UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS DE GRADO

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE SEIS ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES PROMISORIOS PARA EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA UPEA

Por:

Griselda Condori Quispe

EL ALTO – BOLIVIA

Mayo - 2024

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE SEIS ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES PROMISORIOS PARA EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA UPEA

Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agronóma

Griselda Condori Quispe

Asesores:

Lic. Ing. Félix Marza Mamani .....

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

Tribunal Revisor:

M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas .....

Lic. Ing. Vicky Ruth Villca Calle .....

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

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador .....

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado con amor, respeto y gratitud a mi familia que me brindó su apoyo incondicional durante toda la etapa de mi formación.

A mis queridos padres; Sr. Alberto Condori y Sra. Justina Quispe, quienes estuvieron siempre presente en los momentos buenos y malos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, salud y sabiduría para concluir esta etapa de mi vida.

A mis queridos padres Sr. Alberto Condori y Sra. Justina Quispe, por haberme inculcado valores, educación y apoyo para concluir mis estudios, asimismo agradecer a mis hermanos, por haber depositado su confianza y por el apoyo durante todo este proceso.

A la Carrera de Ingeniería Agronómica del Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Pública de El Alto (UPEA), por abrirme la puerta para realizar mi formación. Asimismo, a los docentes, por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias a lo largo de mis estudios.

A mis asesores Ing. PhD. Félix Marza Mamani e Lic. Ing. Soledad Chavez Vino docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA, por las sugerencias para el tema de tesis, el asesoramiento, guía y orientación durante el desarrollo del trabajo en campo y en la redacción final de la presente investigación.

A los miembros del Tribunal Revisor conformados por M.Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas, M.Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi e Lic. Ing. Vicky Ruth Villca Calle, docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica; por su importante corrección permitieron la ejecución de la presente investigación.

A aquellas amistades, gracias por su colaboración en el trabajo de campo y su ayuda incondicional.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS i
ÍNDICE DE TABLAS v
ÍNDICE DE FIGURAS vi
ÍNDICE DE ANEXOS vii
ABREVIATURAS viii
RESUMEN ix
ABSTRACT xi

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Antecedentes 1
1.2. Planteamiento del problema 4
1.3. Justificación 4
1.4. Objetivos 5
1.4.1. Objetivo general 5
1.4.2. Objetivos específicos 5
1.5. Hipótesis 5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 6
2.1. Generalidades del cultivo 6
2.1.1. Origen y distribución de la quinua 6
2.1.2. Clasificación taxonómica 6
2.1.3. Morfología de la quinua 6
2.1.3.1. Raíz 7
2.1.3.2. Tallo 7
2.1.3.3. Hojas 7
2.1.3.4. Inflorescencia 8
2.1.3.5. Flor 8
2.1.3.6. Fruto 8
2.1.4. Fases fenológicas de la quinua 9
2.1.4.1. Fase germinación 9
2.1.4.2. Fase de emergencia 9
2.1.4.3. Fase cotiledonal 9

2.1.4.4. Fase de hojas verdaderas 9
2.1.4.5. Fase de floración o antesis 10
2.1.4.6. Fase de grano lechoso 10
2.1.4.7. Fase de grano pastoso. 10
2.1.4.8. Fase de madurez fisiológica 10
2.1.5. Requerimientos edafoclimáticos 10
2.1.5.1. Suelo y pH 10
2.1.5.2. Agua 11
2.1.5.3. Temperatura 11
2.1.5.4. Radiación solar 11
2.1.5.5. Precipitación pluvial 11
2.1.6. Factores bióticos y abióticos adversos 11
2.1.6.1. Principales plagas insectiles del cultivo 11
2.1.6.2. Principales enfermedades del cultivo 12
2.1.6.3. Ataque de aves 12
2.2. Índices productivos de la quinua 12
2.2.1. Superficie de producción 12
2.2.2. Producción de quinua 13
2.2.3. Rendimiento de la quinua en Bolivia 13
2.3. Características del cultivo 13
2.3.1. Características fenotípicas 13
2.3.2. Características de adaptabilidad 14
2.4. Programas de mejoramiento genético de la quinua 15
2.5. Análisis estadístico 17
2.5.1. Estadística descriptiva 17
2.5.2. Coeficiente de correlación de Pearson 17
2.5.3. Coeficiente de correlación de Spearman 18
2.5.4. Análisis multivariado 18
3. MATERIALES Y MÉTODO 19
3.1. Ubicación geográfica 19
3.2. Características agroecológicas 19
3.2.1. Clima 19
3.2.2. Suelo 20
3.2.3. Flora 20
3.3. Materiales 20
3.3.1. Material genético 20

3.3.2. Material de campo 21
3.3.3. Material de laboratorio 21
3.3.4. Material de gabinete 21
3.4. Método 21
3.4.1. Preparación del terreno 21
3.4.2. Preparación de semilla 21
3.4.3. Siembra 21
3.4.4. Marbeteo 22
3.4.5. Labores culturales 22
3.4.6. Cosecha y post cosecha 22
3.4.7. Caracterización y evaluación 22
3.5. Diseño experimental 23
3.5.1. Modelo lineal aditivo 23
3.6. Variables de respuesta 23
3.6.1. Variables cuantitativas 25
3.6.2. Variables cualitativas 27
3.7. Análisis estadístico 31
3.7.1. Análisis estadístico descriptivo y distribución de frecuencias 31
3.7.2. Coeficiente de correlación de Pearson 31
3.7.3. Coeficiente de correlación de Spearman 31
3.7.4. Análisis multivariado 31
3.7.4.1 Análisis de componentes principales 31
3.7.4.2. Análisis de conglomerados 32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 33
4.1. Climadiagrama 33
4.2. Descripción de variables cuantitativas 34
4.2.1. Análisis estadístico descriptivo 34
4.2.2. Análisis de correlación de Pearson 44
4.2.3. Análisis de componentes principales (ACP) 48
4.3. Descripción de variables cualitativas 52
4.3.1. Análisis de frecuencias 52
4.3.2. Análisis de correlación para variables cualitativas 58
4.3.3. Análisis de componentes principales para variables cualitativas 60
4.4. Descripción simultánea de variables cuantitativas y cualitativas 64

4.4.1. Análisis de componentes principales para datos cuantitativos y cualitativos discriminantes (CAPTCA) 64
4.4.2. Análisis de conglomerados 70
4.4.2.1. Análisis de agrupamiento jerárquico para variables cuantitativas y cualitativas. 70
4.4.2.2. Análisis de agrupamiento jerárquico para accesiones de quinua 72
5. CONCLUSIONES 75
6. RECOMENDACIONES 78
7. BIBLIOGRAFIA 79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. *Variedades mejoradas de quinua liberadas por el antiguo IBTA en Bolivia (1967–1996).* 16
Cuadro 2. *Variedades obtenidas por la Fundación PROINPA (1999-2010).* 16
Cuadro 3. *Detalle de accesiones consideradas en la investigación* 20
Cuadro 4. *Detalle de variables caracterizadas y evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, La Paz.* 24
Cuadro 5. *Estadística descriptiva de 7 variables fenológicas evaluadas en 6 accesiones de quinua, establecidas en la localidad de Kallutaca, 2021-2022* 34
Cuadro 6. *Estadística descriptiva de 5 variables cuantitativas de planta, tallo y panoja, de 6 accesiones de quinua, establecidos en la localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 35
Cuadro 7. *Estadística descriptiva de 5 variables cuantitativas de grano y rendimiento, evaluadas en 6 accesiones de quinua, establecidas en la localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 35
Cuadro 8. *Matriz de correlación entre 16 variables cuantitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 45
Cuadro 9. *Valores propios, porcentaje de la varianza y contribuciones individuales de 16 variables cuantitativas originales a la formación de tres componentes principales.* . 49
Cuadro 10*. Análisis de frecuencias de 7 variables cualitativas de planta y tallo, de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 52
Cuadro 11. *Análisis de frecuencias de 5 variables cualitativas de panoja y grano, de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 53
Cuadro 12. *Análisis de frecuencias de 3 variables cualitativas de resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 53
Cuadro 13. *Matriz de correlación de Spearman para 11 variables cualitativas de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 59
Cuadro 14. *Valores propios, porcentaje de la varianza y contribuciones individuales de 10 variables cualitativas originales a la formación de tres componentes principales.* ... 61
Cuadro 15. *Correlaciones entre variables originales de 6 accesiones y las 4 primeras dimensiones principales, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Ubicación de la parcela de evaluación de accesiones de quinua, Estación Experimental de Kallutaca, La Paz.* 19
Figura 2. *Gráfica de temperatura y precipitación registrada en Kallutaca durante la campaña agrícola 2021-2022*..... 33
Figura 3. *Distribución espacial de 16 variables cuantitativas sobre los dos primeros componentes principales.* 50
Figura 4. *Colores de panoja en madurez fisiológica de seis accesiones de quinua evaluadas en localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 54
Figura 5. *Forma de panoja en seis accesiones de quinua evaluadas en localidad de Kallutaca, 2021-2022.*..... 54
Figura 6. *Distribución espacial de 10 variables cualitativas sobre los primeros componentes principales.* 62
Figura 7. *Distribución espacial de variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 66
Figura 8. *Distribución espacial de variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.* 67
Figura 9. *Dendograma para 6 accesiones de quinua caracterizadas y evaluadas en la campaña agrícola, 2021-2022* 71
Figura 10. *Dendograma de 6 accesiones de quinua caracterizadas y evaluadas en la campaña agrícola 2021-2022* 73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Croquis del ensayo 83
Anexo 2. Descripción del área de estudio 83
Anexo 3. Variables de respuesta 84
Anexo 4. Preparación del terreno 85
Anexo 5. Material genético utilizado en la investigación 85
Anexo 6. Siembra de las accesiones de quinua. 85
Anexo 7. Toma de muestras de 5 plantas en cada unidad experimental con sus respectivos marbetes. 86
Anexo 8. Vista de panojas de las diferentes accesiones. 86
Anexo 9. Vista de las parcelas de quinua en la madurez fisiológica. 87
Anexo 10. Cosecha de las parcelas experimentales de quinua. 87
Anexo 11. Venteado de las semillas de quinua. 87

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
BNGAA	Banco Nacional de Germoplasma de Granos Altoandinos
IPGRI	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
ACP	Análisis de Componentes Principales
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
CV	Coeficiente de Variación
DE	Desviación Estándar
Cm	Centímetros
Mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
G	Gramos

RESUMEN

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar en tres bloques. Se realizaron análisis estadístico descriptivo, correlación de Pearson, correlación de Spearman, análisis de componentes principales para variables cuantitativas - cualitativas y análisis de conglomerados en 16 variables cuantitativas y 15 variables cualitativas. El primer componente principal identificó a las accesiones de quinua tardías en emerger, tardías en alcanzar la floración, de baja altura, con panojas pequeñas, de bajos rendimientos de grano por planta, pero que tuvieron granos grandes. El segundo componente identificó accesiones de porte alto, panojas anchas, tardías en alcanzar la madurez fisiológica, de granos pequeños y livianos. El análisis de frecuencias para 15 variables cualitativas permitió establecer que, en las accesiones de quinua en estudio, existe diversidad en cuanto a color de tallo principal (TCT) y color de panoja en madurez fisiológica (CPM). El análisis de correlación de Spearman mostró que el color de tallo principal (TCT) formó asociaciones significativas pero negativas con las variables color de panoja a la floración (CPF) y tolerancia a la granizada (ATG), que indican que las plantas de quinua con tallos de color amarillo presentarán panojas verdes en la floración y a su vez tendrán buena tolerancia a la granizada. El análisis de componentes principales para variables cualitativas identificó 3 componentes principales que explican el 92,5 % de la varianza total. El primer componente principal identificó las accesiones de quinua con tallos amarillos, panojas de color verde en floración, susceptibles al mildiu, con poco daño provocado por aves, buena tolerancia a granizada y con panojas rojo-amarillo o rojo-verde en madurez fisiológica. El segundo componente identificó a las accesiones de quinua con panojas mixturas (púrpura-roja) en floración, panojas de densidad intermedia, tallos de color púrpura y con estrías de color púrpura. La primera dimensión caracterizó a aquellas accesiones de quinua semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu. La segunda dimensión caracterizó a las accesiones de quinua con mala tolerancia a granizada, con alto daño provocado por aves, con colores de panoja mixtura (púrpura-rojo) en floración, tallos púrpuras, que presentaron tallos gruesos, panojas pequeñas, que produjeron granos grandes, aunque con muy bajos rendimientos. La accesión QUIN-2 (UPEA – AGRO – QUI 002), presenta características favorables para el mejoramiento genético debido a su alto rendimiento de grano y resistencia a mildiu. Esta accesión es semiprecos, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que,

además, presentan baja incidencia de mildiu. Le siguen en importancia las accesiones QUI-004 (UPEA – AGRO – QUI 004) y QUI-005 (UPEA – AGRO – QUI 005) que presentan similares características y también pueden ser una alternativa para trabajos de mejoramiento genético. El análisis de agrupamiento jerárquico posibilitó la formación de 4 grupos de variables similares entre sí. El grupo 1, está conformado por variables fenológicas. El grupo 2, está conformado por variables de grano, tolerancia a granizada y daño provocado por aves. El grupo 3, contiene a las variables de tallo, incidencia de mildiu y color de panoja en madurez fisiológica. El grupo 4, está conformado por las variables relacionadas con el rendimiento de grano por planta, entre ellas, diámetro y longitud de panoja, altura de planta, diámetro de tallo, presencia de axilas pigmentadas y color de panoja en floración.

