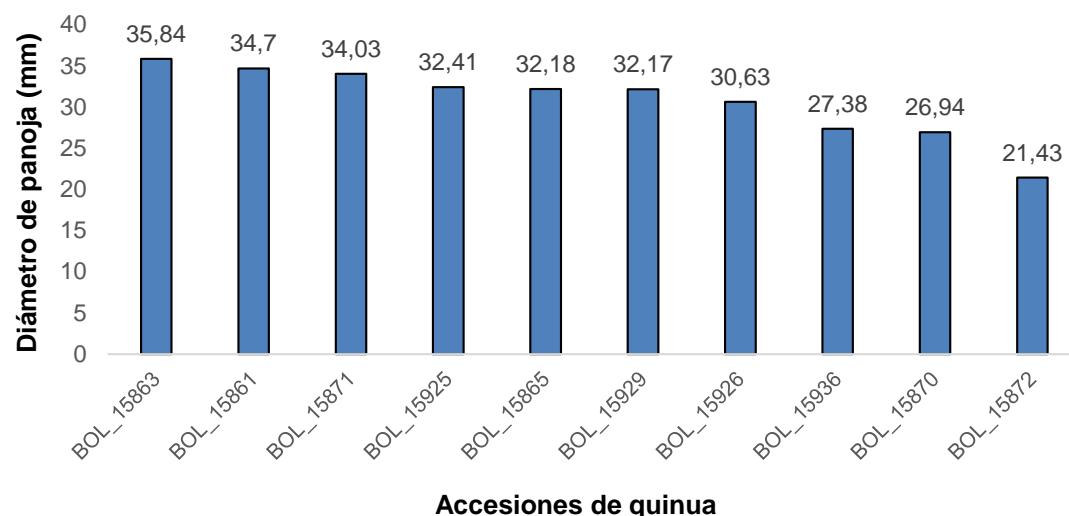
**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación para esta variable fue de 16,41% esto indica que los datos tomados en campo son confiables, está en los rangos permitidos desde el punto de vista estadístico para trabajos en campo (Ochoa, 2016).

Como el análisis de varianza ANVA no encontró diferencias significativas para esta variable no es necesario, ni estadísticamente apropiado, realizar una prueba de comparación de medias de Duncan para el diámetro de panoja. La conclusión se limita a que no hay evidencia para afirmar que las accesiones difieren en esta característica.

El diámetro de panoja en las accesiones de quinua varió entre 21,43 a 35,84 mm (Figura 16). Se advierte que existen diferencias numéricas en los diámetros de panoja, pero son imperceptibles a simple vista, este rasgo es tiende a ser homogéneo o más influenciado por el ambiente que por el genotipo en las condiciones de Kallutaca.

A diferencia de la longitud, que suele ser un rasgo más discriminante en quinua, el diámetro de la panoja puede ser más susceptible a fluctuaciones ambientales que enmascaren diferencias genéticas.



**Figura 16. Diferencias numéricas en el diámetro de panoja de las accesiones en estudio**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Estos resultados son similares a los reportados por Mamani et al. (2018), quienes documentaron variabilidad en caracteres de quinua, indicando que no siempre se encuentran significancia para todos los componentes de la panoja, como se encontró en el presente estudio.

#### **4.2.6 Total de hojas**

Los resultados del análisis de varianza para la variable total de hojas se presentan en el Cuadro 16. De acuerdo al p-valor (0.0215) que es menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , se establece que existen diferencias estadísticas significativas en el número total de hojas entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua evaluadas. Esto significa que la variación genética entre las accesiones se refleja en la cantidad de hojas que producen, es decir, las accesiones en estudio no desarrollan el mismo número de hojas en promedio.

El p-valor para el factor Bloque (0.5848) es mayor que  $p=0.05$ , en consecuencia, no hay diferencias significativas en el número total de hojas debido al efecto de los bloques. Las posibles variaciones en las condiciones entre los bloques experimentales no influyeron de manera significativa en el desarrollo del número de hojas. El diseño de bloques utilizado fue efectivo para controlar esta fuente de variabilidad no asociada a las accesiones.

**Cuadro 16. Análisis de varianza para total de hojas en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	708550,96	78727,88	3,03	0.0215 *
Bloque	2	28686,46	14343,24	0,55	0.5848 NS
Error	18	467077,53	25948,75		
Total	29	1204314,97			
C.V.		50,33 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

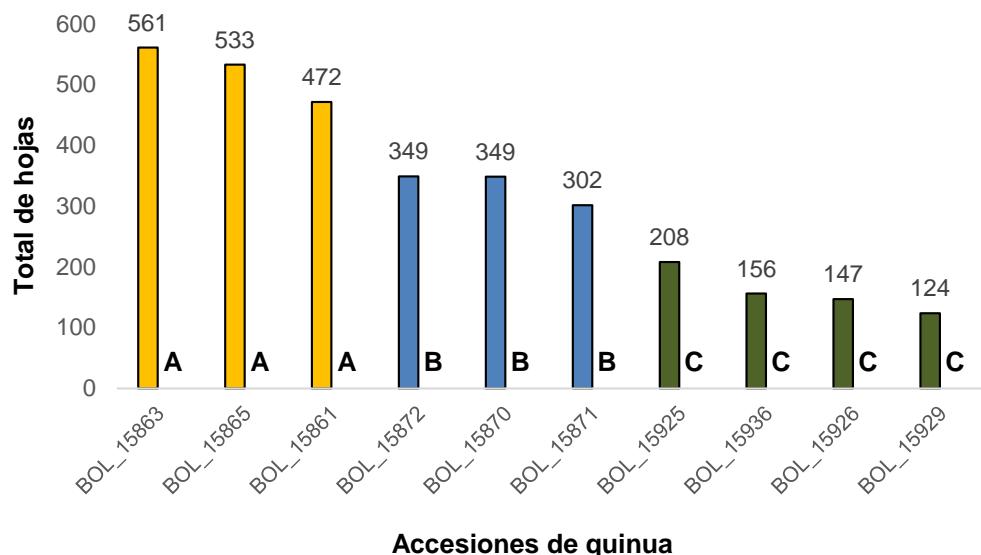
Asimismo, el análisis de varianza encontró un elevado coeficiente de variación 50.33 % que es el reflejo de una considerable variabilidad experimental en las mediciones del total de

hojas. Esto podría deberse a factores como heterogeneidad del suelo, errores de muestreo, o gran variabilidad inherente a la característica biológica en sí.

Aunque se detectaron diferencias significativas entre accesiones el alto coeficiente de variación indica que hay mucha dispersión en los datos, lo que hace que las diferencias sean más difíciles de detectar o que requieran un mayor tamaño de muestra para obtener mayor precisión. Dado que el efecto de la accesión es significativo, se procedió con la prueba de comparación de medias de Duncan para el Total de Hojas. Esta prueba ayudó a identificar cuáles accesiones específicas son significativamente diferentes en su número de hojas, aspecto relevante para la investigación sobre la respuesta a plagas y enfermedades, ya que el área foliar puede influir en la fotosíntesis, la atracción de plagas o la capacidad de recuperación de la planta.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para total de hojas**

La prueba de Duncan ha clasificado las 10 accesiones de quinua en tres grupos estadísticamente distintos en función de su número total de hojas. Las accesiones BOL\_15863, BOL\_15865 y BOL\_15861 son las que destacan por producir la mayor cantidad de hojas (de 471 a 561 hojas), mientras que BOL\_15925, BOL\_15936, BOL\_15926 y BOL\_15929 son las que producen menos (de 124 a 208 hojas) (Figura 17).



**Figura 17. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable total de hojas**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Esta información es importante para la investigación, un mayor número de hojas generalmente se asocia con una mayor área foliar, lo cual es fundamental para la fotosíntesis y, por ende, para la producción de biomasa y rendimiento. También podría influir en la resistencia a plagas y enfermedades, ya sea por una mayor superficie para el ataque o, por el contrario, una mayor capacidad de compensación.

A pesar de la alta variabilidad en el número de hojas, la detección de diferencias significativas subraya la capacidad de las accesiones para diferenciarse en este rasgo. Un alto número de hojas es crucial para la fotosíntesis y la producción de biomasa. Condori (2019) también encontró variabilidad en el área foliar y el número de hojas en sus genotipos, lo que es coherente con el potencial genético para el desarrollo vegetativo. El alto coeficiente de variación podría reflejar la dificultad en la medición precisa de esta variable en campo o una gran plasticidad fenotípica de las accesiones en estudio.

#### **4.2.7 Severidad**

Según el Cuadro 17, el p-valor (0.0001) para accesión, es mucho menor que el nivel de significancia común de  $p=0.05$ , esto significa que existen diferencias altamente significativas en la severidad de la presencia de mildiu entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua. Este es un hallazgo muy importante, debido a que la investigación se centra en la respuesta a plagas y enfermedades de las accesiones de quinua. Esto indica que las accesiones no reaccionan de la misma manera ante el mildiu, lo que te permitirá identificar las que tienen mayor o menor resistencia/tolerancia a esta enfermedad.

**Cuadro 17. Análisis de varianza para severidad en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	26702,49	2966,94	19,36	0.0001 **
Bloque	2	389,42	194,71	1,27	0.3046 NS
Error	18	2758,02	153,22		
Total	29	29849,92			
C.V.		23,61 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El p-valor para el factor Bloque (0.3046) es mayor que  $p=0.05$ , en consecuencia, no hay diferencias significativas en la severidad del mildiu debido al efecto de los bloques. Aunque la severidad del mildiu puede verse influenciada por factores ambientales, en el experimento, la variabilidad entre los bloques no fue lo suficientemente grande como para afectar significativamente esta variable. Esto es positivo, ya que indica que el diseño en bloques controló adecuadamente la heterogeneidad espacial que podría haber enmascarado el efecto de las accesiones.

El coeficiente de variación para esta variable fue 23.61 % que es considerado moderado a alto para experimentos de campo, especialmente para variables relacionadas con enfermedades. Este valor sugiere que hay una variabilidad considerable en las mediciones de severidad del mildiu que no se explica por las accesiones o los bloques. A pesar de esta variabilidad, la alta significancia del factor accesión indica que el efecto de las accesiones es lo suficientemente fuerte como para ser detectado claramente.

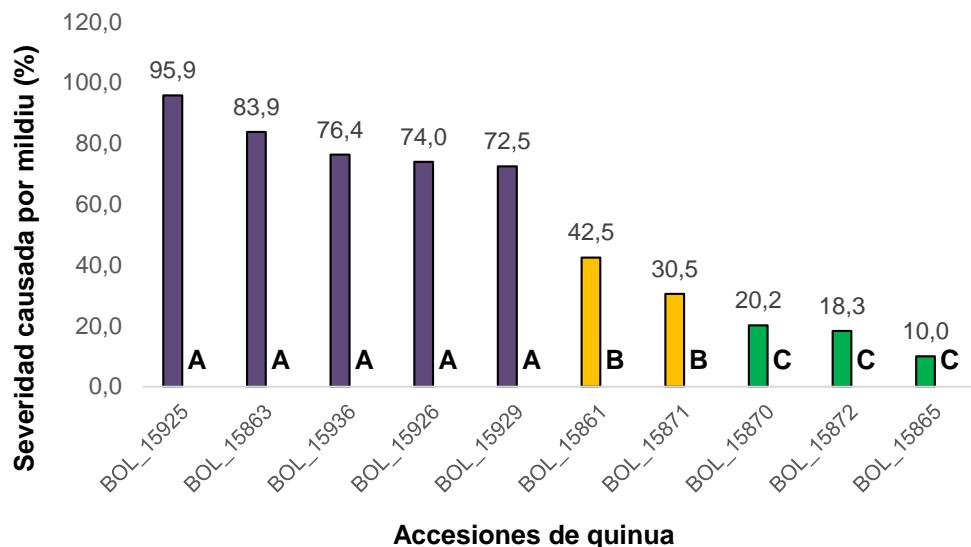
Dado que el efecto de la Accesión es altamente significativo, es indispensable analizar los resultados de una prueba de comparación de medias de Duncan para esta variable. Esto permitió clasificar las accesiones de acuerdo con su nivel de severidad del mildiu y destacar las que muestran una mejor respuesta, que es el objetivo central de este estudio.

### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para severidad**

La prueba de medias Duncan mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio existen tres grupos con diferente Nivel de severidad (Figura 18). El Grupo A (Mayor Severidad - Menor Resistencia/Mayor Susceptibilidad) está conformado por las accesiones BOL\_15925, BOL\_15863, BOL\_15936, BOL\_15926, y BOL\_15929 con porcentajes de afectación comprendidos entre 72,53 % a 95,9 %. Estas cinco accesiones muestran el mayor porcentaje de afectación por mildiu y no presentan diferencias significativas entre sí. Esto sugiere que son las más susceptibles o menos resistentes a la enfermedad de mildiu en las condiciones del experimento.

El Grupo B (Severidad Intermedia), está conformado por las accesiones BOL\_15861 con un 42,52 % de afectación y BOL\_15871 con un 30,52 % de afectación. Estas dos accesiones tienen un porcentaje de afectación significativamente menor que las del Grupo A, pero significativamente mayor que las del Grupo C.

Finalmente, en el Grupo C (Menor Severidad - Mayor Resistencia/Tolerancia) se encuentran las accesiones BOL\_15870, BOL\_15872 y BOL\_15865, con porcentajes de afectación de 9,98 % a 20,23% Estas tres accesiones presentan el menor porcentaje de afectación por mildiu y son significativamente diferentes de las accesiones de los Grupos A y B. Estas son las accesiones que muestran la mejor respuesta (mayor resistencia o tolerancia) a la presencia del mildiu.