ABSTRACT

The trial was established under a completely randomized design in three blocks. Descriptive statistical analysis, Pearson correlation, Spearman correlation, principal component analysis for quantitative-qualitative variables and cluster analysis were performed on 16 quantitative variables and 15 qualitative variables. The first principal component identified quinoa accessions that were late to emerge, late to reach flowering, low in height, with small panicles, with low grain yields per plant, but that had large grains. The second component identified tall accessions, wide panicles, late in reaching physiological maturity, with small and light grains. The frequency analysis for 15 qualitative variables allowed us to establish that, in the quinoa accessions under study, there is diversity in terms of main stem color (TCT) and panicle color at physiological maturity (CPM). Spearman's correlation analysis showed that main stem color (TCT) formed significant but negative associations with the variables panicle color at flowering (CPF) and tolerance to hail (ATG), indicating that quinoa plants with yellow stems, they will present green panicles during flowering and at the same time they will have good tolerance to hail. Principal components analysis for qualitative variables identified 3 principal components that explain 92.5% of the total variance. The first main component identified quinoa accessions with yellow stems, green panicles in flowering, susceptible to downy mildew, with little damage caused by birds, good tolerance to hail and with red-yellow or red-green panicles at physiological maturity. The second component identified quinoa accessions with mixed (purple-red) panicles in flower, panicles of intermediate density, purple stems and with purple streaks. The first main dimension characterized those semi-early quinoa accessions, with tall plants, large panicles, good yields, which produced small and light grains, and which also have a low incidence of downy mildew. The second dimension characterized the quinoa accessions with poor tolerance to hail, with high damage caused by birds, with mixed panicle colors (purple-red) in flowering, purple stems, which presented thick stems, small panicles, which produced large grains, although with very low yields. The QUIN-2 accession (UPEA – AGRO – QUI 002), presents favorable characteristics for genetic improvement due to its high grain yield and resistance to downy mildew. This accession is semi-early, with tall plants, large panicles, good yields, which produced small and light grains, and which also have a low incidence of downy mildew. Next in importance are the accessions QUI-004 (UPEA – AGRO – QUI 004) and QUI-005 (UPEA – AGRO – QUI 005), which present similar characteristics and can also be an alternative for genetic improvement work. The hierarchical grouping analysis made it possible to form 4 groups of variables similar to each other. Group 1 is made up of phenological variables. Group 2 is made up of grain variables,

tolerance to hail and damage caused by birds. Group 3 contains the variables of stem, mildew incidence and panicle color at physiological maturity. Group 4 is made up of variables related to grain yield per plant, including panicle diameter and length, plant height, stem diameter, presence of pigmented axils and panicle color during flowering.

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie nativa importante de la región Andina que recupera su trascendencia económica a nivel nacional e internacional, debido a su elevado valor nutritivo en cuanto a proteínas, vitaminas y minerales. Este atributo la convierte en la base de la dieta de la población de esta región. Otro atributo de la quinua es que tiene un alto valor agronómico y capacidad de tolerar los factores ambientales adversos como heladas y sequías, así mismo de producir en condiciones de alta salinidad, alta temperatura y altos niveles de radiación ultravioleta-B, además la quinua puede prosperar en ambientes extremadamente áridos (Via, 2015)

En Bolivia, al año se produce en promedio 20.000 toneladas métricas de quinua, el rendimiento de quinua en los últimos años se ha elevado de 604 a 634 kg/ha, así mismo la superficie cultivada también se incrementó en el transcurso de los últimos años, al pasar de 110.639 a 111.607 hectáreas. En Bolivia se dispone de una colección de germoplasma de quinua conformada por 3100 accesiones que se conservan en el Banco Nacional de Germoplasma de Granos Altoandinos, ubicado en la Estación Experimental de Toralapa, del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (Iquize, 2013).

En el ámbito nacional como mundial, actualmente los bancos genéticos suscitan mucho interés en los investigadores, quienes se dedican a encarar investigaciones destinadas a la mejora, de acuerdo a la necesidad de cada zona productora de cultivo. Actualmente existen 8 tipos de quinua para describir su diversificación y utilización de acuerdo a sus zonas agroecológicas.

Por lo descrito en los párrafos anteriores, en la presente investigación se pretende seleccionar materiales promisorios para el programa de mejoramiento genético de la Universidad Pública de El Alto.

1.1. Antecedentes

Investigaciones anteriores han aportado de manera significativa en la caracterización de cultivos de mucho interés como la quinua, ya que durante mucho tiempo las investigaciones solo se han basado en caracterizar a partir de los caracteres morfológicos, es así como lo describe (Sánchez, 2020). El estudio realizado se basó en la caracterización de 36 caracteres, entre los cuales se destacan: porcentaje de emergencia, altura de planta, número de días al 50% de floración, número de días al 50% de madurez fisiológica, peso de grano

por panoja, diámetro de panoja, longitud de panoja, diámetro de grano, peso de 100 semillas, porcentaje de saponina y rendimiento en parcela. Se observó una similitud mayor del 68,5%.

Otras investigaciones muestran resultados tomando en cuenta la influencia de la forma de ramificación en el rendimiento: “Los cultivares de quinua ramificados tienden a obtener mayor rendimiento que aquellos que forman una sola panoja, como ejemplo de lo mencionado tenemos a las accesiones 82B y 130, que tienen alto rendimiento (alto peso por panoja y peso de 1000 granos) y son plantas ramificadas” (Rojas, 2021).

Se caracterizó morfológica y fenotípicamente a las diferentes accesiones de quinua recolectadas en las provincias de Chimborazo y Tungurahua, donde existieron variaciones notorias entre las mismas. Estos descriptores de caracterización han permitido una discriminación fácil y rápida entre fenotipos (Sánchez, 2020). Por otro lado, el mismo autor analizó la relación filogenética entre las accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) empleando la técnica de RAPDs, obteniendo en el dendrograma similitud en algunas accesiones de quinua.

(Tapia, 2020), determinó los caracteres agronómicos y componentes de rendimiento de 15 accesiones de quinua. Los análisis estadísticos realizados fueron: estadística descriptiva, análisis de varianza, correlación, regresión múltiple, análisis de componentes principales. Respecto a las variables agronómicas y variables de productividad, existen diferencias significativas entre accesiones de quinua, destacando términos rendimiento. Los componentes principales determinaron rendimiento de las accesiones de quinua; las mismas variables tuvieron un efecto directo de (0.47), (0.27), (0.49), (0.46) y (0.35) para la zona del Valle alto.

(Mendoza, 2019), estudio la correlación morfométrica de 100 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), para uso en programas de mejoramiento. El análisis estadístico descriptivo evidenció una amplia variabilidad genética en los caracteres cualitativos y cuantitativos. La eflusión de saponina se correlacionó con el aspecto del pericarpio, indicando una dependencia de manera proporcional; los granos de aspecto sucroso albergarán mayor contenido de saponina y los granos de aspecto cenizo tendrán menor contenido de saponina. El análisis de componentes principales identificó tres componentes importantes. El primer componente principal fue formado por accesiones de ciclo fenológico tardío, con plantas más altas, tallos gruesos, mayor número de ramificaciones, mayor diámetro y longitud de panoja. El segundo componente identificó

accesiones semitardías, con granos de mayor diámetro y espesor (más pesados). El tercer componente principal identificó accesiones de ciclo fenológico precoz, con panojas de tamaño mediano y rendimientos altos. En el análisis de componentes principales para datos cualitativos, la eflución de saponina y aspecto del pericarpio mostraron correlación directa, indicando que aquellas accesiones que presentaron aspecto sucroso en el pericarpio tuvieron mayor eflución de saponina, en cuestión a la longitud de sus vectores fueron las más discriminativas. Las demás variables mostraron independencia.

Finalmente, (Choque, A. 2021) determinó la variabilidad fenotípica y genotípica de 50 nuevas accesiones de quinua a través de marcadores morfológicos y moleculares, con fines de conservación y uso. En los resultados morfológicos se aplicaron análisis univariados y multivariados para 10 variables cualitativas y 11 variables cuantitativas, con un análisis descriptivo se demostró la amplia variabilidad genética en cuanto al ciclo fenológico. El análisis del componente principal se constituyó por tres componentes con el 82% de varianza de las que más importantes fueron el ciclo fenológico, diámetro de grano, altura de planta y peso de 100 granos para realizar el proceso de selección. Mediante un análisis de conglomerados se formaron cinco grupos, por lo que se distinguió al grupo (G-V) que presentaron características favorables, desecándose por planta mediana, panoja grande, tallo grueso, grano grande y con un rendimiento alto. En las variables cualitativas, se procedió mediante un análisis de frecuencia absolutas, las accesiones predominaron en un hábito de crecimiento simple, panojas maduras de color rosado de forma glomerulada y densidad compacta, con granos de color habano en el pericarpio y una alta severidad al ataque del Mildiu.

1.2. Planteamiento del problema

La falta de variedades de quinua en Bolivia es un problema importante para los productores bolivianos, la variabilidad genética y fenotípica han sido reducidos en los últimos años, si bien ha sido de interés no se tiene programas de mejoramiento, por lo tanto, son escasos los materiales avanzados a falta de motivación en la conservación In situ y Ex situ, en nuestro país no se ha visto grandes mejoras en el cultivo a diferencia de los países vecinos, los cuales cuentan con sus propias variedades. El país no hay mucho atractivo para efectos de la quinua y mucho menos para los agricultores. Entonces el problema es la necesidad de variedades de quinua en productores bolivianos.

1.3. Justificación

En Bolivia las variedades liberadas son escasas, ya que también es un cultivo que necesita de programas de mejoramiento genético, entonces acá se habla de una caracterización fenotípica de accesiones que han sido ya estudiadas, por lo que se quiere verificar su condición de promisorios para un proceso de selección, para construir un programa de mejoramiento de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto y así los materiales seleccionados o identificados puedan ser objeto de avance para nuevas variedades.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar fenotípicamente seis accesiones de quinua para la selección de materiales promisorios para el programa de mejoramiento genético de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar accesiones promisorias para el programa de mejoramiento genético de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto.
- Describir las características fenotípicas de seis accesiones de quinua.

1.5. Hipótesis

Ho ≠ No existen diferencias significativas en las características fenotípicas en las diferentes accesiones.

Ha = Existen diferencias significativas en las características fenotípicas en las diferentes accesiones.

Ho ≠ No existen diferencias significativas para la selección de accesiones promisorias.

Ha = Existen diferencias significativas para la selección de accesiones significativas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del cultivo

La quinua posee características sobresalientes intrínsecas, entre ellas, su variabilidad que conforma un tesoro genético valioso y se expresa en la variabilidad de colores de la planta, inflorescencia y semilla, formas de planta, valor nutritivo, performance productivo y ciclo de cultivo (Limachi, 2021).

2.1.1. Origen y distribución de la quinua

El cultivo presenta una amplia distribución, en la región andina y las orillas del lago Titicaca, con mayor diversidad y variación genética. Asimismo, su distribución geográfica se extiende desde los 5° Latitud Norte al sur de Colombia, hasta los 43° Latitud Sud en la décima región de Chile y su distribución altitudinal varía desde el nivel del mar en Chile hasta los 4000 msnm en el altiplano que comparten Perú y Bolivia, existiendo así quinuas de costa, valles, valles interandinos, puna y altiplano. En Bolivia, las zonas con mayor variabilidad genética y producción tanto cultivadas y silvestres se encuentran en el altiplano de La Paz, Oruro y Potosí y en los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija (MDRyT y CONACOPROQ 2009; Rojas et al., 2010), citado por (Limachi, 2021).

2.1.2. Clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica de la quinua según Cronquist (1995), citado por (Limachi, 2021).

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Caryophyliales
Familia: Chenopodiaceae
Género: Chenopodium
Especies: *Chenopodium quinoa* Willdenow
Nombre común: quinua. quinoa

2.1.3. Morfología de la quinua

La quinua es una planta herbácea de cosecha anual, erguida, de altura variable (30 a 250 cm), con un período vegetativo que varía entre 90 a 240 días (Bhargava, 2013).

2.1.3.1. Raíz

Para (Mujica, 2013), la raíz de la quinua es pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa, la cual posiblemente le de resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta, se diferencia fácilmente la raíz principal de las secundarias que son en gran número, a pesar de que pareciera ser una gran cabellera, esta se origina del periciclo, variando el color con el tipo de suelo donde crece, al germinar lo primero que se alarga es la radícula, que continúa creciendo y da lugar a la raíz, alcanzando en casos de sequía hasta 180 cm de profundidad, sus raicillas o pelos absorbentes nacen a distintas alturas y en algunos casos son tenues y muy delgadas, muy excepcionalmente se observa vuelco por efecto de vientos, exceso de humedad y mayormente es por el peso de la panoja, la profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta.

2.1.3.2. Tallo

Según (Gonzales, 2009), el tallo es de sección circular cerca de la raíz, transformándose en angular a la altura donde nacen las ramas y hojas. La corteza del tallo esta endurecida, mientras la médula es suave cuando las plantas son tiernas y seca con textura esponjosa cuando maduran.

La altura del tallo varía según la variedad, va desde 0,5 hasta 2,0 m, el color puede ser verde, verde con axilas coloreadas, verde con rayas coloreadas o púrpuras, o completamente rojo (Cruz, 2016).

2.1.3.3. Hojas

Según (Gallardo, 1997), el color de las hojas es variable dependiendo de los genotipos, se han observado pigmentos rojos, púrpuras, amarillos, que están constituidos por betalainas, tanto del tipo, betacianinas (rojo- violeta) y betaxantinas (amarillas).

Las hojas son alternas, pecioladas, con lámina romboidal, triangular o lanceolada cubierta de oxalatos de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino, tanto en el haz como en el envés, las cuales son bastante higroscópicas, captando la humedad atmosférica nocturna, controlan la excesiva transpiración por humedecimiento de las células guarda de los estomas, así como reflejan los rayos luminosos disminuyendo la radiación directa sobre las hojas, evitando el sobrecalentamiento, presentando bordes dentados, aserrados o lisos, variando el número de dientes con los genotipos, desde unos pocos hasta cerca de 25 (Mujica, 2013).