**Figura 18. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable severidad del mildiu de la quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Los resultados del análisis de varianza y la prueba de medias de Duncan permitió identificar accesiones con alta resistencia/tolerancia al mildiu de la quinua (Grupo C: BOL\_15870, BOL\_15872 y especialmente BOL\_15865 con la menor afectación) y aquellas con alta susceptibilidad (Grupo A). Este es un resultado fundamental que cumple con el objetivo de seleccionar accesiones por su buena respuesta a plagas y enfermedades. Esta información te permitirá focalizar los esfuerzos en las accesiones más prometedoras para futuras investigaciones, programas de mejoramiento o para recomendarlas para cultivo en zonas con alta presión de mildiu.

Estos resultados son importantes para la seguridad alimentaria en el Altiplano, así como lo menciona Ajata (2018), quien investigó la severidad del mildiu en el altiplano de La Paz, reportó que esta enfermedad es una de las principales limitantes, causando altos

porcentajes de daño en variedades susceptibles. La identificación de estas accesiones tolerantes del presente estudio es fundamental y concuerda con la necesidad de encontrar materiales que, como señaló Vega y Nina (2016), demuestren distintos grados de respuesta varietal a *Peronospora variabilis* en la meseta interandina.

#### **4.2.8 Incidencia**

De acuerdo a los resultados del ANVA el p-valor (0.0405) para accesión es menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , por tanto, existen diferencias estadísticas significativas en la incidencia del mildiu entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua en estudio (Cuadro 18). Este resultado sugiere que las diferentes accesiones tienen distinta probabilidad de ser afectadas por el mildiu. Esto complementa la variable de severidad, mostrando no solo cuánto se ven afectadas, sino también si son afectadas en absoluto.

El p-valor para el factor Bloque (0.530) es mayor que  $p=0.05$ , en consecuencia, no hay diferencias significativas en la incidencia del mildiu debido al efecto de los bloques, las variaciones en las condiciones entre los bloques experimentales no influyeron significativamente en la incidencia de la enfermedad, debido a que el diseño en bloques fue efectivo para controlar la heterogeneidad del sitio.

**Cuadro 18. Análisis de varianza para incidencia en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	30453,76	3383,75	2,6	0.0405 *
Bloque	2	1496,98	748,49	0,57	0.530 NS
Error	18	23449,92	1302,77		
Total	29	55400,66			
C.V.		42,89 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

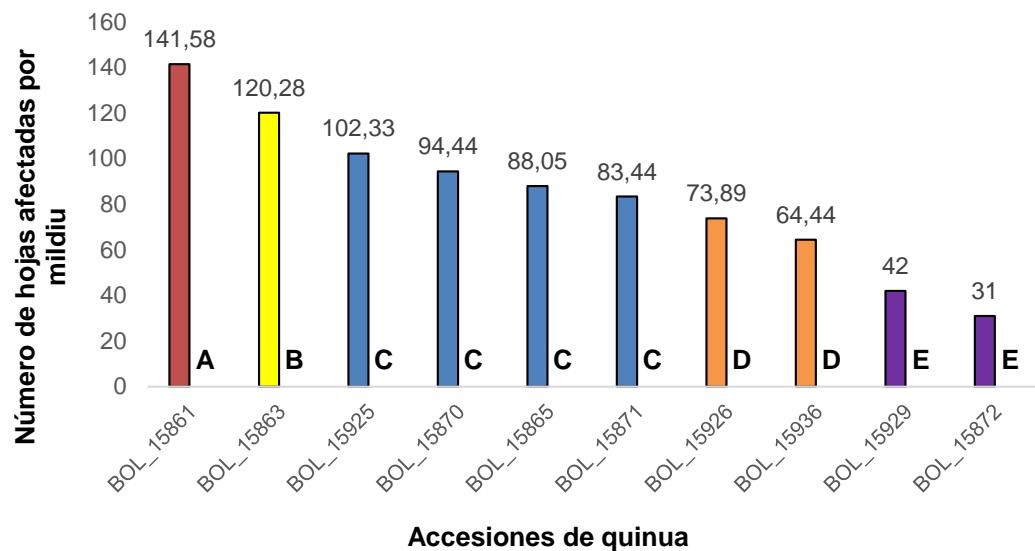
El coeficiente de variación fue 42.89 % este valor considera alto, sugiere una considerable variabilidad experimental en las mediciones de la incidencia del mildiu. Aunque se detectaron diferencias significativas entre accesiones, este alto coeficiente de variación implica que los datos son bastante dispersos. Esto podría requerir un mayor cuidado en la

interpretación de la magnitud de las diferencias y en futuras investigaciones, considerar formas de reducir esta variabilidad. Dado que el efecto de la accesión es significativo, se procedió con la prueba de comparación de medias Duncan para determinar cuáles accesiones específicas son significativamente diferentes en su nivel de incidencia y seleccionar aquellas con la menor incidencia al mildiu.

### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para incidencia**

La prueba de Duncan ha clasificado las 10 accesiones de quinua en cinco grupos estadísticamente distintos en función de la incidencia del mildiu en las hojas (Figura 19). El Grupo A (Mayor Incidencia) está constituido por la accesión BOL\_15861 con 141,58 hojas afectadas por mildiu. Esta accesión presenta la mayor incidencia de mildiu y es significativamente diferente de todas las demás, es la más susceptible a la enfermedad.

La accesión BOL\_15863 forma el Grupo B con 120,28 hojas afectadas por mildiu (Incidencia alta) y. tiene una incidencia significativamente menor que BOL\_15861, pero es significativamente mayor que las de los grupos C, D y E.



**Figura 19. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable incidencia del mildiu de la quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El Grupo C (Incidencia Media-Alta) está conformada por las accesiones BOL\_15925, BOL\_15870, BOL\_15865 y BOL\_15871 que tuvieron de 83 a 102,33 hojas afectadas por mildiu.

Asimismo, el Grupo D (Incidencia Media-Baja) formada por las accesiones BOL\_15926 y BOL\_15936 con 74 y 64 hojas afectadas por mildiu, respectivamente. Estas dos accesiones muestran una incidencia significativamente menor que los grupos A, B y C,

Finalmente, el Grupo E (Menor Incidencia), está constituido por las accesiones BOL\_15929 con 42 hojas enfermas y BOL\_15872 con 31 hojas afectadas por mildiu. Estas dos accesiones presentan la menor incidencia de mildiu y son significativamente diferentes de todas las accesiones de los grupos A, B, C y D. Estas son las accesiones que muestran la mejor respuesta en términos de menor probabilidad de ser afectadas por el mildiu.

La prueba de Duncan permitió identificar las accesiones más propensas a ser afectadas por la enfermedad y, lo que es más importante, aquellas que demuestran una mayor resistencia a la infección (menor incidencia). Las accesiones BOL\_15929 y BOL\_15872 son las más prometedoras desde este punto de vista.

Combinando esta información con los resultados de severidad del mildiu, donde BOL\_15870, BOL\_15872 y BOL\_15865 mostraron la menor severidad, se puede perfilar investigaciones complementarias con estas accesiones que mostraron resistencia más completa, tanto para evitar la infección como de mitigar sus efectos una vez infectadas.

La incidencia mide la proporción de plantas afectadas, mientras que la severidad mide el grado de afectación en las plantas. Ambas variables son complementarias para entender la respuesta de la planta a la enfermedad. Los resultados de esta investigación son similares a los hallazgos de Ajata (2018), que se centró tanto en la incidencia como en la severidad del mildiu, también destacó que los diferentes genotipos de quinua respondían de manera distinta en la propagación inicial de la enfermedad.

#### **4.2.9 Diámetro de grano**

Los resultados del análisis de varianza para la variable diámetro de grano se presentan en el Cuadro 19. Según estos resultados el p-valor para accesión (0.0001) es mucho menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ . Esto significa que existen diferencias altamente significativas en el diámetro del grano entre al menos algunas de las 10 accesiones de

quinua en estudio. Este es un hallazgo importante, ya que el tamaño del grano es una característica agronómica clave, directamente relacionada con el rendimiento y la calidad comercial de la quinua. Indica que hay una buena variabilidad en las accesiones para este rasgo.

**Cuadro 19. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	0,31	0,04	8,43	0.0001 **
Bloque	2	0,03	0,02	4	0.0365 *
Error	18	0,07	0,01		
Total	29	0,42			
C.V.	3,40 %				

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Asimismo, el p-valor para el factor Bloque (0.0365) es menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , esto indica que existen diferencias significativas en el diámetro del grano debido al efecto de los bloques. Este resultado muestra que las condiciones o la variabilidad dentro de los bloques experimentales sí influyeron en el diámetro de los granos. Esto subraya la importancia de haber utilizado un diseño en bloques para controlar y cuantificar esta variabilidad espacial.

El coeficiente de variación de 3.40 % indica una excelente precisión experimental en las mediciones del diámetro del grano y estadísticamente es menor al 30% por tanto, se encuentra en los rangos permitidos para este tipo de investigación (Ochoa, 2016).

Para identificar cuáles accesiones específicas producen granos de mayor o menor diámetro, se procedió con la comparación de medias de Duncan, este análisis es fundamental para la selección de accesiones de quinua, en función a su diámetro de grano.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para diámetro de grano**

La prueba de Duncan ha clasificado las 10 accesiones de quinua en estudio, en cinco grupos estadísticamente distintos en función de su diámetro de grano. (Figura 20).

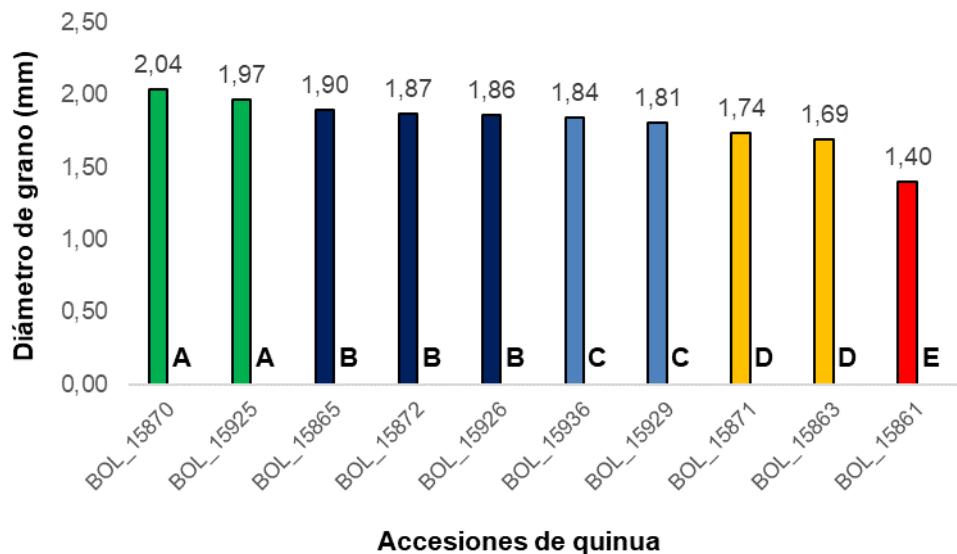
El primer grupo (Grupo A) está conformado por las accesiones BOL\_15870, BOL\_15925 y BOL\_15865 que tuvieron granos grandes con valores de 2.04 mm y 1.9mm, respectivamente.

El segundo grupo (Grupo B), está conformado por las accesiones BOL\_15865, BOL\_15872 y BOL\_15926, con granos de 1.86 a 1.9 mm de diámetro.

Las accesiones BOL\_15936 con 1,84 mm y BOL\_15929 con 1,81 mm, conforman el tercer grupo (Grupo C). Estas dos accesiones presentan un diámetro de grano significativamente menor que los Grupos A y B.

El cuarto grupo (Grupo D), lo conforman las accesiones BOL\_15871 (tra-5) con 1,74 mm y BOL\_15863 con 1,69 mm de diámetro de grano. Finalmente, el quinto grupo (Grupo E) lo constituye la accesión BOL\_15861 con 1,398 mm. Esta accesión produce el menor diámetro de grano y es significativamente diferente de todas las demás accesiones.

Las accesiones BOL\_15870 y BOL\_15925 se destacan por producir los granos de mayor tamaño, mientras que BOL\_15861 produce los granos significativamente más pequeños.



**Figura 20. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Esta información tiene mucha importancia agronómica, ya que el diámetro del grano es un componente clave del rendimiento y la calidad comercial de la quinua. Las accesiones con granos más grandes suelen ser preferidas en el mercado. Al combinar estos resultados con la información sobre la respuesta a plagas y enfermedades, es posible identificar las accesiones que no solo son más resistentes, sino que también ofrecen características de rendimiento deseables.

Este hallazgo es consistente con la literatura que reporta una considerable diversidad en el tamaño del grano de quinua. Mamani et al. (2018), en su caracterización de germoplasma, también encontraron una amplia variación en el diámetro de grano, lo que facilita la selección de materiales con características de mercado deseables. La alta precisión en la medición para esta variable fortalece la validez de estas diferencias genéticas.

#### **4.2.10 Peso de mil granos**

Los resultados de análisis de varianza presentados en el Cuadro 20, muestran que el p-valor (0.0014) para accesión, es mucho menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , esto significa que existen diferencias altamente significativas en el peso de mil granos entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua multiplicadas en las condiciones de la Estación Experimental Kallutaca. Este es un hallazgo importante, debido a que el peso de mil granos es una medida directa del tamaño y la densidad del grano, por lo tanto, es un componente importante del rendimiento y la calidad comercial.

**Cuadro 20. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	3,58	0,39	5,27	0.0014 **
Bloque	2	1,19	0,59	7,92	0.0034 **
Error	18	1,36	0,07		
Total	29	6,14			
C.V.		11,02%			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El p-valor para el factor Bloque (0.0034) también es altamente significativo, que indica que existen diferencias significativas en el peso de mil granos debido al efecto de los bloques, en otras palabras, las condiciones o la variabilidad dentro de los bloques experimentales sí influyeron en el peso de los granos.

El coeficiente de variación para esta variable fue 11.02%, esto indica que los datos tomados en campo son confiables y están en los rangos permitidos estadísticamente (Ochoa, 2016). La variabilidad no atribuida a las accesiones o los bloques (el error experimental) es razonable, lo que contribuye a la confiabilidad de los resultados significativos que se encontraron. Dado que el efecto de la accesión es altamente significativo, se procedió con la prueba de comparación de medias de Duncan con el propósito de identificar que accesiones producen granos más pesados o más ligeros, y cuáles son similares entre sí.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para peso de mil granos**

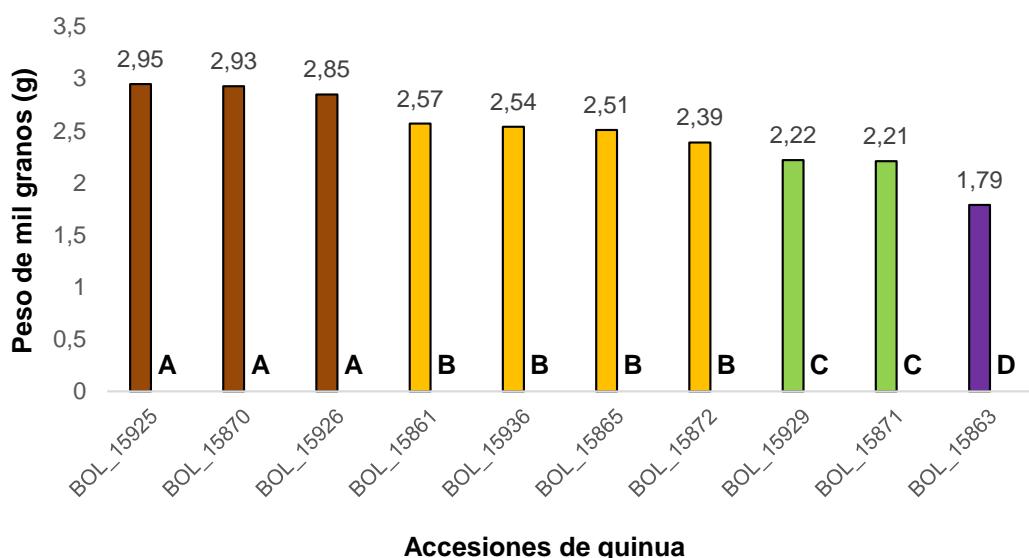
La prueba de medias Duncan mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio existen cuatro grupos con similar peso de mil granos (Figura 21). El Grupo A (Mayor Peso de Mil Granos) está conformada por las accesiones BOL\_15925 con 2,95 g, BOL\_15870 con 2,93 g y BOL\_15926 con 2,85 g. Estas tres accesiones presentan el mayor peso de mil granos y no muestran diferencias significativas entre ellas. Son las que tienen los granos más pesados y, por lo tanto, son muy prometedoras para el rendimiento.

El Grupo B (Peso de Mil Granos Intermedio-Alto), está constituido por las accesiones BOL\_15861, BOL\_15936, BOL\_15865 y BOL\_15872 con pesos de mil granos comprendidos entre 2,39 y 2,57 gramos. Este grupo de cuatro accesiones tiene un peso de mil granos significativamente menor que las del Grupo A, y siguen siendo buenas opciones en términos de tamaño/densidad de grano.

Las accesiones BOL\_15929 (tra-9) con 2,22 g y BOL\_15871 con 2,21 g, conforman el Grupo C (Peso de Mil Granos Intermedio-Bajo). Estas dos accesiones presentan un peso de mil granos menor que los Grupos A y B.

El Grupo D (Menor Peso de Mil Granos) está constituido la accesión BOL\_15863 con 1,79 gramos. Esta accesión produce el menor peso de mil granos y es significativamente diferente de todas las demás accesiones.

De acuerdo a los resultados de la Figura 21, las accesiones BOL\_15925, BOL\_15870 y BOL\_15926 se destacan por producir los granos más pesados, lo que sugiere un mayor rendimiento potencial. En contraste, BOL\_15863 presenta el menor peso de mil granos. Esta es una variable clave para el rendimiento comercial. Combinando este resultado con los hallazgos sobre la resistencia a enfermedades (*mildiu*), se puede identificar accesiones que no solo tienen una buena respuesta a plagas y enfermedades, sino que también ofrecen un buen potencial de rendimiento.



**Figura 21. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El peso de mil granos es un indicador directo de la biomasa de cada grano y un componente fundamental del rendimiento final. Al respecto Quispe (2017), en su investigación sobre componentes de rendimiento, enfatizó el peso de mil granos como uno de los factores más importantes y estables que contribuyen directamente al rendimiento de la quinua en el altiplano. La significancia del bloque aquí, como en el número de ramas y diámetro de grano, resalta la sensibilidad de esta variable a las variaciones microambientales controladas por el diseño experimental.

#### 4.2.11 Rendimiento

El Cuadro 21, muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento. Los resultados muestran que el p-valor para Accesión (0.0001) es mucho menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$ , por consiguiente, existen diferencias estadísticas altamente significativas en el rendimiento de grano por hectárea entre al menos algunas de las 10 accesiones de quinua.

Estos resultados indican que hay accesiones que son inherentemente más productivas que otras bajo las condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental de Kallutaca. La selección de accesiones por su buena respuesta a plagas y enfermedades se ve validada también en su desempeño productivo.

Asimismo, el p-valor para el factor Bloque (0.6595) es mucho mayor que  $p=0.05$ . Esto indica que no hay diferencias significativas en el rendimiento debido al efecto de los bloques. Es decir, la variabilidad de las condiciones entre los bloques experimentales no influyó de manera significativa en el rendimiento de la quinua. El diseño de bloques controló exitosamente la heterogeneidad del sitio de la investigación.

El coeficiente de variación para la variable rendimiento fue de 25.35 % que se considera moderado a alto para experimentos de campo, sin embargo, se encuentra dentro del rango permitidos para investigaciones de campo (Ochoa, 2016).

**Cuadro 21. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones con buena tolerancia a factores bióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	20417145.55	2268571.73	10,44	0.0001 **
Bloque	2	185158.79	92579.39	0,43	0.6595 NS
Error	18	3910953.35	217275.19		
Total	29	24513257.69			
C.V.		25,35 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

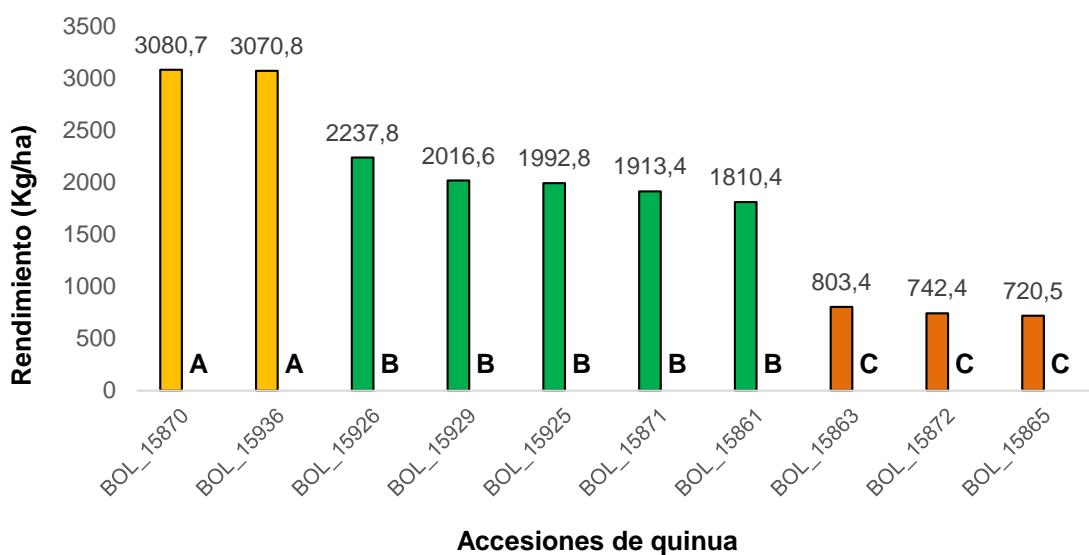
**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación encontrado sugiere que hay una variabilidad considerable en las mediciones de rendimiento que no se explica por las accesiones ni por los bloques. Para completar los análisis de esta variable se procedió con la comparación de medias con la Prueba de Duncan al 5% Esto te permitió identificar que accesiones específicas son las más productivas y cuáles se agrupan en relación de su rendimiento.

### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para rendimiento**

La prueba de Duncan ha clasificado las 10 accesiones de quinua en estudio, en tres grupos estadísticamente distintos en función de su rendimiento. Las diferencias observadas en el rendimiento entre las medias de las accesiones son reales y no se deben al azar, debido a la alta significancia estadística del factor accesión.

Según la Figura 22, el Grupo A (Mayor Rendimiento), está conformado por las accesiones BOL\_15870 con 3080,7 Kg ha<sup>-1</sup> y BOL\_15936 con 3070,8 Kg ha<sup>-1</sup>. Estas dos accesiones presentan el mayor rendimiento y no muestran diferencias significativas entre ellas. Son las más productivas bajo las condiciones de tu experimento.



**Figura 22. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

La prueba de medias Duncan mostró que dentro de las accesiones de quinua en estudio existen seis grupos con diferente rendimiento de grano (Figura 9). El primer grupo está

conformado por las accesiones BOL\_15870 y BOL\_15936 que registraron los mayores rendimientos superiores a los  $3070.8 \text{ kg ha}^{-1}$ . El segundo grupo está conformado por las accesiones que obtuvieron rendimientos entre  $1810.4$  a  $2237.8 \text{ kg ha}^{-1}$ . Y el tercer grupo obtuvieron rendimientos entre  $720.5 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $803.4 \text{ kg ha}^{-1}$ .

El Grupo B (Rendimiento Intermedio), está constituido por las accesiones: BOL\_15926, BOL\_15929, BOL\_15925, BOL\_15871 y BOL\_15861, con rendimientos promedio que oscilan entre  $1810.4 \text{ Kg ha}^{-1}$  y  $2237.8 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Este grupo de cinco accesiones tiene un rendimiento significativamente menor que las del Grupo A, pero no hay diferencias significativas entre ellas y siguen siendo opciones con un buen potencial de rendimiento.

Las accesiones BOL\_15863, BOL\_15872 y BOL\_15865 conforman el Grupo C y tuvieron los rendimientos más bajos ( $720.5$  a  $803.4 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), son significativamente diferentes de todas las accesiones de los Grupos A y B.

Combinando estos hallazgos de rendimiento con los de la severidad e incidencia del mildiu, se puede construir un perfil completo de cada accesión y buscar la utilidad práctica. Las accesiones del Grupo A con buenos rendimientos pueden tener también buena resistencia/tolerancia al mildiu.

El rendimiento de grano es el indicador agronómico por excelencia, y los resultados encontrados son importantes. Las accesiones BOL\_15870 ( $3080.7 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) y BOL\_15936 ( $3070.8 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) mostraron los rendimientos más altos. Estos rendimientos son muy competitivos para la región, y son similares a los reportados por Flores y Chambi (2020) quienes reportaron rendimientos que oscilan entre  $1500$  y  $2500 \text{ Kg ha}^{-1}$  en Patacamaya. De manera similar, Miranda (2021), en sus evaluaciones de líneas promisorias, obtuvo rendimientos promedio de  $2000$  a  $2800 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Las accesiones más destacadas del presente estudio superan estos rangos, lo que las convierte en candidatas de élite para la producción.

#### **4.3. Resultados del grupo de accesiones con tolerancia a bajas temperaturas (Factores abióticos)**

##### **4.3.1 Altura de planta**

Los resultados de análisis de varianza presentados en el Cuadro 22, indican que el p-valor para las accesiones es menor que el nivel de significancia común de  $p=0.05$ . Esto significa

que hay una diferencia estadísticamente significativa en la altura de planta entre al menos dos de las 10 accesiones de quinua. En cambio, el p-valor para los bloques es mayor que  $p=0.05$  ( $0.4649 > 0.05$ ), esto significa que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la altura de planta entre los bloques.

**Cuadro 22. Análisis de varianza para altura de planta en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	3784,64	420,52	2,83	0.0289 *
Bloque	2	237,76	118,88	0,8	0.4649 NS
Error	18	2676,58	148,69		
Total	29	6698,99			
C.V.		10,40 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación fue 10.40 % y es un valor bajo para experimentos de campo y se encuentra en los rangos permitidos (Ochoa, 2016), lo que sugiere una buena precisión experimental en la medición de la altura de planta e indica que los datos son consistentes y que el error experimental es relativamente pequeño en comparación con la media.