2.1.3.4. Inflorescencia

Según (Gonzales, 2009), la inflorescencia es una panoja típica denominada también panícula, constituida por un eje principal más desarrollado del cual se originan eje secundario, terciario y pedicelos que sostienen a los glomérulos, así como la disposición de las flores, puede ser laxa (Amarantiforme) o compacta (Glomerulada).

Al respecto (Álvarez, 1990), mencionan que la quinua posee tres tipos de inflorescencia: Amarantiforme, Glomerulada e Intermedia. La inflorescencia glomerulada se observa que del eje principal nacen ejes secundarios y de estos nacen ejes glomerulados que pueden tener de 0.5 a 3.0 cm de longitud en donde se agrupan las flores en número de 20 a más sobre un receptáculo, denominado glomérulo.

2.1.3.5. Flor

Para (Zurita-Silva *et al.* 2014), las flores de la quinua son pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos. La quinua es ginomonoica, posee gran número de flores, las cuales pueden ser de tres tipos: hermafroditas, femeninas (pistiladas) y androestériles

Las flores se agrupan en glomérulos de 5 sépalos, ovario supero con 3 estigmas rodeados por androceo de 5 estambres, estilo bifurcado, sin pétalos. Las mismas pueden ser, (hermafrodita con polen no viable y estambres atrofiados). En general el porcentaje de flores pistiladas es de 50 a 70%; el de flores hermafroditas es de 30 a 45% y el de flores androestériles es menos de 1% (Dizes y Bonifacio, 1992).

2.1.3.6. Fruto

El fruto de la quinua es un aquenio, tiene forma cilíndrico – lenticular, levemente ensanchado hacia el centro, en la zona ventral del aquenio se observa una cicatriz que es la inserción del fruto en el receptáculo floral, está constituido por el perigonio el cual cubre una sola semilla y se desprende con facilidad a la madurez, la cual a su vez la semilla está envuelta por un epispermo casi adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la selección (Cruz, 2016).

La semilla constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión, la episperma, está constituida por cuatro capas: una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, tiene células de forma alargada con paredes rectas. La segunda capa es muy delgada y lisa, se observa solo cuando la capa externa es translucida;

la tercera capa es decoloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta capa, translucida, está constituida por un solo estrato de células. Asimismo, el pericarpio del fruto que está pegado a la semilla presenta alvéolos y en algunas variedades se puede separar fácilmente, pegada al pericarpio se encuentra la saponina, la cual le transfiere el sabor amargo, según (Gallardo *et. al.* 1997).

2.1.4. Fases fenológicas de la quinua

2.1.4.1. Fase germinación

Fase en la cual la semilla entra en contacto con el suelo húmedo, comienza a absorber agua y aumenta así su volumen. El embrión se desprende de la semilla y comienza a crecer, lo cual sucede después de 48 horas. Tiene la característica de desplazamiento de la radícula y la plúmula en 3 días (Calla, 2012).

2.1.4.2. Fase de emergencia

Según (Zaragosa, 2010), la emergencia ocurre de 5 a 10 días después de la siembra, en esta fase la plántula emerge del suelo y extiende sus cotiledones. Al respecto Calla (2012), es la emergencia del embrión a la superficie del suelo, la misma que varía de acuerdo al tiempo de almacenamiento, variedad de la semilla y la humedad del suelo.

2.1.4.3. Fase cotiledonal

Fase en la que el hipocotilo curvo se endereza verticalmente, dando lugar a la expansión horizontal de los cotiledones. Mientras la raíz seminal se elonga rápidamente hacia abajo, formando a lo largo de ella finísimos pelos radiculares de color blanco. Se observa 2 hojas verdaderas encima de las cotiledonales sucede entre los días 15 al 20. (Calla, 2012).

2.1.4.4. Fase de hojas verdaderas

Dos hojas: En esta fase aparecen dos hojas verdaderas, además de las hojas cotiledonales, ocurre entre 15 a 20 días después de la siembra. Fase en la que el tejido meristemático apical cambia de la etapa vegetativa a la reproductiva, dando lugar a la formación de primordios foliares y florales. Cinco hojas: Esta fase se caracteriza por la completa expansión de cinco primeras hojas alternas; el resto de las hojas en crecimiento se encuentran arrepolladas alrededor del ápice. (Rodríguez, 2005).

2.1.4.5. Fase de floración o antesis

Según (Calla, 2012), es la fase de mayor crecimiento en longitud y la planta se encuentra en plena floración. Se da cuando el 50% de las flores de la panoja se encuentran abiertas y sucede de los 90 a 100 días después de la siembra, etapa altamente susceptible a las heladas y a las sequías. En esta fase es posible observar la flor hermafrodita abierta con estambres separados.

2.1.4.6. Fase de grano lechoso

Según (Zaragosa, 2010), entre los 100 y 130 días de desarrollo de las plantas se observa el grano lechoso, frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso.

2.1.4.7. Fase de grano pastoso.

En esta fase el tejido perispérmico sufre un cambio del estado lechoso a un estado pastoso semisólido; es un cambio que ocurre a medida que el contenido de almidón aumenta, mientras el contenido de agua se va reduciendo. Es una etapa en la que la tolerancia a heladas y sequías es muy notable. Al ser presionado el fruto la consistencia es pastosa entre los 130 a 160 días (Calla, 2012). Para (Zaragosa, 2010), en esta fase se observa el grano pastoso, es cuando los granos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco.

2.1.4.8. Fase de madurez fisiológica

Según (Zaragosa, 2010) entre los 160 a 180 después de la siembra, las plantas de quinua alcanzan la madurez fisiológica y se caracteriza porque el grano presenta resistencia al ser presionado con las uñas, el contenido de humedad del grano varía entre 14 – 16 %.

2.1.5. Requerimientos edafoclimáticos

2.1.5.1. Suelo y pH

La planta de quinua se adapta en suelos desde los más sueltos (arenosos) hasta suelos pesados (arcillosos). Sin embargo, la quinua se comporta mejor en suelos más sueltos, donde no se encharque el agua. También responde mejor en suelos ricos en materia orgánica. El cultivo de la quinua resiste bien a los suelos con un pH de 4,5 (ácidos) hasta 9,5 (alcalinos) según los ecotipo (Martínez, 2012).

2.1.5.2. Agua

La planta de la quinua puede soportar la sequía, pero no en exceso, sin embargo, en la fase inicial de la planta, es importante contar con buena humedad en el suelo, hasta que las raíces profundicen. Además, siempre será mejor contar con agua para regar cuando la planta lo necesite, logrando así mejor desarrollo y rendimientos en la producción (Martinez, 2012).

2.1.5.3. Temperatura

Existen un gran número de variedades para cada clima, el cultivo de quinua se puede sacar adelante en climas muy diferentes como: desérticos, calurosos y secos, calurosos con mucha humedad relativa, fríos, templados y lluviosos. La temperatura media óptima para el cultivo de quínoa esta entre 15 y 20°C, pero también soporta temperaturas extremas de entre - 8 y 38°C. (Salvatierra, 2016).

2.1.5.4. Radiación solar

La planta de la quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los Andes, sin embargo, estas altas radiaciones permiten compensar las horas calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo.” Los sectores de más alta iluminación solar son los más favorables para el cultivo de la quinua, ya que ello contribuye a una mayor actividad fotosintética” (Zaragosa, 2010).

2.1.5.5. Precipitación pluvial

La quinua se cultiva dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1000 mm. Se considera que el rango de precipitación óptima es de 500 a 800 mm. Además, se ha observado que la quinua es un cultivo capaz de soportar la sequía, pero no en exceso, la cual hace notar su importancia en el altiplano (Gómez, 2016).

2.1.6. Factores bióticos y abióticos adversos

2.1.6.1. Principales plagas insectiles del cultivo

Según (Saravia y Quispe, 2005), durante todo su periodo vegetativo, el cultivo de la quinua es afectado por una amplia gama de insectos, de los cuales fueron identificadas alrededor de 17 especies que concurren al cultivo de la quinua. Entre las plagas de mayor importancia económica se encuentran la polilla de la quinua (*Eurysacca melanocampta* Meyrick) y el

complejo ticonas (*Copitarsia turbata, Feltia sp, Heliothis titicaquensis, Spodoptera* sp). Las pérdidas ocasionadas por estas plagas pueden oscilar entre un 5 a 67%, con un promedio de 33.37 % en el Altiplano Sur y entre 6 a 45% en el Altiplano Centro, con un promedio de 21.31%.

2.1.6.2. Principales enfermedades del cultivo

Principales enfermedades de la quinua que causan pérdidas en la producción son: Peronospora variabilis (Mildiu de la quinua), Pythium sp., Fusarium sp. Rhizoctonia solani (Chupadera Fungosa), Cercospora sp. (Manchas foliares) y Phoma exigua var. foveata (Pudredumbre marrón del tallo) (Cruces, 2016).

Al respecto (Veas y Cortés, 2016) mencionan que la presencia de enfermedades en la región ha sido mínima. Entre las enfermedades, el mildiu (Peronospora spp.) es la que se presenta con mayor incidencia. Los controles deben efectuarse en forma preventiva para las enfermedades causadas por hongos. En el caso del mildiu, se presenta especialmente bajo condiciones de humedad (mayor a 80%) y temperaturas entre 20-25ºC. El control debe efectuarse lo más temprano en lo posible cuando aparezcan los primeros signos de la enfermedad. En el caso de no hacer control cuando corresponda, su repercusión es grave, pudiendo anular la producción por completo.

2.1.6.3. Ataque de aves

Otras plagas de importancia agrícola en el cultivo de la quinua son las aves que atacan en diferentes estadios de la planta, causan daños en la emergencia y durante la madurez fisiológica del grano, provocando una disminución de los rendimientos hasta en un 60%. Por otro lado, los ratones también afectan la emergencia, pero principalmente la post cosecha, consumiendo el grano y anidando en los lugares donde se encuentra la producción. Las liebres y conejos atacan en toda la fase vegetativa, pero en lugares con alta incidencia podría provocar daños considerables en la fase de germinación. El daño por caprinos o caballares puede ser desastroso si no se toman las medidas adecuadas para evitar el acceso a este cultivo, es recomendable el cercado de la superficie a cultivar (Veas y Cortés, 2016).

2.2. Índices productivos de la quinua

2.2.1. Superficie de producción

Según (Puña *et al.* 2021), la superficie de producción de quinua en los últimos 20 años se ha extendido más allá de las áreas tradicionales. En efecto, la superficie cultivada en Bolivia se

ha multiplicado por 3 entre los años 1995 (35 mil ha) y 2014 (120 mil ha). La superficie cultivada en Oruro y Potosí se ha triplicado entre los años (1990 y 2020) llegando a 15.050 ha y 12.217 ha en el año 1990 hasta 2020 con 55.718 ha y 44.204 ha, respectivamente. Por otro lado, Cochabamba, Chuquisaca y Tarija cuentan con 500 ha, 224 ha y 14 ha cultivadas, respectivamente. Es importante resaltar que el cultivo de quinua se ha extendido en las tierras bajas de Santa Cruz donde se cultiva con un promedio de 7 ha a partir del año 2012 hasta la actualidad. Por último, Beni y Pando no presentan superficie cultivada de quinua.

2.2.2. Producción de quinua

La producción de quinua aumentó apreciablemente a partir del año 2007 hallando su punto más alto en el periodo de los años 2014-2015 de 40 mil Tn, 26 mil Tn y 8 mil Tn para Oruro, Potosí y La Paz, respectivamente. Además, se puede observar que La Paz ha experimentado una producción de quinua, sin el aumento de los otros departamentos, entre 1990 y 2020 que oscila entre 5 y 9 mil Tn. Cochabamba presenta una producción promedio de 270 Tn, Tarija y Santa Cruz con una producción promedio muy por debajo de 10 Tm. Posteriormente, se produce una ligera caída para el año 2016 especialmente en los departamentos de Oruro y Potosí, a partir de la cual se estabilizó hasta la actualidad (Puña *et al.* 2021).

2.2.3. Rendimiento de la quinua en Bolivia

Al respecto (Puña *et al.* 2021), mencionan que el rendimiento por hectárea no presenta grandes cambios, como para la gran mayoría de productos de la agricultura familiar. En el caso de la quinua el apoyo y promoción de organismos internacionales y nacionales se ha traducido en una mejora del rendimiento de 0.56 Tn/ha en 1995 a 0.61 Tn/ha en 2020. Las últimas tres décadas el rendimiento de la Quinua ha mostrado fluctuaciones: en la década de los 90 un rendimiento promedio de 0,48 Tn/ha, en cambio entre los años 2000 y 2010, vemos una disminución a 0,45 Tn/ha en 2006, a partir de la que se tiene una tendencia creciente. En la actualidad los rendimientos parecen haber llegado a una meseta alrededor de 0,6 Tn/ha los últimos 5 años.

2.3. Características del cultivo

2.3.1. Características fenotípicas

Con el objeto de mostrar la amplia variabilidad genética de quinua que se dispone, se presentan a continuación los parámetros de algunas variables de interés de la colección boliviana de quinua (Rojas *et al.,* 2009 citado por FAO, 2011):

- Color de la planta antes de la floración (verde, púrpura, mixtura y rojo)
- Color de la planta a la madurez fisiológica (presenta varios colores intermedios entre blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café y negro)
- Forma de panoja (amarantiforme, glomerulada e intermedia)
- Densidad de la panoja (compacta, laxa e intermedia)
- Color del grano -blanco, crema, amarillo, naranja, rosado, rojo, púrpura, café, negro- y se han identificado 66 colores de grano.
- Ciclo vegetativo (110 a 210 días)
- Rendimiento de grano por planta (48 a 250 g)
- Diámetro de grano (1,36 a 2,66 mm)
- Peso de 100 granos (0,12 a 0,60 g)
- Contenido proteico del grano (10,21 a 18,39%)
- Diámetro de gránulo de almidón (1,5 a 22 µ)

2.3.2. Características de adaptabilidad

Según (FAO, 2011), la región Andina y en particular el altiplano que comparten Perú y Bolivia presentan una de las ecologías más difíciles para la agricultura moderna. Sin embargo, en ese medio ecológico de escasa interacción biótica pervive la quinua. Los límites altitudinales del Altiplano son de 3000 a 4000 metros sobre el nivel del mar, donde los suelos son frecuentemente aluviales y de escaso drenaje. 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. 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.

Tomando en consideración las condiciones donde se desarrolla el cultivo y la amplia variabilidad genética de que se dispone, la quinua tiene una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos. Se adapta a diferentes climas, desde el desértico hasta climas calurosos y secos, el cultivo puede crecer con humedades relativas desde 40% hasta 88% de humedad, y la temperatura adecuada para el cultivo es de 15 a 20°C, pero puede

soportar temperaturas desde - 4°C hasta 38°C. Es una planta eficiente al uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo, obteniéndose producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm. (FAO, 2011).

2.4. Programas de mejoramiento genético de la quinua

Al respecto (Bonifacio, 2019), rememora los avances de programas de mejoramiento genético de la quinua en Bolivia indicando que, el mejoramiento de la quinua en el altiplano andino se inició en las décadas de 1960 y 1970 cuando se propusieron métodos de selección masal, selección individual, selección panoja-surco, selección pedigrí y el método de retrocruzamiento.

Posteriormente, incluyeron otros métodos, como la selección masal estratificada, la selección individual-masal combinada, la descendencia de semilla única y el método masivo, en ese momento los objetivos de mejoramiento eran el rendimiento, grano grande y libre de saponina. Desde la década de 1990 se han realizado esfuerzos para obtener variedades de maduración temprana y resistentes a la enfermedad del mildiu. Desde el año 2000, la tolerancia al granizo se ha considerado un criterio de selección en la quinua. señalan la tolerancia a factores climáticos adversos como heladas, sequía y granizo entre los criterios de selección en quinua para la sierra (Bonifacio *et al*., 2014a; Bonifacio *et al*., 2014b; Gómez-Pando 2015; Gómez-Pando y Aguilar 2016 mencionados por Bonifacio, 2019).

Con los avances en biología molecular, recientemente se han desarrollado herramientas modernas para la caracterización molecular de la diversidad genética y para la selección asistida por marcadores moleculares. Posteriormente, se trabajó en la obtención de una línea pura de quinua (Kd) que les permitiera realizar un análisis molecular riguroso y ensamblaron la secuencia del genoma de la línea Kd, que proporcionó una base importante para determinar las funciones precisas y la cantidad de genes candidatos. y vías que regulan la tolerancia al estrés abiótico en la quinua. Por otro lado, se ensambló la secuencia del genoma de referencia para la quinua, y esta secuencia les permitió identificar el factor de transcripción que muy probablemente controla la producción de saponina en las semillas de quinua y una mutación en líneas de quinua dulce, afirmando que estos avances en el desarrollo de herramientas modernas son los primeros pasos para acelerar el mejoramiento de la quinua. (Mason *et al*. 2005; Jarvis *et al*. 2008; Yasui *et al*. 2016; Jarvis *et al*. 2017, citados por Bonifacio, 2019).

El mismo autor señala que la aplicación de estos métodos de mejoramiento de la quinua en

los programas de Bolivia ha permitido obtener variedades mejoradas. Las Cuadro 1 y 2 muestran la lista de variedades de quinua Bolivia para condiciones de altura.

Cuadro 1. *Variedades mejoradas de quinua liberadas por el antiguo IBTA en Bolivia (1967–1996).*

Variedad	Saponina	Color de grano	Tamaño de semilla	Días a la madurez	Adaptación
Sajama	Dulce	Blanco	Medio	150	Altiplano central
Samaranti	Dulce	Blanco	Medio	160	Altiplano central
Huaranga	Dulce	Blanco	Medio	160	Altiplano central
Chucapaca	Dulce	Blanco	Medio	160	Altiplano central
Kamiri	Dulce	Blanco	Medio	140	Altiplano central
Sayaña	Dulce	Amarillo	Medio	145	Altiplano central
Ratuquí	Dulce	Blanco	Medio	140	Altiplano central
Robura	Dulce	Blanco	Medio	170	Altiplano central
Jiskitu	Dulce	Blanco	Medio	140	Altiplano central
Amilda	Dulce	Blanco	Medio	160	Altiplano central
Santa Maria	Dulce	Blanco	Grande	170	Altiplano central
Intinayrá	Dulce	Blanco	Grande	160	Altiplano central
Surumi	Dulce	Blanco	Medio	160	Altiplano central
Jilata	Dulce	Blanco	Grande	170	Altiplano central
Jumataki	Dulce	Blanco	Grande	160	Altiplano central
Patacamaya	Dulce	Blanco	Grande	145	Altiplano central

Fuente: Bonifacio (2019) con base en Risi, Rojas y Pacheco (2015)

Cuadro 2. *Variedades obtenidas por la Fundación PROINPA (1999-2010).*

Variedad	Saponina	Tamaño de semilla	Color de grano	Días a la madurez	Adaptación
Jacha Grano	Amargo	Blanco	Grande	145	Altiplano Central y Norte.
Kurmí	Dulce	Blanco	Grande	160	Altiplano Central y Norte
Aynuqa	Dulce	Blanco	Grande	145	Altiplano Central
Horizontes	Amargo	Blanco	Grande	145	Altiplano Sur y Central
Qosuña	Dulce	Blanco	Grande	150	Altiplano Sur y Central
Blanquita	Dulce	Blanco	Medio	160 a 170	Altiplano Norte, Valles

Fuente: Bonifacio, 2019, con base en Bonifacio y Vargas (2005), y Risi, Rojas y Pacheco (2015)

2.5. Análisis estadístico

2.5.1. Estadística descriptiva

Este análisis se realiza para describir y analizar el comportamiento de los diferentes genotipos con relación a cada carácter cuantitativo, determinando el promedio, rango de variación, desviación estándar y coeficiente de variación que representan las medidas de tendencia central y de dispersión (Steel y Torrie, 1988; citado por Pinto, 2002). La información cualitativa es analizada mediante frecuencia relativa y absoluta.

a) La media aritmética

Es una medida de tendencia central que ayuda a caracterizar el germoplasma y permite relacionar un atributo de una accesión con un valor central dicho atributo.

b) El rango de variación

Se define como la diferencia entre el valor mínimo y el máximo de cualquier variable sobre el conjunto de genotipos estudiados.

c) La desviación estándar

Cuantifica la magnitud de la variación respecto a la media aritmética y se expresa en las mismas unidades que las observaciones originales. Proporciona una idea del estado (próxima o dispersa) de la mayoría de las accesiones de la colección en relación a una característica considerada.

d) El coeficiente de variación.

Es una medida relativa de variación que define más intrínsecamente la magnitud de la variabilidad de los caracteres estudiados debido a que es independiente de las unidades de medida. Facilita la comparación de la variabilidad de una misma característica en dos grupos de accesiones o de caracteres medidos sobre la misma colección.

2.5.2. Coeficiente de correlación de Pearson

Es el estudio de la asociación no causal entre dos o más variables, es decir, si los cambios en una variable corresponden a cambios en la otra; éstos pueden ser en la misma dirección es decir que cuando una aumenta, la otra aumenta, dando una correlación positiva o en dirección contraria; cuando una aumenta, la otra disminuye: correlación negativa; o pueden no relacionarse esto cuando una aumenta, la otra a veces aumenta, a veces disminuye y a veces sigue igual dando una correlación nula (Días *et al.* 2014).

2.5.3. Coeficiente de correlación de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman se basa en los valores jerarquizados de cada variable y no en los datos sin procesar; es una medida de correlación entre dos variables aleatorias (tanto continuas como discretas). La función de la correlación de Spearman es determinar si existe una relación lineal entre dos variables a nivel ordinal y que esta relación no sea debida al azar; es decir, que la relación sea estadísticamente significativa, este análisis se suele utilizar para evaluar relaciones en las que intervienen variables ordinales (Limachi, 2021).

2.5.4. Análisis multivariado

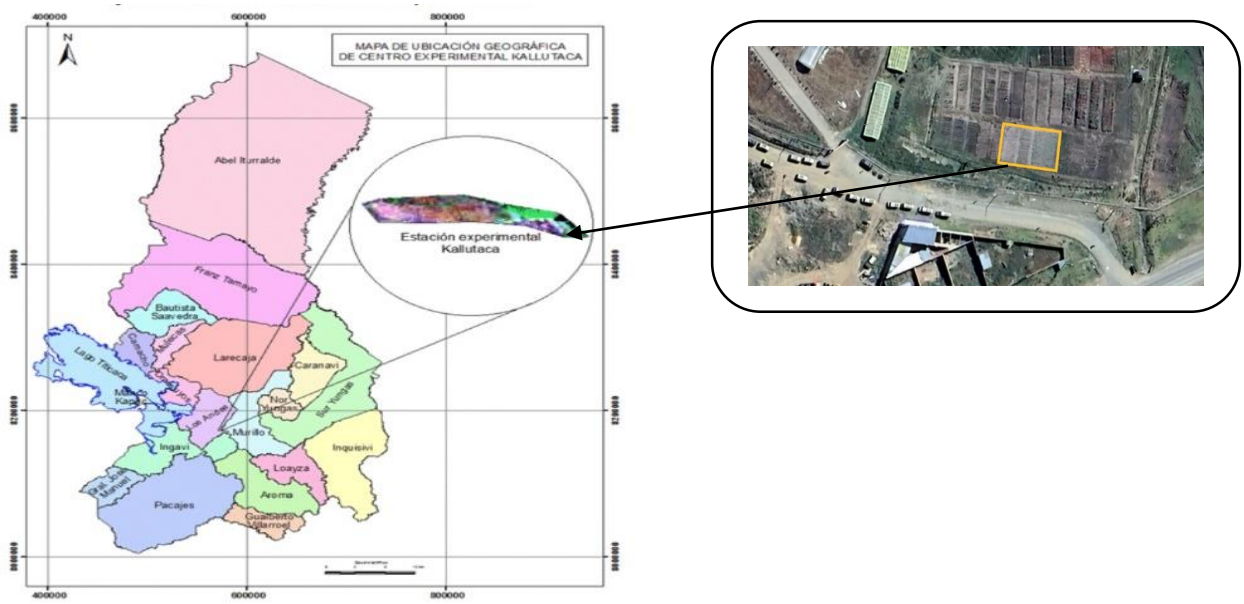
El análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. En sentido estricto, son una extensión de los análisis univariados (análisis de distribución) y bivariados (clasificaciones cruzadas, correlación, análisis de varianza y regresiones simples) que se consideran como tal si todas las variables son aleatorias y están interrelacionadas (Pinto, 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Ubicación geográfica

El presente estudio se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, dependiente de la Universidad Pública de El Alto (UPEA), en la campaña agrícola 2021 – 2022. La estación se encuentra ubicada en la Provincia Los Andes, segunda sección Municipal de Laja del Departamento de La Paz, a 20 km de la Sede de Gobierno. Geográficamente, se encuentra situada entre los 16° 26' 19" y 16° 15' 11" de Longitud Oeste, entre los 68° 19' 49.18" y 68° 29' 49.81" de Latitud Sur y a una altitud de 3800 msnm.

Figura 1. *Ubicación de la parcela de evaluación de accesiones de quinua, Estación Experimental de Kallutaca, La Paz.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

3.2. Características agroecológicas

3.2.1. Clima

En el Centro Experimental Kallutaca, el comportamiento de la temperatura media es de 7.1° C, mínimas de -11° 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 23.3° C (Guarachi, 2011). El mismo autor señala que la humedad relativa en los meses de diciembre a marzo registra valores entre 64.5 a 71.0 % (verano), en meses de junio a agosto se evidencian valores promedios de 40.0 % (invierno).

3.2.2. Suelo

De acuerdo al análisis físico-químico de suelos bajo el respaldo del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA_UMSA) y laboratorio de suelos (UMSS), presentan suelos con textura franco-arcillosa, la densidad aparente es de 1.32 y 1.11 g/cm respectivamente. En cuanto al pH del suelo reporta un valor de 7.4, y una conductividad eléctrica de 2280 µS/cm. Así mismo presentan una acumulación de 4.4 % de materia orgánica (Guarachi, 2011).

3.2.3. Flora

La flora existente en el Centro Experimental de Kallutaca, presenta vegetación natural conformada en su mayor parte por: paja brava (*Achnaterum ichu*), tólares (*Parastephia sp*), añawayas (*Adesmia miraflorensis*), Chilligua (*Paspalun pignaeron*), cebadilla (*Bromus inermis*), diente de león (*Taraxacum officinalis*). Entre los principales cultivos se encuentran la papa (*Solanum tuberosum*) y la Cebada (*Hordeum sativum*) (Moñocopa, 2012).

3.3. Materiales

3.3.1. Material genético

Para el estudio de esta investigación, se trabajó con 6 accesiones de quinua procedentes del banco de germoplasma de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto UPEA.

Cuadro 3. *Detalle de accesiones consideradas en la investigación*

No.	Accesión
1	UPEA – AGRO – QUI 001
2	UPEA – AGRO – QUI 002
3	UPEA – AGRO – QUI 003
4	UPEA – AGRO – QUI 004
5	UPEA – AGRO – QUI 005
6	UPEA – AGRO – QUI 006

Fuente: Elaboración propia, 2023

3.3.2. Material de campo

Las actividades en campo se realizaron con los siguientes materiales: cinta métrica de 100 m para la delimitación del terreno, estacas de madera para la demarcación de las unidades experimentales, cuerdas, picotas, palas y rastrillo para nivelado del terreno y apertura de surcos, etiquetas o marbetes para la identificación de plantas de quinua, flexómetro y vernier para medir las variables de la planta, cámara fotográfica para registro fotográfico de las actividades realizadas, cuaderno de registro, hoces, sobre manila para las muestras, yutes para la cosecha y venteadora para sacar las impurezas del grano.

3.3.3. Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron fueron los siguientes: cuaderno de registro, vernier automático y balanza analítica.