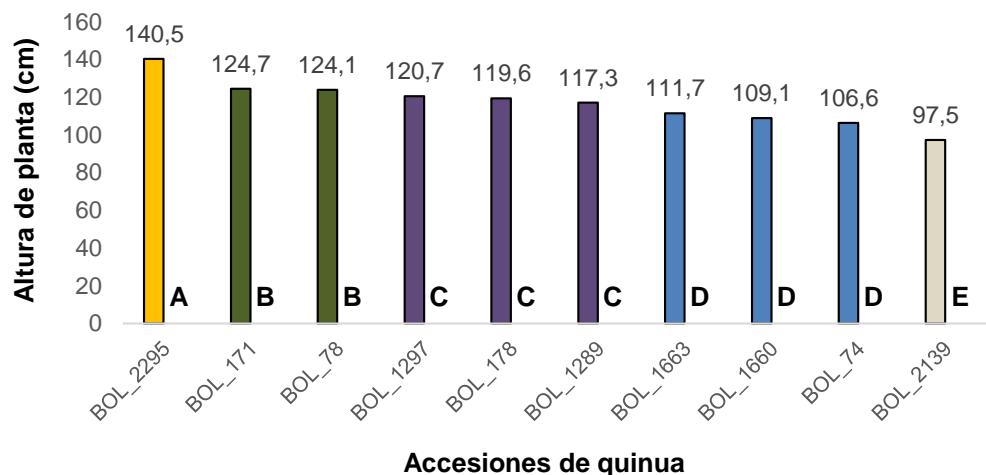
Los resultados del análisis de varianza indican que algunas accesiones son más altas o más bajas que otras bajo las condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca y de la tolerancia a bajas temperaturas de las accesiones. Para completar los análisis de esta variable se procedió con la comparación de medias con la Prueba de Duncan al 5% para identificar que accesiones específicas son las más altas o bajas y como se agrupan en relación de su altura.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para altura de planta**

Según la Figura 23, la prueba de Duncan ha agrupado las medias de altura de planta de las 10 accesiones en 5 grupos estadísticamente diferentes, representados por las letras A, B, C, D y E.

El Grupo A (Accesión más alta) corresponde a la accesión BOL\_2295 con una media de 140,45 cm. Esta accesión es significativamente la más alta de todas.

El Grupo B está conformado por las accesiones BOL\_171 con 124,65 cm y BOL\_78 con 124,13 cm de altura. Estas dos accesiones son significativamente más bajas que BOL\_2295 (Grupo A), pero significativamente más altas que las accesiones de los Grupos C, D y E.



**Figura 23. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable altura de planta**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El Grupo C, está constituido por las BOL\_1297, BOL\_178 y BOL\_1289, con alturas de planta comprendidas entre 117,25 cm y 120,66 cm.

Las accesiones BOL\_1663 con 111,66 cm, BOL\_1660 con 109,06 cm y BOL\_74 con 106,56 cm conforman el Grupo D, estas tres accesiones son más bajas que las accesiones de los Grupos C, B y A.

El Grupo E (Accesión más baja) corresponde a la accesión BOL\_2139 con 97,45 cm. Esta accesión es significativamente la más baja de todas.

Los resultados de esta investigación son coherentes con la variabilidad genética esperada en la quinua, un cultivo con una amplia diversidad morfológica. La altura de planta es un rasgo importante que puede influir en la biomasa total y la susceptibilidad al acame.

Investigaciones previas en el altiplano boliviano, como la de Bonifacio et al. (2013), también han reportado diferencias significativas en la altura de planta entre diversas variedades de quinua, atribuyéndolas a la diversidad genética y la interacción genotipo-ambiente. Asimismo, Aguilar (2016), en un estudio sobre accesiones de quinua en la región de Puno, Perú (cercana al Lago Titicaca), observó rangos de altura de planta variables entre genotipos, lo que subraya la importancia de seleccionar materiales adaptados a fines específicos, ya sea para grano o para forraje. La altura media general de las accesiones en este estudio se encuentra dentro del rango reportado para quinuas altiplánicas, que suelen ser de porte intermedio a alto en comparación con ecotipos de valles interandinos (Jacobsen et al., 2017).

#### **4.3.2 Diámetro de tallo**

El Cuadro 23 muestra los resultados del ANVA realizado al diámetro de tallo de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Dado que el p-valor para las accesiones es mucho mayor que el nivel de significancia de  $p=0.05$  ( $0.9570 > 0.05$ ), no existen diferencias estadísticas significativa en el diámetro de tallo entre las 10 accesiones de quinua. Esto significa que, las accesiones se comportaron de manera similar en cuanto al diámetro de tallo.

**Cuadro 23. Análisis de varianza para diámetro de tallo en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	16,15	1,79	0,32	0.9570 NS
Bloque	2	9,59	4,79	0,86	0.4405 NS
Error	18	100,57	5,58		
Total	29	126,31			
C.V.		16,31 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Similar al caso de las accesiones, los bloques presentan un p-valor mayor que  $p=0.05$  ( $0.4405 > 0.05$ ), esto indica que no hay diferencias estadísticas significativas en el diámetro

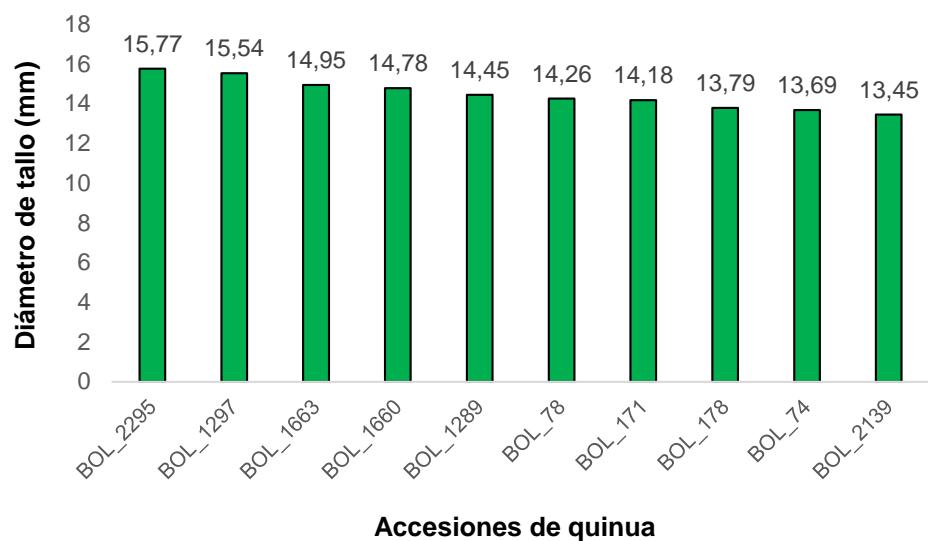
de tallo entre los bloques experimentales. Esto sugiere que la variabilidad ambiental entre los bloques no influyó significativamente en el diámetro del tallo.

El coeficiente de variación para esta variable fue moderado (16.31 %), esto indica que hay una variabilidad experimental razonable en las mediciones del diámetro de tallo, en otras palabras, los datos tomados en campo son confiables y están en los rangos permitidos desde el punto de vista estadístico (Ochoa, 2016).

De acuerdo a los resultados del Cuadro 23, ninguna accesión se destacó significativamente por tener un tallo más grueso o más delgado que las demás en las condiciones de tu estudio de tolerancia a bajas temperaturas.

Debido a que el ANVA no mostró diferencias significativas entre las accesiones para el diámetro de tallo, no es necesario ni apropiado, realizar ni interpretar una prueba de medias como Duncan para esta variable.

Como se mencionó anteriormente no existe diferencias estadísticas significativas en el diámetro de tallo de las accesiones en estudio, sin embargo, si existe diferencias numéricas como se muestra en la Figura 24. El diámetro de tallo varió de 13.45 a 15,77 milímetros, diferencias poco perceptibles a simple vista.



**Figura 24. Diferencias numéricas en el diámetro de tallo de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Estos resultados sugieren una homogeneidad relativa en esta característica o una menor sensibilidad a las diferencias genéticas bajo las condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca. Si bien un mayor diámetro de tallo suele asociarse con una mayor resistencia al acame y soporte de la panícula, en este caso, todas las accesiones mostraron un comportamiento similar. Rojas (2018), en su tesis sobre el comportamiento de variedades de quinua en el altiplano paceño, también encontró que algunas variables morfológicas, como el diámetro de tallo, pueden ser menos discriminatorias entre genotipos que otras, dependiendo de la uniformidad del ambiente de crecimiento. Es posible que el factor de estrés por bajas temperaturas afectara de manera similar el desarrollo secundario del tallo en todas las accesiones.

#### 4.3.3 Número de ramas

El Cuadro 24 muestra los resultados del ANVA realizado al número de ramas de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre accesiones y tampoco entre bloques, dado que el p-valor de accesión y bloque son mayores a  $p=0.05$ . Esto significa que, no se puede afirmar con un 95% de confianza que existan diferencias importantes en el número de ramas de las accesiones en estudio.

**Cuadro 24. Análisis de varianza para número de ramas en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	116,70	12,97	2,35	0.0589 NS
Bloque	2	7,27	3,63	0,66	0.5299 NS
Error	18	99,40	5,52		
Total	29	223,37			
C.V.	11,61 %				

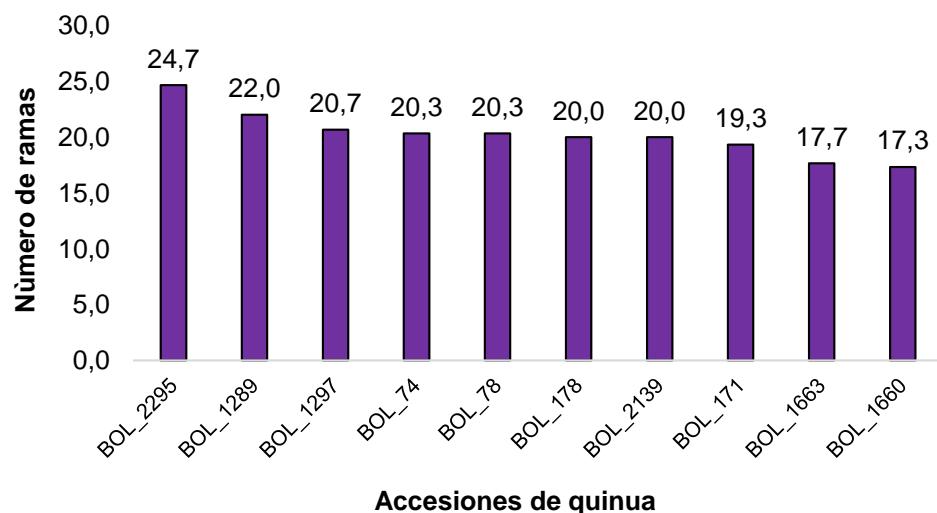
\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación para esta variable fue de 11.61 % esto indica una buena precisión experimental en la medición del número de ramas y que los datos tomados en campo son confiables, además, están en los rangos permitidos estadísticamente (Ochoa, 2016). Como

el ANVA no mostró diferencias significativas entre las accesiones para el número de ramas, es estadísticamente apropiado realizar una prueba de medias Duncan.

La Figura 25, muestra las diferencias numéricas en el número de ramas promedio registradas en 10 accesiones de quinua. Esta variable oscila entre 17.33 y 24.67 ramas, diferencias poco perceptibles a simple vista.



**Figura 25. Diferencias numéricas en el número de ramas de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Estos resultados son similares a los reportados por Gareca (2015), quien indicó que las accesiones de quinua multiplicadas en el altiplano de Bolivia, a menudo reportan variaciones en el número de ramas, lo que indica que, si las condiciones ambientales son muy uniformes o el estrés dominante es muy fuerte, estas características podrían no expresarse diferencialmente entre genotipos. La tolerancia al frío, en este caso, pudo haber impuesto un límite similar al desarrollo foliar y de ramificaciones para todas las accesiones.

#### 4.3.4 Total, de hojas

El Cuadro 25, muestra los resultados del ANVA realizado al total de hojas de las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre accesiones y tampoco entre bloques. Esto indica que, las accesiones se comportaron de manera similar en cuanto al desarrollo de hojas y que la variabilidad entre bloques no fue un factor importante para el total de hojas.

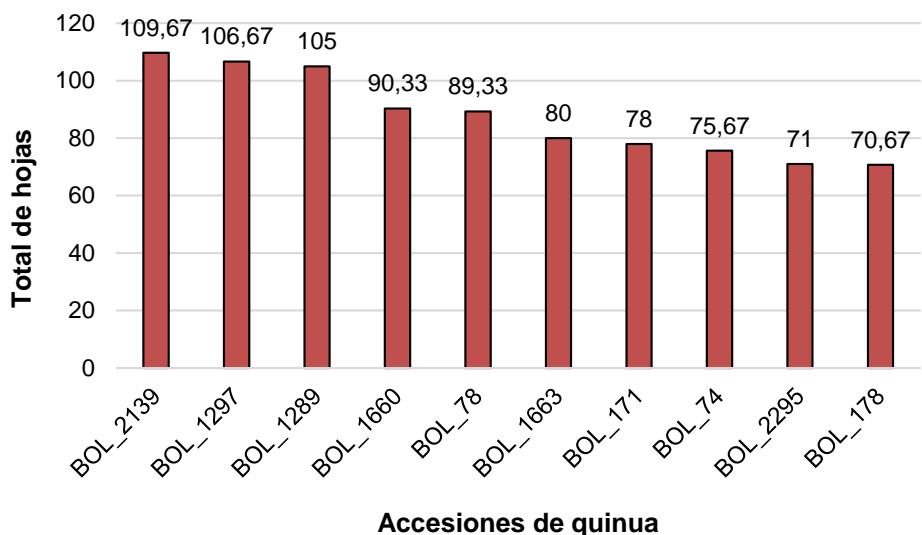
**Cuadro 25. . Análisis de varianza para total de hojas en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	6054,96	672,77	0,87	0.5707 NS
Bloque	2	2400,06	1200,03	1,54	0.2405 NS
Error	18	13987,93	777,1		
Total	29	22442,96			
C.V.		31,81 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación fue de 31.81%, valor alto para este tipo de investigación, que indica que existe amplia variabilidad experimental en las mediciones del número total de hojas. El alto coeficiente de variación sugiere que esta variable tiene una alta dispersión en tus datos, atribuibles a la naturaleza de la medición (contar hojas puede ser variable), la variabilidad inherente de la planta, o factores ambientales no controlados. Dado que el ANVA no mostró diferencias significativas entre las accesiones para el total de hojas no es necesario realizar ni interpretar una prueba de medias Duncan para esta variable.