3.3.4. Material de gabinete

Descriptores estándar, computadora, impresora, papel bon, cámara fotográfica, calculadora, formularios, hojas de registro, bolígrafos, regla de 30 cm, Microsoft office (Word, Excel, PowerPoint), paquetes estadísticos. Todos estos materiales fueron necesarios para plasmar los resultados en un documento final.

3.4. Método

3.4.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en el roturado, rastreado y nivelado con el apoyo del tractor agrícola de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto. Esta actividad se efectuó con el propósito de mantener una humedad uniforme en el suelo y facilitar la germinación de las semillas.

3.4.2. Preparación de semilla

Se pesó con una balanza analítica 6 gramos de semilla de cada accesión y se colocó en pequeñas bolsas de plástico con su respectiva identificación. La cantidad de semilla preparada por accesión equivale a una densidad de siembra de 8 $kg^{*}\ ha^{-1}$.

3.4.3. Siembra

La siembra se efectuó el 10 de octubre de 2021. Se realizó la siembra al hoyo, el área de trabajo tuvo una superficie de 144 m^2 (12 m de largo x 12 m de ancho), dividiéndose en 3

bloques separados por pasillos de 1 m, cada bloque contó con 6 parcelas de 3 surcos cada uno (cada surco de 2 m de largo con un espaciamiento de 0.5 m entre ellos).

3.4.4. Marbeteo

Esta actividad consistió en la identificación de 5 plantas seleccionadas al azar de cada accesión, una vez que alcanzaron una altura promedio de 20 cm, se estableció un identificador a cada una con el propósito de facilitar la evaluación de datos cuantitativos y cualitativos.

3.4.5. Labores culturales

a) Riego: se aplicó riego día por medio después de la siembra, esto para obtener un mayor porcentaje de germinación en campo.

b) Deshierbe: se realizó la eliminación de hierbas presentes en las parcelas cada 15 días, para reducir la competencia por espacio, luz y la absorción de nutrientes en el cultivo.

c) Aporque: actividad realizada en la etapa de ramificación, para dar mayor aireación en la zona radicular, así mismo evitar acame por presencia del viento.

3.4.6. Cosecha y post cosecha

La cosecha se realizó conforme cada accesión alcanzó la madurez fisiológica. Consistió en el segado, secado, trillado y venteado en forma consecutiva.

La cosecha se realizó de forma manual, cortando las plantas desde la base del cuello con ayuda de hoz, en fechas 9 de abril (1era cosecha) y 20 de abril (2da cosecha).

La trilla fue individual por accesión, mediante el pisado y pulido en forma manual, logrando desprender el perigonio del fruto.

El venteado se realizó con la ayuda de la venteadora de granos, para eliminar las impurezas obteniendo grano limpio.

3.4.7. Caracterización y evaluación

Estas actividades se realizaron por separado, la evaluación de variables fenológicas, se realizó sobre el total de plantas en cada accesión, registrando los días transcurridos desde la siembra hasta que las accesiones alcanzaron las diferentes fases fenológicas.

La caracterización de variables morfológicas se efectuó en 5 plantas seleccionadas al azar

de cada accesión. En estas plantas se tomaron los datos de variables cuantitativas y cualitativas de planta, panoja y grano.

3.5. Diseño experimental

En el presente estudio se aplicó el Diseño de Bloques Completamente al Azar, con 6 accesiones, distribuidas en tres bloques.

3.5.1. Modelo lineal aditivo

Para el análisis de resultados se realizó de acuerdo al siguiente modelo estadístico lineal.

$$Xij = \mu+\beta j +\alpha i + \varepsilon ij$$

Dónde:

Xij = Una observación cualquiera

μ = Media general

βj = Efecto del j-ésimo bloque

αi = Efecto de la i-ésima accesión de quinua

εij = Error experimental

3.6. Variables de respuesta

Para el presente estudio se consideraron 31 variables de caracterización y evaluación (16 cuantitativas y 15 cualitativas) con su respectiva codificación (Cuadro 4), incluyen variables fenológicas, morfológicas y aquellas relacionadas con el desarrollo productivo de la quinua (factores bióticos y abióticos), las cuales están incluidas en la lista de los descriptores de la quinua y sus parientes silvestres publicados por (Biodiversity *et al.* 2013).

Cuadro 4. *Detalle de variables caracterizadas y evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, La Paz.*

Característica	ID	Código	Variable
Arquitectura	1	AHC	Habito de crecimiento
	2	AAP	Altura de la planta
	3	APR	Presencia de ramificación
Tallo	4	TFT	Forma de tallo principal
	5	TDM	Diámetro de tallo principal
	6	TCT	Color de tallo principal
	7	CXP	Presencia de axilas pigmentadas
	8	TPE	Presencia de estrías
	9	CTE	Color de estrías en el tallo
Inflorescencia	10	CPF	Color de panoja a la floración
	11	CPM	Color de panoja a la madurez
	12	IFO	Forma de panoja
	13	IDE	Densidad de panoja
	14	ILO	Longitud de panoja (cm)
	15	IDI	Diámetro de la panoja (mm)
Grano	16	GDI	Diámetro de grano (mm)
	17	GAG	Ancho del grano
	18	GES	Espesor de grano
	19	GPE	Peso de 100 gramos (g)
	20	GFO	Forma de grano
Rendimiento	21	RGR	Rendimiento de semilla por planta
Fenología	22	FDE	Días a la emergencia
	23	FIP	Número de días hasta el inicio de panojamiento
	24	FIF	Número de días hasta inicio de floración
	25	F%L	Número de días hasta 50% de floración
	26	FGL	Número de días hasta grano lechoso
	27	FGM	Número de días hasta grano pastoso
	28	FMF	Número de días hasta la madurez fisiológica
Susceptibilidad	29	ATG	Tolerancia a granizada
	30	BIM	Incidencia de mildiu
	31	BDA	Daño provocado por aves (%)

Fuente: Elaboración propia, 2023, en base al Descriptor para quinua Bioversity *et al.,* 2013.

3.6.1. Variables cuantitativas

1. Número de días a la emergencia (FDE)

Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta que se observó la emergencia del 50% de plantas en surco.

2. Número de días hasta el inicio de panojamiento (FIP)

Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas en desarrollo presentaron botón floral, visible a simple vista en el ápice de las plantas.

3. Número de días hasta inicio de floración (FIF)

Para el registro de esta variable se cuantificó el número de días trascurridos desde la siembra hasta que las plantas mostraron las primeras flores abiertas en la panoja principal, registrándose de forma escalonada de acuerdo al inicio de floración de cada accesión.

4. Número de días hasta el 50% de floración (F%L)

El registro de esta variable, se cuantificó los días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas de quinua de cada accesión tuvieran panojas con el 50% de flores abiertas, con estambres amarillos visibles a simple vista. Esta variable se registró de forma escalonada, de acuerdo a que las plantas alcanzaron esta fase fenológica.

5. Número de días hasta grano lechoso (FGL)

Se registró el número de días trascurridos desde la siembra hasta que las plantas presenten grano turgente, que al ser presionado con las uñas liberen un líquido blanquecino (grano lechoso), los datos se registraron de forma escalonada.

6. Número de días hasta grano pastoso (FGM)

Se registró el número de días trascurridos desde la siembra hasta que las plantas presenten un grano pastoso o grano pastoso. Los granos al ser presionados con las uñas presentan una consistencia pastosa de color blanco, los datos se registraron de forma escalonada.

7. Número de días hasta la madurez fisiológica (FMF)

Se registró los números de días trascurridos desde la siembra hasta que las plantas presenten el 50% de granos maduros, al ser presionado los granos con la uña presenta una resistencia consistencia dura, los datos se registraron de forma escalonada, según las

plantas alcanzaron la madurez fisiológica.

8. Altura de planta (AAP)

Se registró cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Se midió la altura máxima de cada planta en centímetros, con un flexómetro desde la base del tallo de la planta hasta la parte superior final de la panoja principal. Esta variable se registró en 5 plantas marbeteadas al azar de cada unidad experimental.

9. Diámetro de tallo principal (TDM)

Se registró en la etapa de la madurez fisiológica, con la ayuda de un calibrador vernier, se midió el diámetro del tallo en milímetros, en la parte media del tercio inferior de las 5 plantas marbeteadas.

10. Longitud de panoja (ILO)

Este dato se registró en la etapa de madurez fisiológica, se tomó la longitud máxima de la panoja en centímetros, desde la unión con el tallo principal hasta la parte final de la panoja con la ayuda de un flexómetro.

11. Diámetro de la panoja (IDI)

Esta variable se registró en la etapa de la madurez fisiológica, considerándose el diámetro en el tercio medio de la panoja principal con la ayuda de un calibrador tipo vernier.

12. Diámetro del grano (GDI)

Se registró el diámetro máximo de 10 granos de quinua seleccionados al azar en cada accesión. Esta variable se registró en milímetros con ayuda de un calibrador digital, en granos sin perigonio.

13. Espesor de grano (GES)

Se registró el espesor máximo de 10 granos de quinua seleccionados al azar en cada accesión. Esta variable se registró en milímetros con ayuda de un calibrador digital, en granos sin perigonio.

14. Peso de 100 granos (GPE)

Para el registro de esta variable, se realizó el conteo de 100 granos por cada muestra. El peso registró en gramos, con ayuda de una balanza analítica de precisión.

15. Rendimiento de grano por planta (RGR)

Para el registro de rendimiento, se pesó el total de granos obtenidos de las plantas marbeteadas de cada unidad experimental y se calculó el promedio del peso de grano por planta.

3.6.2. Variables cualitativas

1. Habito de crecimiento (AHC)

El registro de esta variable se realizó en plantas que alcanzaron la etapa de madurez fisiológica, debido a que en esta etapa las plantas completan su desarrollo, se valorizó de acuerdo a la escala por descriptor:

1 Simple

2 Ramificado hasta el tercio inferior

3 Ramificado hasta el segundo tercio

4 Ramificado con panoja principal no definida

2. Presencia de ramificación (APR)

La valoración de esta variable se realizó cuando las plantas alcanzaron la etapa de madurez fisiológica, la escala de valoración para describir la presencia de ramificación fue:

0 Ausente

1 Presente

4. Forma de tallo principal (TFT)

Esta variable se registró cuando las plantas llegaron a la madurez fisiológica, observando desde la vista transversal en el tercio inferior de la planta, los valores para describir fueron:

1 Cilíndrico

2 Anguloso

5. Color de tallo principal (TCT)

Para el registro de esta variable se registró el color predominante en el tallo principal cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, las coloraciones establecidas por el descriptor fueron:

1 Blanco

2 Purpura

3 Rojo

4 Rosado

5 Amarillo

6 Anaranjado

7 Marrón

8 Gris

9 Negro

10 Verde

6. Presencia de axilas pigmentadas (CXP)

Esta variable se registró cuando las plantas llegaron a plena floración, se observó en la intersección entre el tallo y las ramas primarias, se clasifico de acuerdo a los siguientes datos:

0 Ausente

1 Presente

2 No determinadas

7. Presencia de estrías (TPE)

Se registró cuando las plantas alcanzaron plena floración, se observó el tallo principal de la planta, se valoró de acuerdo a las siguientes características:

0 Ausente

1 Presente

8. Color de las estrías en el tallo (CTE)

De la misma manera se tomó los datos cuando las plantas llegaron a plena floración, observando en la parte media del tercio medio de la planta, se valoró de acuerdo a los colores establecidos por el descriptor:

1 Verdes

2 Amarillas

3 Rojas

4 Purpura

5 Otro

9. Color de panoja a la floración (CPF)

Este dato fue registrado según la coloración de panoja que presentaban las plantas en plena floración, los valores descritos según el descriptor son las siguientes:

1 Verde

2 Purpura

3 Rojo

4 Mixtura (purpura y rojo)

10. Color de panoja a la madurez (CPM)

Para este carácter se observó el color de las panojas cuando las plantas llegaron a madurez fisiológica, comparando con los valores de acuerdo al descriptor que fueron:

1. Blanco
2. Purpura
3. Rojo
4. Rosado
5. Amarillo
6. Anaranjado
7. Marrón
8. Gris
9. Negro
10. Rojo y blanco
11. Rojo y rosado
12. Rojo y amarillo
13. Verde
14. Rojo y verde
99. Otros

11. Forma de panoja (IFO)

La forma de la panoja fue determinada en la etapa de madurez fisiológica, este carácter fue clasificado de acuerdo a los siguientes estados:

1 Glomerulada (glomérulos están insertos en los ejes glomerulares y presentan una forma globosa)

2 Intermedia (apariencia de ambas formas)

3 Amarantiforme (glomérulos están insertados directamente en el eje secundario y presentan una forma alargada).

12. Densidad de panoja (IDE)

Esta variable se registró cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica, se consideraron los valores de acuerdo al descriptor:

1 Laxa

2 Intermedia

3 Compacta

13. Forma de grano (GFO)

Para el registro de esta variable se observó con la ayuda de un estereoscopio binocular, para determinar la forma de cada grano de acuerdo a las siguientes características:

1 Lenticular

2 Cilindro

3 Elipsoidal

4 Cónico

14. Tolerancia a granizada (ATG)

Para el registro de esta variable, se estimó el daño causado por las bajas temperaturas en hojas, tallo e inflorescencia, de acuerdo a la siguiente codificación.

1 Buena

2 Moderada

3 Mala

15. Incidencia del mildiu (IM)

Para el registro de esta variable, se determinó el daño causado por la presencia del hongo en las hojas de acuerdo a la siguiente codificación.

1 Inmune (0%)

2 Resistente (1% – 10%)

3 Tolerante (11% - 25%)

4 Muy susceptible (26% - 50%)

5 Susceptible (51% - 70%)

6 Altamente susceptible (71% - 100%)

16. Daños provocados por aves (BDA)

1 Bajo

2 Medio

3 Alto

3.7. Análisis estadístico

3.7.1. Análisis estadístico descriptivo y distribución de frecuencias

Para este análisis se utilizó el programa de SPSS versión 22, obteniendo los estadísticos de tendencia central y dispersión para las variables cuantitativas y distribución de frecuencias para las variables cualitativas. Con la aplicación de este análisis se pudo determinar e identificar datos no esperados y errores para posteriormente realizar las correcciones correspondientes en la matriz de datos en Excel**.**

3.7.2. Coeficiente de correlación de Pearson

Este coeficiente fue calculado aplicando la opción de Correlación del Sofware SPSS versión 22, con la finalidad de cuantificar en términos relativos la intensidad de relación íntima o variación conjunta entre dos variables cuantitativas, los cuales presentaron distintas unidades de medida como: número de días, centímetros, milímetros y gramos.

Los valores de este coeficiente oscilaron entre -1 y +1 donde el signo del coeficiente indicó el tipo de relación, no obstante, cabe mencionar que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente. En este sentido se mostró que tan fuerte es la relación entre -1 y +1 donde el signo (-) nos indicó si la relación es inversa o perfecta negativa y el signo (+) refleja si la relación es directa positiva (Hidalgo, 2003).

3.7.3. Coeficiente de correlación de Spearman

Este análisis tiene la finalidad de determinar la existencia de una relación lineal entre dos variables cualitativas, a diferencia del anterior, este permitió obtener el grado de correlación entre variables a nivel ordinal, es decir en datos cualitativos. Este coeficiente de correlación se calculó en base a una serie de rangos asignados, para poder entender, los valores van de -1 a +1, siendo 0 el valor que indica la no correlación.

3.7.4. Análisis multivariado

3.7.4.1 Análisis de componentes principales

Esta técnica es equivalente al análisis de componentes principales (ACP) y permite analizar simultáneamente variables cuantitativas y categóricas nominales (cualitativas). Este análisis se realizó con el software SPSS versión 22 (Statistical Package for the Social Sciences).

Este tipo de análisis respecto al análisis de componentes principales se diferencia en que

este procedimiento puede llevar a cabo un estudio en el que las diferentes variables pueden tener una relación no lineal y estar medidas en diferentes escalas (nominales, ordinales, de intervalo y de cociente), en tanto que en el ACP estándar la relación es lineal y las variables deben estar medidas en una escala de intervalo o de cociente (Pinto, 2011).

3.7.4.2. Análisis de conglomerados

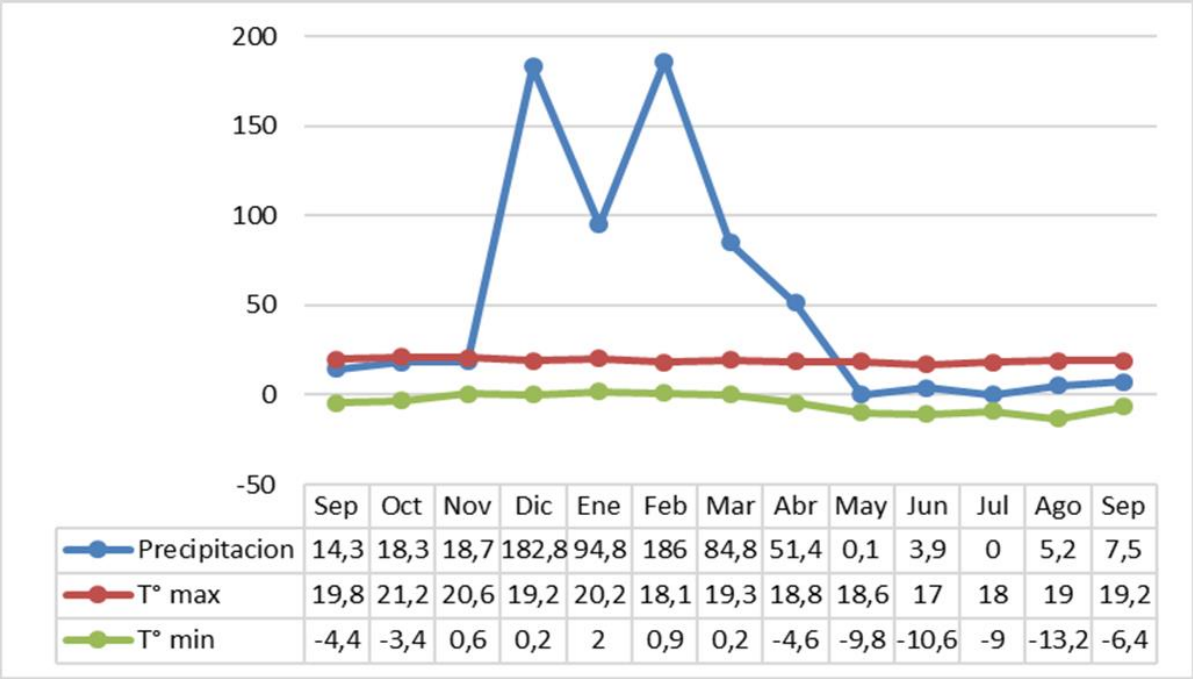
También llamado análisis de Clúster, tiene como objetivo agrupar variables ya sean cuantitativas o cualitativas en grupos de individuos altamente correlacionados y relativamente independientes (no correlacionadas), para esto se utilizó el Sofware SPSS Versión 22, opción análisis de clúster; con el interés de caracterizar y resumir la mayor cantidad de características observables. Este análisis conformó agrupaciones de genotipos según el siguiente criterio: Los individuos dentro del Clúster son los más parecidos posibles con una semejanza entre genotipos mostrando máxima homogeneidad interna, y viceversa entre Clúster o grupos diferentes de genotipos (Fernández, 2011). Para las variables cuantitativas y cualitativas en estudio se utilizó el método de agrupación jerárquico que presenta resultados en dendogramas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Climadiagrama

Datos provenientes de la estación meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, ubicado en la estación Experimenta de Kallutaca, donde se realizó la presente investigación. La precipitación juega un papel muy importante durante el ciclo de producción de la quinua.

Figura 2. *Gráfica de temperatura y precipitación registrada en Kallutaca durante la campaña agrícola 2021-2022.*



	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Precipitacion	14,3	18,3	18,7	182,8	94,8	186	84,8	51,4	0,1	3,9	0	5,2	7,5
T° max	19,8	21,2	20,6	19,2	20,2	18,1	19,3	18,8	18,6	17	18	19	19,2
T° min	-4,4	-3,4	0,6	0,2	2	0,9	0,2	-4,6	-9,8	-10,6	-9	-13,2	-6,4

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la figura 2. podemos observar el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas extremas registradas en los meses de septiembre a diciembre del año 2021 y enero a septiembre del 2022 que corresponden a Kallutaca. Podemos apreciar que las temperaturas mínimas extremas llegaron hasta -13,2 °C y las máximas hasta 21,2 °C, estas temperaturas extremas afectaron el normal desarrollo de las accesiones de quinua.

Asimismo, podemos observar el promedio de la precipitación en la estación experimental de Kallutaca. Como se observa, las precipitaciones por mes fueron inestables y escasas, donde

las menores precipitaciones registradas fueron en los meses de septiembre a noviembre, llegando a tan solo 18,7 mm/mes, la cual ayudó escasamente en la germinación del cultivo.

4.2. Descripción de variables cuantitativas

4.2.1. Análisis estadístico descriptivo

En este análisis se describen las medidas de tendencia central y de dispersión para cada variable cuantitativa, la información del rango de variación, promedio, asimetría, curtosis, coeficiente de variación y desviación estándar, permitieron estimar el comportamiento de las accesiones para las condiciones edafoclimáticas de Kallutaca (Cuadro 5, 6 y 7).

Cuadro 5. *Estadística descriptiva de 7 variables fenológicas evaluadas en 6 accesiones de quinua, establecidas en la localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Variables	Código	Rango	Mín	Máx	Media	DS	CV	ASI	CUR
Días a la emergencia (nº)	FDE	11	18	29	24	5,62	23,33	-0,24	-2,20
Días al inicio de panojamiento (nº)	FIP	15	95	110	104	7,52	7,22	-0,50	-1,99
Días al inicio de floración (nº)	FIF	9	105	114	109	4,60	4,22	0,24	-2,20
Días al 50% de la floración (nº)	F%L	15	115	130	122	7,67	6,30	0,24	-2,20
Días a grano lechoso (nº)	FGL	11	134	145	136	4,22	3,11	1,96	2,04
Días a grano masoso (nº)	FGM	24	147	171	151	9,20	6,10	1,96	2,04
Días a la madurez fisiológica (nº)	FMF	13	180	193	182	4,99	2,74	1,96	2,04

DS = Desviación Estándar; CV= Coeficiente de variación, ASI= Asimetría, CUR= Curtosis

Fuente: Elaboración propia, 2023

Cuadro 6. *Estadística descriptiva de 5 variables cuantitativas de planta, tallo y panoja, de 6 accesiones de quinua, establecidos en la localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Variables	Código	Rango	Mín	Máx	Media	DS	CV	ASI	CUR
Altura de la planta (cm)	AAP	82,74	104,16	186,90	149,83	18,80	12,55	-1,05	2,52
Diámetro del tallo principal (mm)	TDM	9,58	19,67	29,25	24,68	2,59	10,49	-0,02	-0,53
Longitud de panoja (cm)	ILO	24,04	29,56	53,60	46,19	6,18	13,38	-1,36	2,19
Diámetro de panoja (cm)	IDI	4,473	4,46	8,93	7,00	1,20	17,15	-0,32	-0,07

DS = Desviación Estándar; CV= Coeficiente de variación, ASI= Asimetría, CUR= Curtosis
Fuente: Elaboración propia, 2023

Cuadro 7. *Estadística descriptiva de 5 variables cuantitativas de grano y rendimiento, evaluadas en 6 accesiones de quinua, establecidas en la localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Variables	Código	Rango	Mín	Máx	Media	DS	CV	ASI	CUR
Diámetro del grano (mm)	GDI	0,47	2,01	2,48	2,24	0,14	6,13	-0,11	-0,70
Ancho de grano (mm)	GAG	0,51	1,84	2,35	2,12	0,14	6,58	-0,40	-0,50
Espesor del grano (mm)	GES	0,34	0,96	1,29	1,16	0,08	6,71	-0,70	1,37
Peso de 100 granos (g)	GPE	0,18	0,29	0,47	0,36	0,04	11,09	0,71	1,83
Rendimiento de grano por planta (g/pl)	RGR	99,50	28,17	127,67	79,89	31,76	39,75	-0,32	-1,17

DS = Desviación Estándar; CV= Coeficiente de variación, ASI= Asimetría, CUR= Curtosis
Fuente: Elaboración propia, 2023

Días a la emergencia (FDE)

De acuerdo con los resultados del cuadro 5, las accesiones de quinua emergieron desde los 18 hasta los 29 días, con un promedio de 24 días. Las accesiones que emergieron en 18 días fueron: UPEA-AGRO-QUI-001, UPEA-AGRO-QUI-002 y UPEA-AGRO-QUI-004. Contrariamente, las accesiones que llegaron a emerger en 29 días fueron UPEA-AGRO-QUI-001, UPEA-AGRO-QUI-003, UPEA-AGRO-QUI-005 y UPEA-AGRO-QUI-006. Esta variable registró un coeficiente de variación de 23,33 % debido al amplio rango de variación.

Por su parte (Rodríguez, 2005), relaciona directamente el tamaño de la semilla con el porcentaje de germinación y la emergencia, puesto que en evaluaciones anteriores encontró que semillas grandes (de 2.0 a 2.5 mm) presentan porcentajes de germinación mayores al

97 % y semillas pequeñas (de 1.0 a 1.4) menores al 94 %.

En trabajos similares (Limachi, 2021), reportó que el tiempo promedio registrado desde la siembra hasta la emergencia de plantas fue de 16 días, con una mínima de 8 días y una máxima de 23 días.

Días al inicio de panojamiento (FIP)

En el despunte de la inflorescencia, o conocido también como inicio de panojamiento o fase de botón floral, se observa que las plantas de quinua presentan panículas con aspecto de una bellota con la cúspide hacia arriba (Calla, 2012).

Las plantas de quinua de la investigación alcanzaron esta fase fenológica entre los 95 y 110 días después de la siembra, con un rango de variación de 15 días entre los valores mínimos y máximos. El tiempo promedio en que las accesiones de quinua llegaron al inicio de panojamiento fue de 104±7,5 días, lo que se traduce en un bajo coeficiente de variación de 7,22 %.

Resultados mucho menores fueron reportados por (Calla, 2012) quien indica que despunte de la inflorescencia ocurre entre los 55 a 60 días después de la siembra.

Días al inicio de floración (FIF)

En esta fase se observa la apertura de las flores, visualizándose en ellas los estambres de color verde amarillento y anteras de color amarillo, principalmente en los ápices de la panoja. Las plantas de quinua del presente estudio alcanzaron esta fase fenológica desde los 105 hasta los 114 días después de la siembra, valores que muestran un bajo rango de variación de 9 días, y consiguientemente, un bajo coeficiente de variación de 4,22 %, con un promedio de 109 ± 4,6 días.

En trabajos similares (Limachi, 2021) reportó que, el tiempo promedio en el que se registró esta variable fenológica fue de 63 días, con un coeficiente de variación de 5.6 %. Estos resultados son diferentes a los del presente estudio, que pueden atribuirse a las diferentes condiciones medioambientales y genéticas de las accesiones estudiadas.

Por su parte (Cruz 2016), reportó rangos de variación mucho más amplios que los resultados de esta investigación, indicando que el tiempo de formación para este carácter tuvo un promedio de 82 días, con un coeficiente de variación de 22,41%. El rango de variación fue de 40 días para las accesiones más precoces y 128 días para las más tardías, esta variable

es una de las más importantes para la formación de los granos.

Días hasta 50 % de floración (F%L)

El promedio para esta variable fue de 122 ± 7,67 días, con un rango de variación de 15 días, entre el valor mínimo de 115 días y el valor máximo de 130 días. Este bajo rango de variación se refleja en un bajo coeficiente de variación de 6,30 %.