**Figura 26. Diferencias numéricas en el total de hojas de 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Como se mencionó anteriormente el análisis de varianza no revelaron diferencias significativas en el total de hojas por accesión evaluada. Sin embargo, si existen diferencias numéricas que se muestran en la Figura 26. Se advierte que la cantidad total promedio de hojas por accesión evaluada vario de 70.67 a 109.67, esta diferencia es poco perceptible a simple vista.

La cantidad de hojas en plantas de quinua se asocian a una mayor o menor área fotosintética, que influye en la variación del rendimiento de grano. Estudios como el de Gareca (2015), en el altiplano de Bolivia, reportan variaciones en la cantidad de hojas por planta, lo que indica que, si las condiciones ambientales son muy uniformes o el estrés dominante es muy fuerte, estas características podrían no expresarse diferencialmente entre genotipos.

#### **4.3.5 Hojas afectadas por la granizada**

El Cuadro 26 muestra los resultados del ANVA realizado al número de hojas afectadas por la granizada en las accesiones de quinua, a un nivel de significancia de ( $p=0,05$ ). Dado que este p-valor para el efecto de la accesión es mucho mayor que el nivel de significancia común de  $p=0.05$ , no existe diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de hojas afectadas por granizada entre las 10 accesiones de quinua. Esto sugiere que todas las accesiones mostraron un nivel similar de daño por granizo, lo que indica que ninguna fue notablemente más o menos resistente al granizo que las otras en las condiciones de la Estación Experimental Kallutaca.

**Cuadro 26. Análisis de varianza para hojas afectadas por la granizada, en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor	
Accesión	9	682,53	75,83	0,79	0.6294	NS
Bloque	2	401,26	200,63	2,09	0.1527	NS
Error	18	1728,80	96,01			
Total	29	1728,06				
C.V.	43,10 %					

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

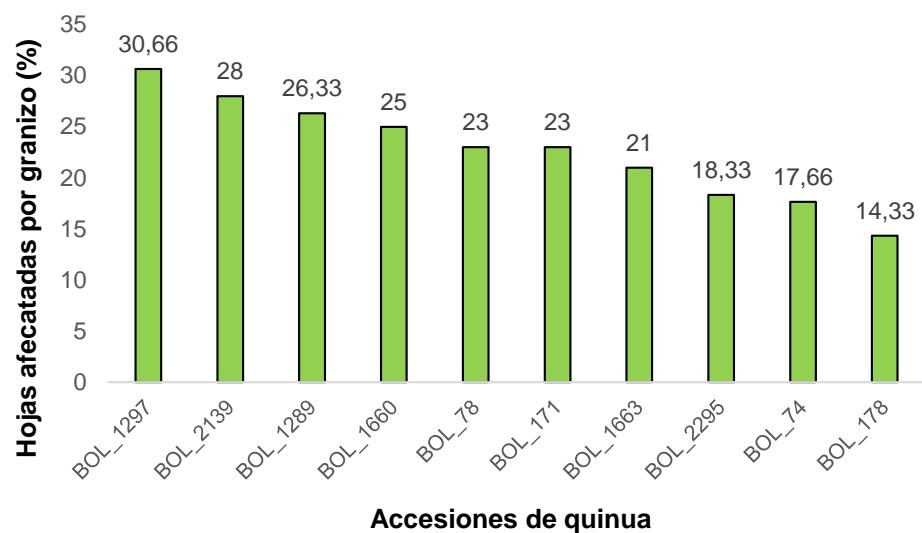
**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Asimismo, el p-valor para el efecto de bloque es mayor que  $p=0.05$ , por tanto, no existe diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de hojas afectadas por granizada entre los bloques experimentales.

El coeficiente de variación para esta variable fue 43.10 % valor alto para este tipo de investigación. Esto puede atribuirse a una alta variabilidad experimental en las mediciones del porcentaje de hojas afectadas por granizada, debido a la naturaleza del evento (granizada), la subjetividad en la estimación del porcentaje, o una alta heterogeneidad en el daño dentro del experimento.

Debido a que el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las accesiones para las hojas afectadas por granizada no es apropiado realizar una prueba de medias como Duncan para esta variable.

La Figura 27, muestra las diferencias numéricas del porcentaje de hojas afectadas por la granizada. De acuerdo a los datos registrados en campo, el daño causado por la granizada en las hojas de quinua fue diferente entre las accesiones en estudio, con valores comprendidos entre 14.33 % a 30.66 %



**Figura 27. Diferencias numéricas en el total de hojas de afectadas por granizada en 10 accesiones de quinua**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Los resultados del porcentaje de hojas afectadas por granizada, no significativos desde el punto de vista estadístico, sugieren que, a pesar de la variabilidad genética de la quinua, el evento de granizada impactó de manera similar a todas las accesiones, o que la naturaleza de la evaluación y la heterogeneidad del daño impidieron detectar diferencias genéticas en la resistencia. La resistencia a factores abióticos como el granizo es compleja y puede depender de la arquitectura de la planta, la flexibilidad de los tallos y hojas, y la capacidad de recuperación. Gonzales (2017), al evaluar la respuesta de cultivos andinos a eventos extremos en el altiplano, resalta la dificultad de atribuir diferencias de resistencia al granizo puramente genéticas sin estudios más específicos sobre la viscoelasticidad de los tejidos o la recuperación posterior al daño. La alta variabilidad en esta medición es un factor limitante para una conclusión definitiva.

#### **4.3.6 Diámetro de grano**

Los resultados del análisis de varianza para la variable diámetro de grano se presentan en el Cuadro 27. De acuerdo a estos resultados, existen diferencias altamente significativas en el diámetro de grano de las accesiones de quinua en estudio, dado que el valor  $p=0,0001$  es menor al nivel del  $p=0.05$ , esto quiere decir que las accesiones de quinua tuvieron grano con diferente tamaño para las condiciones de la Estación Experimental Kallutaca.

**Cuadro 27. Análisis de varianza para diámetro de grano en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	0,85	0,09	7,96	0.0001 **
Bloque	2	0,02	0,01	0,96	0.4024 NS
Error	18	0,21	0,01		
Total	29	1,09			
C.V.	5,55 %				

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

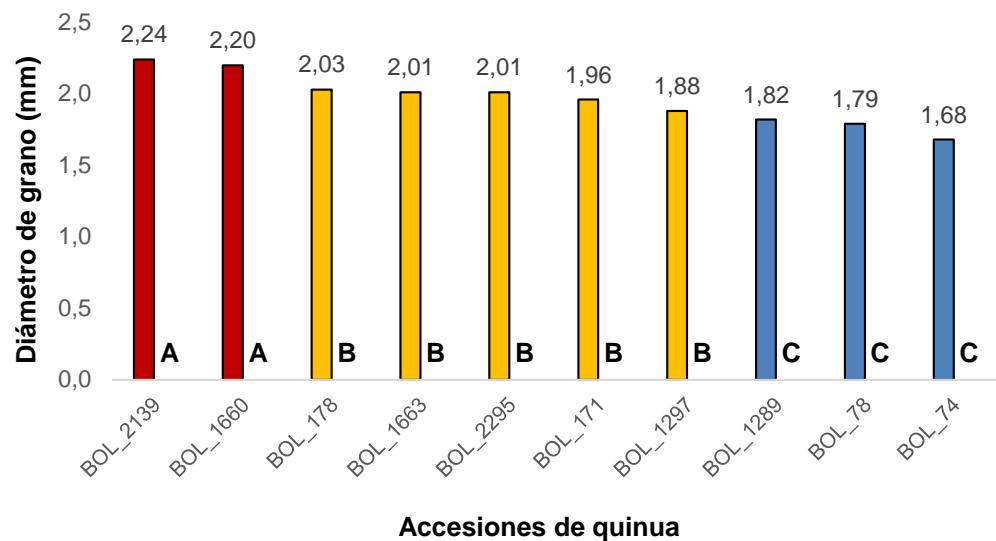
Asimismo, se advierte que no existe diferencias estadísticas significativas en el diámetro de grano por efecto de los bloques experimentales, debido a que p-valor de bloque es mayor que  $p=0.05$ .

El diámetro de grano registró un coeficiente de variación de 5.55 % estadísticamente es menor al 30 % se encuentra en los rangos permitidos (Ochoa, 2016). Este valor indica una excelente precisión experimental en las mediciones del diámetro de grano, es decir que, los datos registrados son consistentes y el error experimental es mínimo para esta variable.

Para el diámetro de grano, los resultados del ANVA muestran que existen diferencias altamente significativas entre las accesiones de quinua. En base a estos resultados, es posible identificar accesiones con granos más grandes o más pequeños dentro de las accesiones en estudio. En consecuencia, fue necesario realizar la prueba de Duncan para identificar que accesiones específicas tienen granos significativamente más grandes o más pequeños que otras.

#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para diámetro de grano**

La prueba de Duncan ha agrupado las medias del diámetro de grano de las 10 accesiones en 3 grupos estadísticamente diferentes, representados por las letras A, B y C (Figura 28). El Grupo A (Granos más grandes), constituido por las accesiones BOL\_2139 con una media de 2,24 mm y BOL\_1660 con una media de 2,20 mm de diámetro de grano. Estas dos accesiones presentaron los granos de mayor tamaño.



**Figura 28. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable diámetro de grano**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El Grupo B (Granos de tamaño intermedio), está conformado por las accesiones: BOL\_178, BOL\_1663, BOL\_2295, BOL\_171 y BOL\_1297, con granos de 1,88 mm a 2,03 mm de diámetro.

Finalmente, el Grupo C (Granos más pequeños), está constituido por las accesiones BOL\_1289, BOL\_78 y BOL\_74, fueron las accesiones que producen los granos de menor tamaño (1,68 mm a 1,82 mm) en condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental Kallutaca.

Las accesiones con granos grandes: BOL\_2139 y BOL\_1660 son las accesiones que producen los granos de mayor diámetro, característica deseable para la industria y la exportación de grano de quinua. La información obtenida es fundamental para identificar y seleccionar accesiones de quinua con características de grano específicas, lo cual es de gran importancia en programas de mejoramiento o para fines comerciales.

Estos resultados son similares a los reportados por Saravia et al. (2014), quienes, al estudiar la diversidad de quinua en la cuenca del Lago Titicaca, enfatizaron la importancia del diámetro de granos como criterios de selección para el mejoramiento, asociándolas con la preferencia del consumidor y la eficiencia en el procesamiento. Asimismo, Mamani et al. (2019), en investigaciones sobre el rendimiento de quinua en el altiplano boliviano, confirman que genotipos con granos de mayor tamaño y peso de mil granos tienen un impacto directo y positivo en la productividad general.

#### **4.3.7 Peso de mil granos**

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza presentados en el Cuadro 28, se advierte que el p-valor del factor accesión, es mucho menor que el nivel de significancia de  $p=0.05$  ( $0.0002 < 0.05$ ). Esto significa que existen diferencias estadísticas altamente significativas en el peso de mil granos entre al menos dos de las 10 accesiones de quinua. Es decir que, algunas accesiones producen granos significativamente más pesados que otras, lo cual es una característica deseable para el rendimiento y la calidad del grano de quinua.

Asimismo, se advierte que el p-valor de bloque, es mayor que  $p=0.05$  ( $0.5257 > 0.05$ ), por consiguiente, no existe diferencias estadísticas significativas en el peso de mil granos como efecto de los bloques experimentales.

El coeficiente de variación de los datos de peso de mil granos fue 14.36 % valor moderado y aceptable para experimentos de campo, indicando una buena precisión en las mediciones de la variable, peso de mil granos.

**Cuadro 28. Análisis de varianza para peso de mil granos en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	12,74	1,41	7,46	0.0002 **
Bloque	2	0,25	0,12	0,67	0.5257 NS
Error	18	3,41	0,18		
Total	29	16,41			
C.V.		14,36 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Debido a que el ANVA mostró diferencias altamente significativas entre las accesiones para el peso de mil granos fue necesario realizar la prueba de medias de Duncan con el propósito de determinar que accesiones específicas se distinguen por tener granos más pesados o más ligeros.

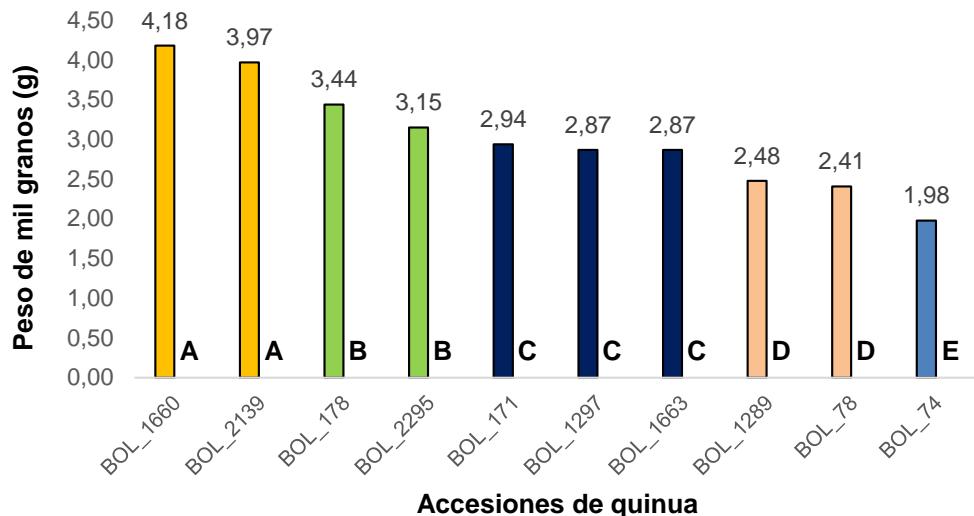
#### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para peso de mil granos**

La prueba de Duncan ha agrupado las medias del peso de mil granos de las 10 accesiones en 5 grupos estadísticamente diferentes, representados por las letras A, B, C, D y E (Figura 29).