Al respecto (Rojas, 1998), menciona que, en las accesiones de quinua de Bolivia, el rango de variación para los días al 50% de floración es muy amplio, y ocurre entre los 60 y 145 días después de la siembra. Basados en estos reportes, los resultados de esta investigación están dentro del tiempo esperado para la floración de esta especie.

Resultados similares fueron reportados por (Benito, 2020), quien indica que las plantas de quinua en estudio llegaron a plena floración en un promedio de 92 días, con una desviación estándar de 9 días y un coeficiente de variación de 9.40 %. La accesión BOL279GA registró el menor valor con 75 días, el cual en sus datos de pasaporte indica que es proveniente de la provincia de Tomas Frías-Potosí, por el contrario, el valor máximo fue 127 días y corresponde a la accesión BOL2035GA que proviene de la provincia Punata-Cochabamba.

Valores extremos mucho menores fueron reportados por (Limachi, 2021), quien indicó que el promedio para esta variable fue de 76 días, con una variación de 42.28 %, con un mínimo de 60 días y un máximo de 91 días y un coeficiente de variación de 8.6 %. El genotipo con un mínimo de días en alcanzar el 50% de floración fue 1287 de Oruro (provincia Cercado, Oruro) y los genotipos que mayor tardaron fueron: 0074 procedente de Amachuma (Provincia Aroma, La Paz) y 1595 de Potosí (Provincia Tomas Frías, PotosÍ).

Días a grano lechoso (FGL)

En esta fase fenológica, el óvulo de la flor de la quinua desarrolla un receptáculo esférico verdoso; con una leve presión de los dedos, es posible extraer un líquido incipiente que se vuelve lechoso (Calla, 2012).

Los resultados de esta variable, presentados en el Cuadro 5, indican que las accesiones en estudio presentaron granos lechosos entre los 134 y 145 días después de la siembra, con un bajo rango de variación de 11 días entre valores extremos. El promedio de tiempo de esta fase fenológica fue de 136 ± 4,22 días con un bajo coeficiente de variación de 3,11% debido a la poca dispersión de los datos.

Estos resultados son superiores a los reportados por (Zaragosa, 2010), quien mencionó que las quinuas alcanzan la fase de grano lechoso entre los 100 y 130 días de desarrollo de las plantas. Similares resultados fueron encontrados por (Calla, 2012) quien mencionó que en esta etapa el crecimiento se debe al alargamiento del tercio superior, es decir, al continuo crecimiento de los entrenudos de la panoja, y el crecimiento del tercio inferior ha cesado. Se observa un líquido blanquecino del fruto al ser presionado, que sucede entre los 100 a 130 días.

Días a grano pastoso (FGM)

La expulsión de una pasta blanquecina, al presionar con las uñas el grano de quinua en formación, es la característica de esta fase fenológica. En el presente estudio esto ocurrió a los 151 ± 9,20 días en promedio. Asimismo, los resultados muestran un mayor rango de variación de este carácter con 24 días, entre el valor mínimo (147 días) y el valor máximo (171 días), con un coeficiente de variación de 6,10 %.

Días de la madurez fisiológica (FMF)

Esta fase fenológica se determinó de acuerdo con la resistencia que tuvo el grano a la prueba de presionado con las uñas y al cambio de coloración de tallos, hojas y senescencia de las plantas (Benito, 2020).

Los resultados de este carácter indican que las accesiones en estudio, sembradas en condiciones de la Estación Experimental de Kallutaca llegaron a la madurez fisiológica a los 182 ± 4,99 días después de la siembra, con un rango de variación de 13 días, entre el valor mínimo (180 días) y el valor máximo (193 días), esta poca dispersión de los datos se reflejó en un bajo coeficiente de variación de 2,74 %.

Estos resultados son diferentes a los descritos por (Benito, 2020) quien encontró que las quinuas de su investigación alcanzaron la madurez fisiológica en 156 días en promedio, una desviación estándar de 9 días, a su vez, el coeficiente de variación fue de 5.52 %. Los valores extremos fueron de 133 días como mínimo y 174 días como valor máximo, estos corresponden a las accesiones BOL279GA y BOL2035GA respectivamente, el rango de variación fue 41 días.

En investigaciones similares (Limachi, 2021) reportó que el tiempo promedio en que los genotipos de quinua llegaron a esta fase fenológica fue de 150 días, con un coeficiente de variación de 6,9 % considerando relativamente bajo respecto al promedio. Los genotipos más

precoces alcanzaron la madurez en 124 días y los más tardíos en 173 días.

Cabe mencionar que, según (Pinto, 2011), los factores medioambientales, edáficos y características genéticas influyen de gran manera en la amplia variabilidad observable respecto a este carácter. Esta característica es fuertemente dependiente del genotipo, las quinuas de los Valles Interandinos son más tardías que las del Altiplano, el amplio rango de variación del ciclo vegetativo es alentador para la adaptación del cultivo a la variabilidad de clima.

Altura de planta (AAP)

La estadística descriptiva para esta variable se presenta en el Cuadro 6. Los resultados indican que las accesiones de quinua en estudio tuvieron un amplio rango de variación de altura de planta (82,74 cm), entre plantas de menor altura (104,16 cm) y plantas de mayor altura (186,90 cm). El promedio de este carácter fue de 149,83 ± 18,80 cm, con un coeficiente de variación de 12,55 %. La accesión UPEA-AGRO-QUI-001 presentó plantas de menor altura, en cambio, la accesión UPEA-AGRO-QUI-003 registró las plantas más altas de la investigación.

Estos resultados son similares a los encontrados por (Benito, 2020), quien reportó una media de 118.24 cm de altura de planta, 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, el rango en que varían fue de 123.67 cm. El coeficiente de variación fue 22.57 %, reflejando heterogeneidad entre accesiones. Es importante mencionar que las plantas con mayor altura corresponden a aquellas provenientes del valle y aquellas de porte pequeño son provenientes del altiplano.

Al respecto (Limachi, 2021) encontró que la altura de planta de quinua tuvo un promedio de 82 cm de altura, con un coeficiente de variación de 18,6 % y una desviación estándar de 12.6 %. El genotipo que registró la menor altura de planta fue 2278 con 43.6 cm procedente de Patacamaya provincia Aroma La Paz, por el contrario, y valor máximo fue registrado en el genotipo 1595 con una altura de 119,4 cm procedente de Potosí, provincia Tomas Frías.

Diámetro de tallo principal (TDM)

Según los resultados del Cuadro 6, el diámetro de tallo de las accesiones en estudio varió entre 19,67 mm y 29,25 mm, con un rango de variación de 9,58 mm entre valores extremos. El promedio de este carácter cuantitativo fue de 24,68 ± 2,59 mm, con un coeficiente de

variación de 10,49 %. La accesión UPEA-AGRO-QUI-001 registró plantas de tallo angosto o delgado, contrariamente, la accesión UPEA-AGRO-QUI-006 presentó plantas con tallos gruesos.

Estos resultados son similares a los encontrados por (Benito, 2020), quien indicó que el diámetro de tallo en las quinuas en estudio tuvo una media de 19.21 mm, con una desviación estándar de 4.40 mm. Respecto a los valores extremos, el valor mínimo fue 9.0 mm y el valor máximo fue 29.0 mm, correspondientes a las accesiones BOL1003GA y BOL1025GA respectivamente, con un rango de variación de 20.0 mm. El coeficiente de variación fue 22.90 %, demostrando variabilidad entre las 100 accesiones respecto a este carácter.

En cambio, los resultados de este estudio son diferentes a los reportados por (Limachi, 2021), quien mencionó que el promedio de diámetro de tallo alcanzó a 9,9 mm, con un coeficiente de variación de 22.4%, y una desviación estándar de 2,2 %, se formaron genotipos con un diámetro de tallo mínimo de 5 mm y un máximo de 18,2 mm.

Longitud de panoja (ILO)

Esta variable se registró midiendo con un flexómetro desde la intersección de la base de la panoja con el tallo principal hasta el ápice superior de la planta. Esta variable registró un promedio de 46,19 ± 6,18 cm, con un rango de variación de 24,04 cm entre el valor mínimo (29,56 cm) y el valor máximo (53,60 cm) (Cuadro 6). El coeficiente de variación supera el 13%, debido a la amplia variación de los datos. La accesión UPEA-AGRO-QUI-001 presentó plantas con panojas cortas (29,56 cm), en cambio, la accesión UPEA-AGRO-QUI-004 registró plantas con panojas largas (53,60 cm).

Estos resultados son menores a los reportados por (Benito, 2020), quien encontró que las panojas de quinua tuvieron una longitud promedio de 44.99 cm, una desviación estándar de 8.32 cm, y un rango de variación de 36.73 cm. Los valores mínimos y máximos fueron de las accesiones BOL2900GA que proviene de la provincia Camacho de La Paz y BOL386GA proveniente de la provincia Carrasco de Cochabamba, con 28.60 cm y 65.33 cm respectivamente. El coeficiente de variación fue de 18.49 %, demostrando variabilidad entre accesiones.

Asimismo, (Limachi, 2021), reportó longitudes de panoja mucho menores a los resultados del presente estudio, indicando que este carácter tuvo un promedio de 23,7 cm, el coeficiente de variación 22.0 %, una desviación estándar de 5,2 %, con un mínimo de 12,2 cm para panojas cortas y un máximo de 38,8 cm para panojas con mayor longitud. El genotipo que mostró la

panoja de menor longitud fue 1676, recolectada de la provincia Ladislao Cabrera, Oruro; contrariamente, el genotipo que mostró la panoja más larga fue 0025 y 1291, ambas procedentes de Caracollo (Provincia Cercado, Oruro).

Diámetro de panoja (IDI)

Esta variable cuantitativa fue registrada midiendo el diámetro máximo del tercio medio de la panoja principal. El diámetro de panoja en las accesiones en estudio tuvo un promedio de 7 ± 1,2 cm, con un coeficiente de variación 17,15 % que muestra una mayor dispersión de los datos. La accesión UPEA-AGRO-QUI-005 tuvo plantas con panojas más angostas (4,46 cm), en cambio, la accesión UPEA-AGRO-QUI-002 presentó plantas con las panojas más anchas (8,93 cm).

Los resultados de este estudio (Cuadro 6), son diferentes a los encontrados por (Benito, 2020), quien mencionó que el diámetro de panoja en las quinuas tuvo un promedio de 10.60 cm, con una desviación estándar de 2.55 cm. La accesión BOL3003GA registró el valor mínimo con 4.80 cm, la cual es procedente de la provincia Ladislao Cabrera del departamento de Oruro, y la accesión BOL2877GA presentó el valor máximo con 17.67 cm, el cual es proveniente de la provincia Camacho del departamento de La Paz, llegando a registrar un rango de variación de 12.87 cm. El coeficiente de variación fue de 24.09 %, demostrando un comportamiento diverso entre las accesiones estudiadas.

Por su parte (Limachi, 2021), indicó que el promedio para este carácter fue de 4 cm, con un coeficiente de variación de 25,1% con un mínimo de 2,1 cm y un máximo de 7,2 cm diámetro. Las panojas que llegaron a formar panojas más anchas fueron: 1293 y 1280 originarios de Oruro (Provincia Cercado);1290 de Sajama, Oruro; 1595 de Potosí (Provincia Tomas Frías) y las panojas más delgadas fueron: 0074 procedente de Amachuma (Provincia Aroma, La Paz); 2245 de Potosí (Provincia Tomas Frías); y 1868 recolectada de Umala (Provincia Aroma, La Paz).

Diámetro del grano (GDI)

Las accesiones de quinua en estudio registraron valores de diámetro de grano superiores a 2 mm. El promedio fue de 2,24 ± 0,14 mm de diámetro, con un rango de variación de 0,47 mm y un coeficiente de variación de 6,13 %. Los granos de quinua de la accesión UPEA-AGRO-QUI-004 tuvieron 2,01 mm de diámetro, en cambio, la accesión UPEA-AGRO-QUI-005 presentó granos de mayor diámetro con 2,48 mm. El mayor diámetro de grano es una característica apreciada para el uso y comercialización de la quinua, a nivel nacional e

internacional.

Al respecto (Benito, 2020), reportó resultados de este carácter en un mayor rango de variación. Según esta investigadora, el diámetro de grano de quinua registró un promedio de 1.99 mm, un coeficiente de variación de 11.66 %, una desviación estándar de 0.23 mm, el rango de variación fue de 1.19 mm. Siendo la accesión BOL838GA el 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. Al igual que el espesor del grano, esta variable tiene gran importancia económica, ya que a mayor diámetro el precio es mayor y se puede explotar muy bien para programas de mejora genética.

Asimismo, (Limachi, 2021) indicó que, la variable diámetro de grano alcanzó un promedio de 2 mm, con un mínimo de 1,4 mm y un máximo de 2,4 mm. El coeficiente de variación fue de 10,5 % y una desviación estándar de 0,2%. El genotipo 0465 que fue colectado en El Alto (Provincia Murillo, La Paz), presentó los granos más pequeños con 1,4 mm, mientras que los genotipos 2265, 2259 y 2274 procedentes de Patacamaya (Provincia Aroma, La Paz) y 2155 recolectado de Agencha (Provincia Nor Lipez, Potosí); presentaron los granos de mayor diámetro con 2,4 mm.

Ancho de grano (GAG)

Los resultados de la Cuadro 7, muestran que este carácter tuvo un promedio de 2,12 ± 0,14 mm, con un coeficiente de variación de 6,58%. El valor mínimo de ancho de grano (1,84 mm) fue la característica de la accesión UPEA-AGRO-QUI-003, contrariamente, el máximo valor de este carácter (2,48 mm) fue registrado en los granos de la accesión UPEA-AGRO-QUI-005.