El Grupo A (Granos más pesados) lo conformaron las accesiones BOL\_1660 con una media de 4,18 g y BOL\_2139 con una media de 3,97 g. Estas dos accesiones no son significativamente diferentes entre sí en el peso de mil granos y son las que producen los granos más pesados.

El Grupo B está constituido por las accesiones BOL\_178 y BOL\_2295, con pesos de mil granos de 3,15 g. y 3,44 g, respectivamente.

Las accesiones BOL\_171 con 2,94 g, BOL\_1297 con 2,87 g y BOL\_1663 con 2,87 g, forman el Grupo C. Estas tres accesiones son más ligeras que las del Grupo B, pero más pesadas que las de los Grupos D y E.



**Figura 29. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable peso de mil granos**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El Grupo D, está constituido por las accesiones BOL\_1289 con 2,48 g y BOL\_78 con 2,41 g, y finalmente, el Grupo E (Granos más ligeros) conformado por la accesión BOL\_74 con 1,98 g, produce los granos más ligeros entre todas las accesiones de quinua en estudio (Figura 29).

El análisis de varianza y la prueba de medias de Duncan confirman una variabilidad estadísticamente muy significativa en el peso de mil granos entre las accesiones. Las accesiones BOL\_1660 y BOL\_2139 son las accesiones que producen los granos con mayor peso, en cambio, la accesión BOL\_74 es la accesión que produce los granos con el menor peso. Esta información es importante para la selección de accesiones con mayor potencial de rendimiento y calidad de grano, especialmente considerando su tolerancia a bajas temperaturas.

Estos resultados son de relevancia agronómica, debido a que el tamaño y peso del grano son determinantes de la calidad y el rendimiento de la quinua. Saravia et al. (2014), al

estudiar la diversidad de quinua en la cuenca del Lago Titicaca, enfatizaron la importancia de estas variables como criterios de selección para el mejoramiento, asociándolas con la preferencia del consumidor y la eficiencia en el procesamiento. Asimismo, Mamani et al. (2019), en investigaciones sobre el rendimiento de quinua en el altiplano boliviano, confirman que genotipos con granos de mayor tamaño y peso de mil granos tienen un impacto directo y positivo en la productividad general.

#### **4.3.8 Rendimiento**

Según el Cuadro 29, existen diferencias significativas en el rendimiento de grano de las accesiones de quinua en estudio, dado que el valor  $p=0,0436$  es menor al nivel del  $p=0.05$ , esto quiere decir que las accesiones de quinua tuvieron diferentes rendimientos multiplicados en las condiciones de la Estación Experimental Kallutaca. El p-valor para bloque es mucho mayor que  $p=0.05$  ( $0.8522 > 0.05$ ), en consecuencia, no existe diferencias estadísticas significativas en el rendimiento de grano de quinua entre los bloques experimentales.

**Cuadro 29. Análisis de varianza para rendimiento en accesiones con buena tolerancia a factores abióticos adversos**

FV	GL	SM	CM	F cal	p-valor
Accesión	9	10605188.52	1178354.28	2,55	0.0436 *
Bloque	2	149338.21	74669.11	0,16	0.8522 NS
Error	18	8327006.59	462611.48		
Total	29	19081533.32			
C.V.		26,79 %			

\*\*Altamente significativo ( $p < 0.01$ ), \* Significativo al nivel de 0.05, NS = No significativo

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

El coeficiente de variación para el rendimiento fue 26.79%, esto indica que los datos tomados en campo son confiables y están en los rangos permitidos estadísticamente (Ochoa, 2016). Un coeficiente de variación alto en rendimiento, es común en experimentos de campo debido a la cantidad de factores incontrolables que pueden influir en los valores finales.

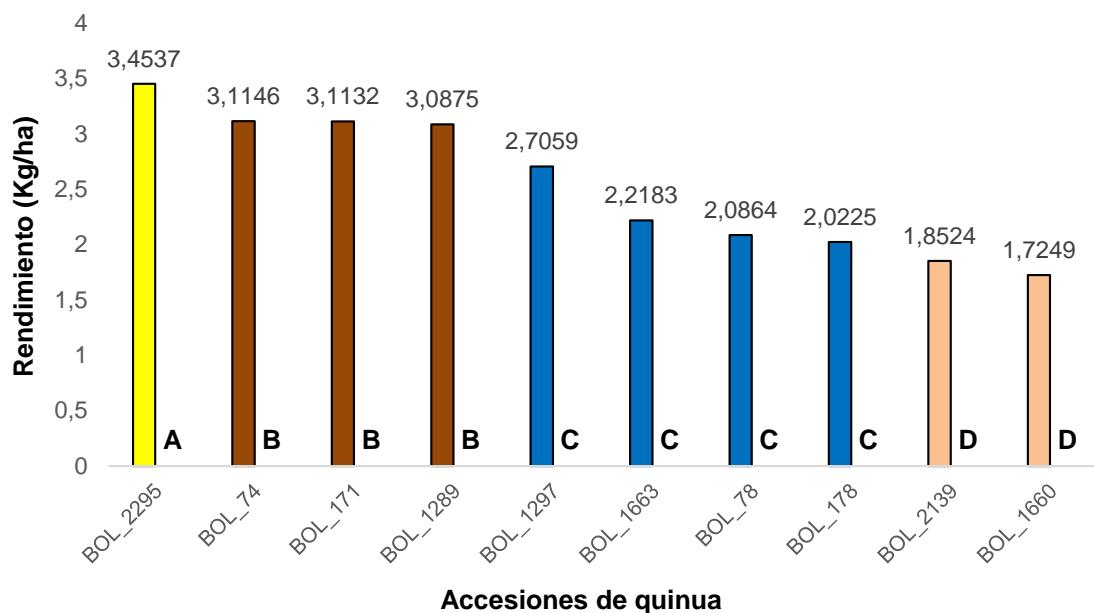
Para completar los análisis de esta variable se procedió con la comparación de medias con la Prueba de Duncan al 5% La prueba de Duncan permitió identificar que accesiones específicas son las más rendidoras y cuáles se agrupan en términos de producción.

### **Comparación de medias (Prueba de Duncan), para rendimiento**

La prueba de Duncan ha agrupado las medias de rendimiento de las 10 accesiones en 4 grupos estadísticamente diferentes, representados por las letras A, B, C y D (Figura 30).

El Grupo A (Mayor Rendimiento) conformada por la accesión BOL\_2295 con una media de 3453,7 Kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento. Esta accesión es significativamente la de mayor rendimiento de todas las accesiones en estudio.

El Grupo B, está constituido por las accesiones BOL\_74 con 3114,6 Kg ha<sup>-1</sup>, BOL\_171 con 3113,2 Kg ha<sup>-1</sup> y BOL\_1289 con 3087,5 Kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 30. Agrupación de medias Duncan ( $p>0,05$ ) para la variable rendimiento**

**Fuente:** Elaboración propia (2025)

Las accesiones BOL\_1297 con 2705,9 Kg ha<sup>-1</sup>, BOL\_1663 con 2218,3 Kg ha<sup>-1</sup>, BOL\_78 con 2086,4 Kg ha<sup>-1</sup> y BOL\_178 con 2022,5 Kg ha<sup>-1</sup> con forman el Grupo C. Estas cuatro accesiones presentaron rendimientos más bajos que las accesiones de los Grupos A y B.

Finalmente, el Grupo D (Menor Rendimiento), está conformado por las accesiones BOL\_2139 con 1852,4 Kg ha<sup>-1</sup> y BOL\_1660 con 1724,9 Kg ha<sup>-1</sup>. Estas dos accesiones son las de menor rendimiento de todas las accesiones en estudio.

El análisis de varianza y la prueba de medias de Duncan confirma la existencia de una variabilidad estadísticamente significativa en el rendimiento entre las 10 accesiones de quinua, lo cual es crucial para la selección. La accesión BOL\_2295 es la que presenta el mayor rendimiento y es significativamente diferente de todas las demás. Esto la convierte en una candidata principal si el objetivo es maximizar la producción.

Las demás accesiones se agrupan en niveles intermedios de rendimiento, mostrando que hay accesiones con producciones similares. El Grupo B es el segundo más productivo, mientras que el Grupo C representa un nivel de rendimiento intermedio. Esta información es valiosa porque permite identificar directamente las accesiones más prometedoras en términos de rendimiento bajo las condiciones de tolerancia a bajas temperaturas en la Estación Experimental Kallutaca.

El rendimiento es la variable agronómica por excelencia y, en este estudio, se encontraron diferencias significativas entre las accesiones. La accesión BOL\_2295 se posicionó como la de mayor rendimiento, superando significativamente a las demás. Curiosamente, las accesiones BOL\_2139 y BOL\_1660, que mostraron los granos más grandes y pesados, presentaron los rendimientos más bajos. Este fenómeno sugiere una posible compensación entre el tamaño/peso individual del grano y el número total de granos por planta o panoja, un aspecto conocido en cultivos de grano. Es decir, aunque sus granos sean grandes, podrían tener menos granos por planta o panojas menos densas, afectando el rendimiento total por hectárea. Al respecto Tito (2020), en sus estudios sobre la productividad de la quinua, señala que el rendimiento es una característica compleja que resulta de la interacción de múltiples componentes, y no necesariamente los genotipos con granos más grandes son los de mayor rendimiento. Asimismo, Choque y Mamani (2021), en un análisis de variedades de quinua para el altiplano, también observaron este tipo de compensaciones, sugiriendo que la selección debe considerar el balance entre el tamaño del grano y el número de granos para optimizar el rendimiento. Por lo tanto, BOL\_2295 se perfila como una accesión prometedora para la productividad en ambientes con estrés por bajas temperaturas, a pesar de que sus granos no son los de mayor peso individual.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias de Duncan al 5% revelaron diferencias significativas en varias de las características evaluadas, ofreciendo información clave para la selección y el mejoramiento de variedades. Las conclusiones de la investigación son las siguientes:

### **Ensayo con accesiones de quinua con altos índices de productividad**

La accesión BOL\_1543 (154.7 cm) se destacó como la más alta, por el contrario, la accesión BOL\_1636 (110.8 cm) fue consistentemente la más baja. En general, la mayoría de las accesiones no difieren significativamente en la longitud y diámetro de panoja siendo así la accesión BOL\_2274 (47.4 cm) con la mayor longitud y la accesión BOL\_1174 (63.7 mm) con el mayor diámetro.

Las accesiones BOL\_2251 (2898 kg/ha) y BOL\_1543 (2858.1 kg/ha) demostraron ser las de mayor rendimiento, sin diferencias significativas entre ellas son las más prometedoras para la producción de grano en Kallutaca. Para fines de mejoramiento o recomendación a productores, las accesiones BOL\_2251 y BOL\_1543 se destacan como las más prometedoras en términos de rendimiento, además de tener buenos valores en otras características de grano. BOL\_1636 también es notable por su peso (3.21 g) y diámetro de grano (2.1 mm). Por otro lado, accesiones como BOL\_2274 mostraron consistentemente un rendimiento y un tamaño de grano más bajos.

### **Ensayo de accesiones con tolerancia a plagas y enfermedades (Factores bióticos)**

En contraste con la longitud, el diámetro de panoja no mostró diferencias significativas entre las accesiones. Este rasgo es más homogéneo o más influenciado por el ambiente que por el genotipo en las condiciones del experimento. Se encontraron diferencias significativas en el número total de hojas entre las accesiones. BOL\_15863, BOL\_15865 y BOL\_15861 presentaron el mayor número. A pesar de la alta variabilidad de la cantidad de hojas por accesión, la detección de diferencias significativas subraya la capacidad de las accesiones para diferenciarse en este rasgo. Un alto número de hojas es importante para la fotosíntesis y la producción de biomasa.

Los datos revelaron muestran diferencias altamente significativas en la severidad e incidencia del mildiu. Las accesiones BOL\_15865 (9.98%), BOL\_15872 (18.34%) y

BOL\_15870 (20.23%) mostraron la menor severidad, lo que las posiciona como las más tolerantes o resistentes, las accesiones BOL\_15872 (31 %) y BOL\_15929 (42%) presentaron la menor incidencia del mildiu de la quinua. La incidencia mide la proporción de plantas afectadas, mientras que la severidad mide el grado de afectación en las plantas. Ambas variables son complementarias para entender la respuesta de la planta a la enfermedad.

El rendimiento de grano registro diferencias altamente significativas entre accesiones. Las accesiones BOL\_15870 ( $3080.7 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) y BOL\_15936 ( $3070.8 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) mostraron los rendimientos más altos. Estos rendimientos son muy competitivos para la región. Dichas accesiones cuentan con el mayor diámetro y peso de grano BOL\_15925 (2.04 mm), (2.93 g) y BOL\_15925 (1.97 mm), (2.95 g). El peso de mil granos es un indicador directo de la biomasa de cada grano y tamaño del grano es una característica de calidad comercial, ambos componentes son fundamentales para el rendimiento.

#### **Ensayo de accesiones con tolerancia a bajas temperaturas (Factores abióticos)**

La accesión BOL\_2295 fue significativamente la más alta (140,45 cm). En contraste, BOL\_2139 registró la menor altura (97,45 cm), siendo significativamente diferente de las demás. También el ANVA indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de tal, ni en el número de ramas entre las accesiones. En las condiciones de este estudio, el diámetro de tallo y el número de ramas no son características diferenciadoras entre las accesiones evaluadas.

Los datos revelaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de hojas afectadas por granizada entre las accesiones. Ninguna accesión demostró una resistencia significativamente superior o inferior al daño por granizo. El ANVA reveló diferencias estadísticas altamente significativas en el diámetro de grano entre las accesiones. BOL\_2139 (2,24 mm) y BOL\_1660 (2,20 mm) fueron las accesiones con los granos de mayor diámetro. De la misma manera se mostró diferencias estadísticas altamente significativas en el peso de mil granos entre las accesiones. BOL\_1660 (4,18 g) y BOL\_2139 (3,97 g) produjeron los granos más pesados

El ANVA encontró diferencias estadísticas significativas en el rendimiento entre las accesiones. BOL\_2295 fue la accesión de mayor rendimiento ( $3453,7 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), contrariamente, las accesiones BOL\_2139 y BOL\_1660 mostraron los menores

rendimientos (1852,4 y 1724,9 Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). La selección de accesiones por rendimiento es viable, con BOL\_2295 destacándose como la más productiva bajo las condiciones de estudio.

Estos resultados proporcionan una base sólida para la selección de accesiones de quinua que exhiben las mejores características morfo-agronómicas bajo las condiciones de estudio, contribuyendo al mejoramiento genético de este cultivo adaptable a bajas temperaturas.

## 6. RECOMENDACIONES

Sobre la base de los resultados y conclusiones obtenidas en este estudio, con las evaluaciones técnicas, sobre la cual concedo dar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda continuar con las evaluaciones de las mejores accesiones obtenidas de los 3 ensayos las cuales presentaron buenas características de productividad en la región (Kallutaca)
- Se recomienda realizar trabajos complementarios con productores, con las accesiones BOL\_2251, BOL\_1543, BOL\_1636 y BOL\_2295 que fueron las de mayor rendimiento, además de tener buenos valores de peso y diámetro de grano. Y además de usar la accesión BOL\_15870 ya que de la misma manera obtuvo el mayor rendimiento y mostro tolerancia al mildiu
- Se recomienda realizar investigaciones sobre la siembra en diferentes épocas, con las accesiones seleccionadas en el presente estudio.
- Se recomienda realiza la obtención de grano de las accesiones de mayor productividad para que próximamente puedan ser liberadas como una nueva variedad con un buen rendimiento , resistente a factores abióticos y bióticos .

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelaleem, M. E., K. 2021. Evaluation of Phytochemicals and Antioxidant Activity of Gamma Irradiated Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Brazilian Journal of Biology*. Place Published, 8.
- Aguilar, C. (2016). Evaluación agronómica de diez genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de secano en la estación experimental de Illpa - Puno. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNA Puno.
- Ajata, J. (2018). Evaluación de la severidad e incidencia de enfermedades en variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Altiplano de La Paz. (Tesis de Grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Alcón, G. (2018). Evaluación de las variables agronómicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea. (Ing. Agr.), UMSA, La Paz – Bolivia.
- Benique, O. 2021. Impacto económico del cambio climático en cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Orgánica en la región del Altiplano: un enfoque Recardiano. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Place Published, 8.
- Bonifacio, A. (2010). Los factores adversos de tipo biótico y abiótico: Consecuencias sobre el cultivo de la quinua y alternativas de adaptación.
- Bonifacio, A., Cruz, A., Delgado, J., & Alandia, M. (2013). Evaluación de la diversidad genética de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano boliviano. *Revista Boliviana de Investigación*, 13(1), 25-34.
- Calla, G. 2012. Manejo del Cultivo de Quinua. Ayacucho-Perú, 40 p.
- Cama, J. (2019). Evaluación agronómica de siete genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Campaña de Azángaro, Puno. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Nacional del Altiplano.

- Condori, L. (2019). Caracterización morfológica y agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos localidades del Altiplano de La Paz. (Tesis de Grado). Universidad Pública de El Alto, El Alto, Bolivia.
- Condori, L. (2021). Evaluación de la producción de biomasa y grano de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes densidades de siembra en el altiplano central boliviano. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Choque, J., & Mamani, P. (2021). Análisis de componentes del rendimiento en variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano norte de La Paz. Revista de la Facultad de Agronomía UMSA, 30(1), 105-115.
- Danielsen, S.; Ames, T. 2000. El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno. Centro Internacional de la papa. Royal Danish Ministry of Foreing Affairs. The Royal Veterinary and Agricultural University. 39 p.
- FAO. 2017. Año Internacional de la Quinua 2013. Chile.
- Fuentes, F., Almonacid, C., Aquea, F., & Vega, C. (2019). Respuestas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) al estrés por sequía. Biología vegetal actual , 17 , 33-39. (Nota: Este tipo de artículo es excelente para citar los efectos específicos del estrés abiótico).
- Flores, R., & Chambi, M. (2020). Comportamiento agronómico de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Patacamaya, Altiplano Central de Bolivia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(2), 55-63.
- Gabriel, J. L., N.; Vargas, A.; Magne, J.; Angulo, A.; La Torre, J.; Bonifacio, A. 2012. Quinua del Valle (*Cheopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospopra farinosa* Willd.). Selava Andina Research Society. Place Published, 18.
- Gálvez, RA (2014). Quinua: Cultivo, valor nutricional y procesamiento . Fondo Editorial de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (Nota: Este tipo de libro o manual de

cultivo es fundamental para citar la importancia del cultivo y sus desafíos agronómicos generales).

Gareca, S. (2015). Comportamiento agronómico de ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano central de Bolivia. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional UMSA.

Gonzales, R. (2017). Respuesta de cultivos andinos (quinua y papa) a eventos extremos climáticos en el altiplano boliviano. [Tesis doctoral, Universidad Mayor de San Andrés].

Gonzales, C. 2011. Coberturas vegetales y densidades de siembra en el control de malezas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) CANAAN 2750 msnm-Ayacucho. Tesis Ing. Agr. Perú. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 91 p.

IICA, R., J.; Rojas, W.; Pacheco, M. 2015. Producción y Mercado de la quinua en Bolivia. IICA (ed.). La Paz-Bolivia, 319 p. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2574>

Jacobsen, S.-E., Mujica, A., & Ortiz, R. (2017). Quinua: Cultivo, diversidad y uso. FAO.

Jacobsen, SE (2011). La situación del cultivo de quinua en el mundo. Reseñas de alimentos internacionales , 27 (3), 221-237. (Nota: Este es un trabajo clásico para citar la situación global y la necesidad de seleccionar genotipos según el ambiente, G x E).

Julon, W. 2016. Resultado de dos sistemas de cultivo en rendimiento, calidad y rentabilidad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Costa Central. Tesis Ing. Agr. Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 123 p.

Laura, M. (2022). Estudio de la variabilidad y componentes de rendimiento en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones de Altiplano. (Tesis de Maestría). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

León, J. 2003. Cultivo de la quinua en Puno - Perú: descripción, manejo y producción. Puno, PE. UNA. 62 p.

- Lizarbe, C., Mendoza, J., & Cora, J. (2020). Caracterización morfoagronómica de 15 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la provincia de Puno, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 519-528.
- Mamani, A. (2017). Evaluación de la producción y caracteres morfoagronómicos de seis variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Patacamaya, La Paz. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Mamani, P., Arias, S., & Apaza, W. (2018). Diversidad morfológica y genética de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del altiplano boliviano. *Ciencia y Desarrollo*, 19(1), 10-21.
- Mamani, F., Ramos, H., & Copa, E. (2019). Evaluación de la productividad y componentes de rendimiento de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano central de Bolivia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(2), 154-165.
- Martínez, S. D. S., V.; Miranda,J. 2012. Guía práctica para el cultivo de la quinua. Tarija-Bolivia, 30 p. (Seguridad alimentaria nutricional en municipios de Tarija y Chuquisaca).
- Miranda, A. (2021). Evaluación de líneas promisorias de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano central de Bolivia. (Tesis de Grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- 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.
- Mullo, A. 2011. Respuesta del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Wild.*) a tres tipos de abono orgánicos, con tres niveles de aplicación, bajo el sistema de labranza Mínima, en la comunidad, Chacabamba Quishuar, provincia de Chimborazo Tesis Ing. Agr. Riobamba-Ecuador. Escuela Politécnica de Chimborazo. 98 p.
- Ochoa, R. 2016. Diseños experimentales. 2<sup>a</sup> Ed. La Paz, Bolivia. 188 p

- Paredes, D. (2018). Evaluación agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos localidades del altiplano norte de La Paz. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Pinargote, J. 2018. Producción de biomasa y determinación del índice de cosecha en genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la Finca Experimental La María. Tesis Ing. Agr. . Quevedo-Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 99 p.
- PROINPA. (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial (pp. 66).
- Quispe, R. (2017). Determinación de la relación entre componentes de rendimiento y el rendimiento de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Altiplano de Oruro. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia.
- Quispe, M., Mamani, J., & Coaquira, V. (2017). Comportamiento agronómico y rendimiento de ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la zona alta de Puno, Perú. Anales Científicos, 78(1), 77-85.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Serna-Saldívar, SO (2011). Quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd.) como fuente de ingredientes funcionales. Mundo de alimentos con cereales , 56 (5), 297-300. (Nota: Útil para sustentar cómo el estrés ambiental puede afectar la calidad y las propiedades funcionales del grano).
- Rojas, M. (2018). Evaluación de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones de secano en el altiplano de La Paz. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés].
- Sánchez, F. 2013. Proyecto de factibilidad de inversión privada de un semillero de quinua. Lima-Perú. 94 p. Consultado
- Tambo, R. 2010. Nociones de agricultura. La Paz, BO. 130 p.
- Tapia, M. (2012). Cultivo de la quinua en los Andes centrales: La diversidad como factor de manejo . FAO. (Nota: Un recurso de la FAO (o similar) es excelente para citar

desafíos bióticos y la importancia de la diversidad genética y la resistencia a plagas/enfermedades).

Tapia, M; Fries, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Lima, PE. FAO y ANPE. p. 74-88.

Terán, ED. 2010. Proyecto de factibilidad para la producción y exportación de quinua orgánica al mercado de Francia. Ing. en Comercio Exterior, Integración y Aduanas. Quito, EC. Universidad Tecnológica Equinoccial. p. 10-25

Ticona, E., Miranda, C., & Copa, R. (2018). Caracterización y evaluación de 10 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de altiplano central. Revista de la Sociedad Boliviana de Ciencia del Suelo, 10(1), 45-52.

UNAM, F. 2016. Guía de Cultivo de la Quinua. 2da Ed. Lima-Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 130 p.

Vega, M., & Nina, E. (2016). Respuesta de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) al ataque de *Peronospora variabilis* en la meseta interandina. Journal of Andean Agricultural Sciences, 15(1), 30-38.

Vilca, L. (2018). Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Estación Experimental de Illpa, Puno. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Nacional del Altiplano.

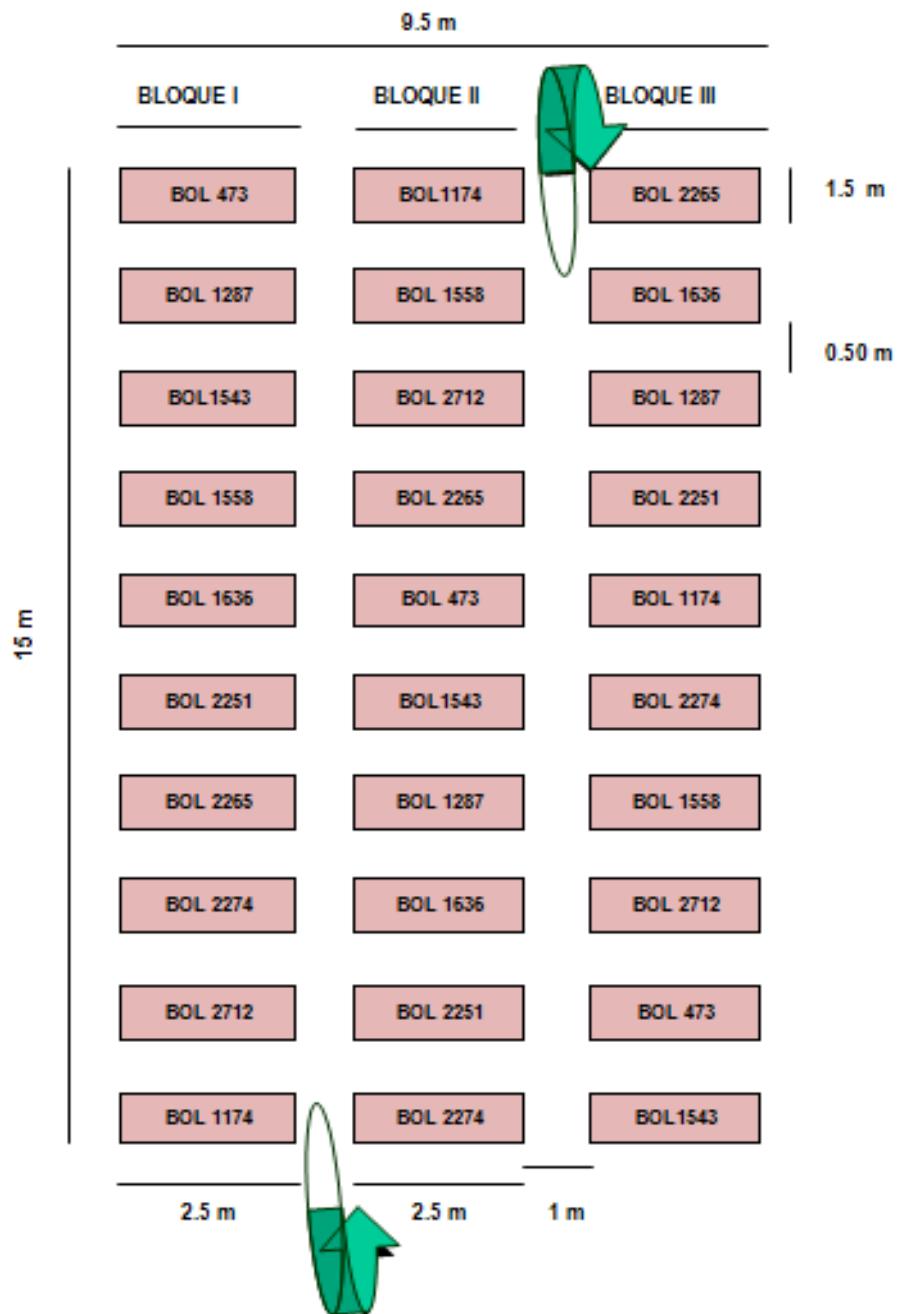
Zegarra, J. C. (2018). La rentabilidad del cultivo de quinua en diferentes periodos de siembra en la irrigación majes, durante la campaña 2016-2017. (Maestro en Ciencias: Economía, con Mención en Gerencia Agropecuaria), Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, Arequipa.

Zurita, A. Q., C. 2015. Plagas y enfermedades en el cultivo de quinoa. 17 p. (Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias).

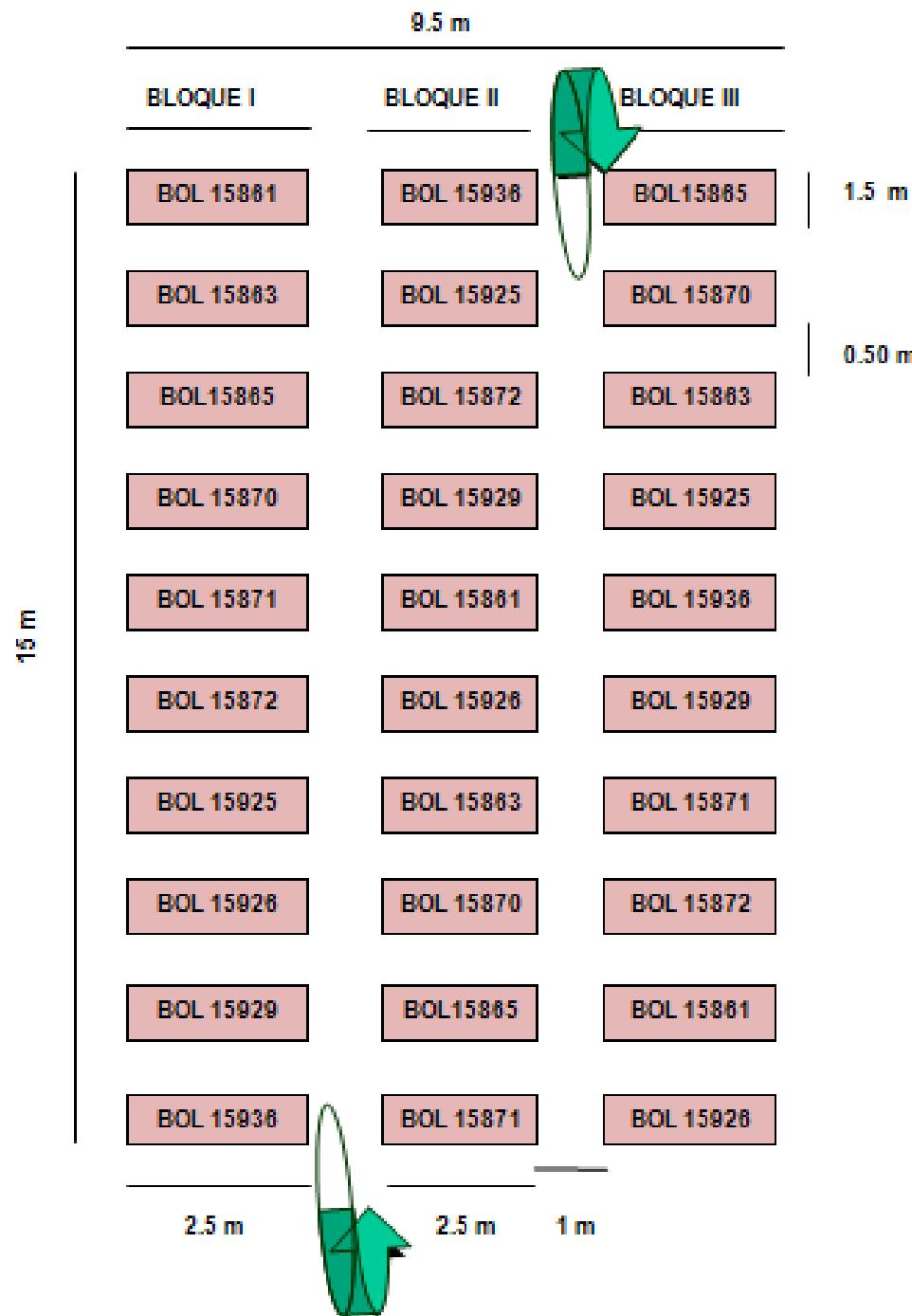
Zurita, S. e. a. 2014. Respuestas de la Sequía y Adaptación d la Quinua. Place Published, 22.

# **ANEXOS**

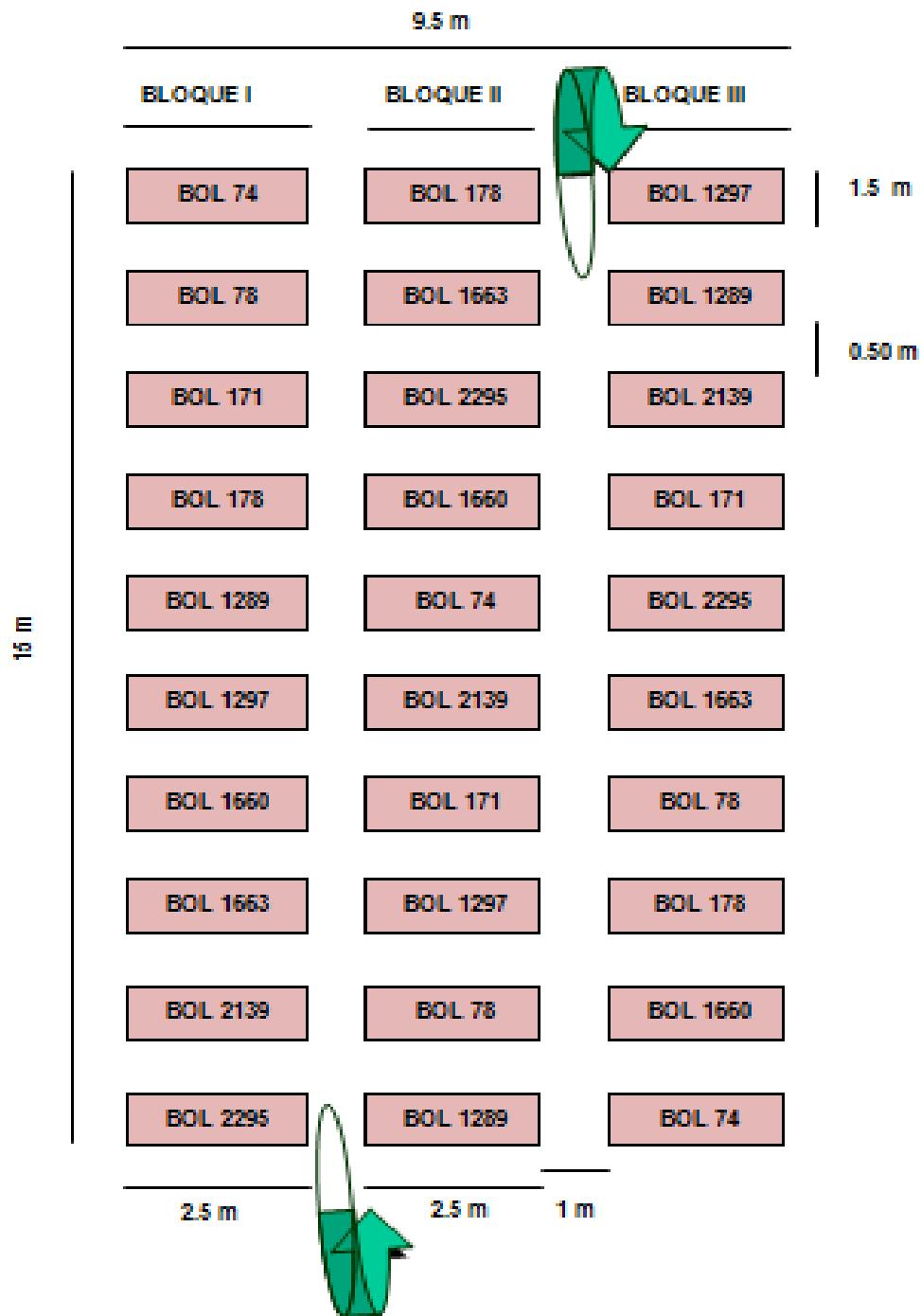
**Anexo 1. Croquis del ensayo de 10 accesiones de quinua de alto rendimiento**



**Anexo 2. Croquis del ensayo de 10 accesiones de tolerancia a Factores bióticos adversos**



**Anexo 3. Croquis del ensayo de 10 accesiones de tolerancia a Factores abióticos adversos**



**Anexo 4. Imágenes de la siembra, marbeteado de plántulas (marcación de hojas para la evaluación de severidad de mildiu)**



Foto 1. Siembra de cultivo



Foto 2. Marbeteado de plántulas

**Anexo 5. Imágenes de control de mildiu y evaluación de ensayos de rendimiento y factores abióticos**



Foto 3. Evaluación de ensayos  
(toma de datos de campo)



Foto 4. Fungicida  
utilizado en los  
ensayos de  
productividad y  
factores abióticos



Foto 5. Cultivo de quinua con  
mildiu

**Anexo 6. Imágenes de madurez fisiológica y cosecha de las accesiones de quinua.**

Foto 6. Madurez fisiológica del cultivo



Foto 7. Cosecha de las muestras  
evaluadas y del cultivo.

**Anexo 7. Evaluación del rendimiento y de las características de los granos de quinua**



Foto 8. Peso de mil granos



Foto 9. Producto final de quinua de las muestras tomadas en diferentes bloques

**Anexo 8. Evaluación de la incidencia y severidad del mildiu de la quinua**

Foto 10. Ensayo de factores bióticos (hojas con mildiu)

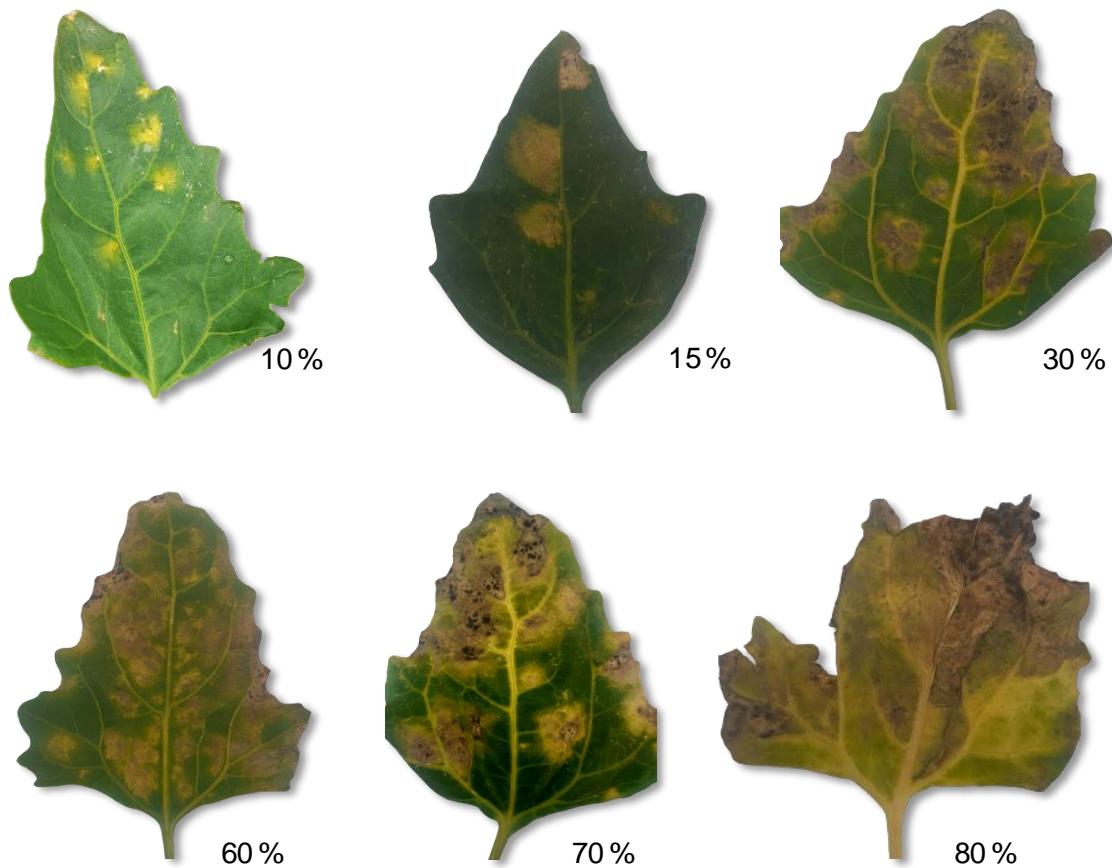


Foto 11. Evaluación del porcentaje de afección del mildiu en hojas de quinua

**Anexo 9. Formas y colores de panojas de quinua en floración**

Foto 12. Etapa de floración de diferentes  
accesiones de quinua

**Anexo 10. Formas y colores de panojas de quinua y vista panorámica del área de investigación.**



Foto 13. Diferentes formas de panoja



Foto 14. Vista panorámica del cultivo en estudio

**Anexo 11. Área de investigación y visita a parcelas de investigación.**



Foto 15. Área de investigación protegida  
por redes



Foto 16. Visita de productores al cultivo de  
quinua