Espesor de grano (GES)

El espesor de los granos varió de 0,96 a 1,29 mm, para el valor mínimo y máximo, respectivamente. El promedio de esta variable fue de 1,16 ± 0,08 mm, con un rango de variación de 0,34 mm y un coeficiente de variación de 6,71 %. Las accesiones UPEA-AGRO-QUI-005 y UPEA-AGRO-QUI-001, presentaron granos de menor y mayor espesor, respectivamente.

En relación con este carácter, (Limachi, 2021) reportó valores diferentes a los encontrados en la presente investigación. Según esta autora, la variable espesor de grano registró un

promedio de 2,2 mm, un coeficiente de variación de 11,3 % y una baja desviación estándar de 0,2 %. Asimismo, esta variable presentó un rango de variación de 1,4 mm, con un mínimo de 1,45 mm y un máximo de 2,8 mm. El genotipo 0074 proveniente de Amachuma (Provincia Aroma, La Paz) tuvo los granos más angostos (1,4 mm), en cambio, el genotipo 2300 que es originario de Patacamaya (Provincia Aroma, La Paz) fue el de mayor espesor de grano con 2,8 mm. Esta variable está relacionada con el diámetro de grano debido a que ambos caracteres forman el tamaño del grano de la quinua.

Para (Benito, 2020), media aritmética del espesor de granos de quinua fue de 1.23 mm, con una desviación estándar de 0.13 mm, el valor mínimo presentó la accesión BOL1699GA proveniente de la Provincia Punata de Cochabamba con 0.79 mm y un máximo de 1.67 mm que corresponde a la accesión BOL2797GA proveniente de la Provincia Ladislao Cabrera de Oruro.

Peso de 100 granos (GPE)

Los resultados de esta variable cuantitativa se muestran en el Cuadro 7. La accesión UPEA-AGRO-QUI-003 tuvo los granos más livianos con 0,29 g, contrariamente, la accesión UPEA-AGRO-QUI-001 presentó los granos más pesados con 0,47 g. El peso promedio de 100 granos de quinua fue de 0,36 ± 0,04 g, con un rango de variación de 0,18 g y un coeficiente de variación de 11,09 %.

Estos resultados son similares a los reportados por (Limachi, 2021), quien determinó que el promedio para esta variable fue de 0.325 g, con un coeficiente de variación de 23,6 %. El peso mínimo fue de 0,209 g que corresponden a los genotipos 0448 que es de Sica sica (Provincia Aroma, La Paz), 0500 de Pucarani (Provincia Los Andes, La Paz); 1280 y 1283 procedente de Oruro (Provincia Cercado). Contrariamente, los genotipos con granos más pesados (0,5 g) fueron: 2139 y 2130 ambos de Villa Candelaria (Provincia Nor Lípez, Potosí) y 1676 originario Ancoyo (Provincia Ladislao Cabrera, Oruro).

Al respecto (Benito, 2020), menciona que esta variable se encuentra directamente relacionada con el diámetro, espesor del grano y el rendimiento, a mayor espesor y diámetro, mayor será el peso. El promedio de esta variable fue de 0.29 g, con una desviación estándar de 0.08 g. El valor mínimo fue de la accesión BOL1156GA con 0.12 g y un máximo de 0.53 g que corresponde a la accesión BOL2273GA, provenientes de los Departamentos de Oruro y La Paz, respectivamente.

Rendimiento de grano por planta (RGR)

La estadística descriptiva de esta variable se presenta en el Cuadro 7, se advierte que este carácter presentó un amplio rango de variación de 99,50 g*panta-1, que se refleja en el mayor coeficiente de variación de 39,75 %. El promedio de rendimiento de grano por planta fue de 79,89 ± 31,76 g*p-1, con un valor mínimo de 28,17 g*p-1 registrado en la accesión UPEA-AGRO-QUI-001 y un valor máximo de 127,67 g*p-1 característica de la accesión UPEA-AGRO-QUI-002.

Estos resultados son diferentes a los descritos por (Benito (2020), quien reportó que el promedio de rendimiento de grano por planta fue de 107.06 g*panta-1, con una desviación estándar de 67.46 g*panta-1. El valor mínimo con 5.20 g*panta-1. y el valor máximo de g*panta-1. con un rango de variación de 303.80 g*p-1. El coeficiente de variación fue de 63.01 %, indicando mayor variabilidad de este carácter entre las accesiones estudiadas.

Asimismo, (Limachi, 2021) indicó que esta variable alcanzó un promedio de 20,6 g*p-1, con uno de los más altos coeficiente de variación 34,5 %, en respuesta al amplio rango de variación de 28,3 g*p-1, con un mínimo de 4,2 g*p-1 y un máximo de 32,5 g*p-1. Los genotipos con más alto rendimiento por planta fueron: 0279 recolectado de Yocalla (Provincia Tomas Frías, Potosí); 0448 que proviene de Sica Sica (Provincia Aroma, La Paz). Los genotipos que mostraron rendimientos bajos fueron los siguientes: 0441 de Lahuachaca (Provincia Aroma); 1292 de Cercado Oruro y 1663 de Alianza (Provincia Ladislao Cabrera, Oruro).

4.2.2. Análisis de correlación de Pearson

Los resultados de la Cuadro 8. muestra la matriz con correlaciones entre 16 variables cuantitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua establecidas en la Estación Experimental de Kallutaca. Los valores más cercanos a +1 y -1 indican que existe alta correlación entre cada par de variables. El coeficiente de correlación r entre cada par de variables cuantitativas puede tener valores comprendidos entre -1 a +1, los coeficientes cercanos a estos valores extremos muestran una relación significativa entre las variables. Si el valor se coeficiente de correlación es positivo y cercano a +1, denota una relación directa y proporcional entre estas variables. Si el valor se aproxima a -1, la relación entre variables será inversa y significativa. Del total de coeficientes analizados, 11 correlaciones fueron altamente significativos a un nivel P≤0,01 y 23 correlaciones fueron significativos a un nivel P≤0,05

Cuadro 8. *Matriz de correlación entre 16 variables cuantitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

AAP	TDM	ILO	IDI	GDI	GAG	GES	GPE	RGR	FDE	FIP	FIF	F%L	FGL	FGM	FMF	VAR
1,00	0,06	0,65**	0,68**	**-0,52***	**-0,51***	-0,30	**-0,48***	**0,53***	-0,12	-0,17	-0,22	-0,17	0,46	0,46	0,46	**AAP**
	1,00	0,38	-0,06	-0,03	0,01	-0,15	-0,12	0,22	-0,28	-0,12	-0,28	-0,02	-0,37	-0,37	-0,37	**TDM**
		1,00	0,41	**-0,49***	-0,38	-0,13	-0,32	**0,56***	-0,59**	-0,43	**-0,51***	**-0,53***	-0,18	-0,18	-0,18	**ILO**
			1,00	**-0,58***	-0,65**	0,13	**-0,50***	0,72**	-0,41	-0,28	-0,02	-0,12	0,39	0,39	0,39	**IDI**
				1,00	0,90**	0,29	**0,57***	-0,41	**0,50***	0,28	-0,09	0,41	-0,22	-0,22	-0,22	**GDI**
					1,00	0,12	0,42	-0,53*	**0,49***	0,29	-0,11	0,30	-0,23	-0,23	-0,23	**GAG**
						1,00	0,05	0,05	-0,18	0,14	0,27	0,42	0,03	0,03	0,03	**GES**
							1,00	-0,09	0,03	0,02	-0,27	-0,14	-0,46	-0,46	-0,46	**GPE**
								1,00	**-0,50***	-0,20	-0,25	-0,37	-0,15	-0,15	-0,15	**RGR**
									1,00	0,66**	0,35	**0,57***	0,40	0,40	0,40	**FDE**
										1,00	**0,48***	0,71**	0,36	0,36	0,36	**FIP**
											1,00	**0,55***	**0,50***	**0,50***	**0,50***	**FIF**
												1,00	**0,50***	**0,50***	**0,50***	**F%L**
													1,00	0,90**	0,90**	**FGL**
														1,00	0,90**	**FGM**
															1,00	**FMF**

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia, 202

a) Correlaciones significativas entre variables fenológicas

De acuerdo con los resultados del Cuadro 8, se formaron 5 correlaciones altamente significativas entre variables fenológicas. Los días a la madurez fisiológica (FMF) formó correlaciones altamente significativas (P≤0.01) con los días a grano lechoso (FGL), días a grano pastoso (FGM) con coeficientes r = 0,90. Asimismo, el número de días al inicio de panojamiento (FIP) formó correlaciones positivas y altamente significativas con la emergencia de plantas (FDE) y con los días al 50 % de floración (F%L), con coeficientes de r = 0,66 y r = 0,71, respectivamente.

Similarmente, las variables días a la emergencia (FDE), días al inicio de panojamiento (FIP), días al inicio de floración (FIF) y días al 50% de floración, formaron asociaciones significativas (P≤0,05) con coeficientes comprendidos entre r = 0,48 y r = 0,57. Estos resultados indican una asociación directa y proporcional entre variables fenológicas, es decir, que las accesiones de quinua en estudio son precoces en emerger, también serán precoces en llegar a grano lechoso, grano pastoso y madurez fisiológica, esta característica puede interpretarse también en sentido contrario.

Al respecto (Benito, 2020), encontró asociaciones similares entre variables fenológicas, indicando que las variables fenológicas del número de días al 50 % de la floración y el número de días a la madurez fisiológica, se determinó un grado de correlación positiva significativa (P≤0.01) de 0.64** para las 100 accesiones, este nos revela una dependencia de manera proporcional entre ambos caracteres, ya que, si la planta llega al 50 % de la floración en corto tiempo, también alcanzará la madurez fisiológica en un corto tiempo..

b) Correlaciones significativas entre variables de grano

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables de grano, estableció asociación altamente significativa (P≤0.01) entre el diámetro de grano (GDI) con el ancho de grano (GAG) con un coeficiente r = 0,90; y significativa (P≤0,05) con el peso de 100 granos (GPE) con un coeficiente r = 0,57. respectivamente. Estos valores indican una relación directa y proporcional entre estas variables, un grano de quinua de mayor diámetro, tendrá también un mayor ancho de grano y por consiguiente tendrán mayor peso.

Al respecto (Benito, 2020), encontró una correlación altamente significativa entre el diámetro y espesor de grano con un coeficiente de r = 0.85, similar al reportado en este estudio. Asimismo, (Limachi, 2021) indicó que el peso de 100 granos (GPE) formó correlaciones

altamente significativas con el diámetro de grano (DIG) y espesor de grano (ESG) con valores r= 0,73 y r=0,42; respectivamente.

c) Correlaciones significativas del diámetro de panoja (IDI)

Según los resultados de la matriz de correlaciones (Cuadro 8), el diámetro de panoja (IDI) formó una asociación altamente significativa (P≤0,01) con el rendimiento de grano por planta (RGR) con un coeficiente r = 0,72 indicando que las plantas de quinua con mayor diámetro de panoja producirán mayor cantidad de grano por planta. Por otra parte, el diámetro de panoja (IDI) formó asociaciones significativas pero negativas con el ancho de grano (GAG), peso de 100 granos (GPE) y diámetro de grano (GDI), con coeficientes comprendidos entre r = -0,50 y r = -0,65. Estos resultados indican que las plantas de quinua con panojas anchas, tendrán granos angostos, livianos y de menor diámetro de grano, es decir, producirán granos pequeños.

En trabajos similares (Limachi, 2021) reporto que el rendimiento de grano por planta (REN) registró correlaciones altamente significativas con la altura de planta (ALT) (r=0,41), diámetro de tallo (DTA) (r=0,42), longitud de panoja (LPA) (r=0,38) y con el diámetro de panoja (DPA) (r=0,37). Estos patrones de variación expresan una relación directa y positiva del tamaño de planta, tamaño de panoja y diámetro de tallo con el rendimiento de grano, es decir, que las plantas de quinua que sean altas, de tallos gruesos y panojas grandes, tenderán a tener mayores rendimientos de grano por planta.

d) Correlaciones significativas de la longitud de panoja (ILO)

La variable longitud de panoja (ILO) presentó una asociación significativa y positiva con el rendimiento de grano por planta (RGR) (r = 0,56) y asociaciones significativas y negativas con los días a la emergencia (FDE), días al inicio de panojamiento (FIP), días al 50% de floración y diámetro de grano (GDI), con coeficientes comprendidos entre r = -0,49 y r = -0,59. Estos resultados indican que las plantas de quinua precoces en emerger, florecer y madurar, presentarán panojas largas, granos pequeños y producirán mayor cantidad de grano por planta. .

e) Correlaciones significativas de la altura de planta (AAP)

La variable altura de planta (AAP) formó asociaciones significativas y positivas con las variables diámetro de panoja (IDI), longitud de panoja (ILO) y rendimiento de grano por planta (RGR) con coeficientes r = 0.68, r = 0.65 y r = 0.53, respetivamente. Asimismo, la altura de

planta registró asociaciones significativas pero negativas con el diámetro de grano (GDI), ancho de grano (GAG) y peso de 100 granos (GPE) con coeficientes comprendidos entre r = -0.48 y r = -0.52. De acuerdo con estos resultados, las plantas de mayor altura, tendrán panojas grandes y producirán mayor cantidad de grano por planta, sin embargo, los granos serán pequeños y livianos.

Estos resultados son similares a los reportados por (Limachi, 2021) quien reportó que la variable altura de planta (ALT) presentó correlaciones altamente significativas con el diámetro de tallo (DTA) (r=0,66), longitud de panoja (LPA) (r=0,67), y diámetro de panoja (DPA) (r=0,57), mostrando que existe una relación directa y positiva entre estas variables, si las plantas son altas, también tendrán tallos gruesos y panojas grandes. Por su parte, (Benito, 2020) encontró relaciones significativas entre la altura de la planta y la longitud de panoja, con un coeficiente de correlación de 0.52, demostrando dependencia entre ambos caracteres, indicando que mientras más alta sea la planta mayor será la longitud de panoja que llegará a formar.

4.2.3. Análisis de componentes principales (ACP)

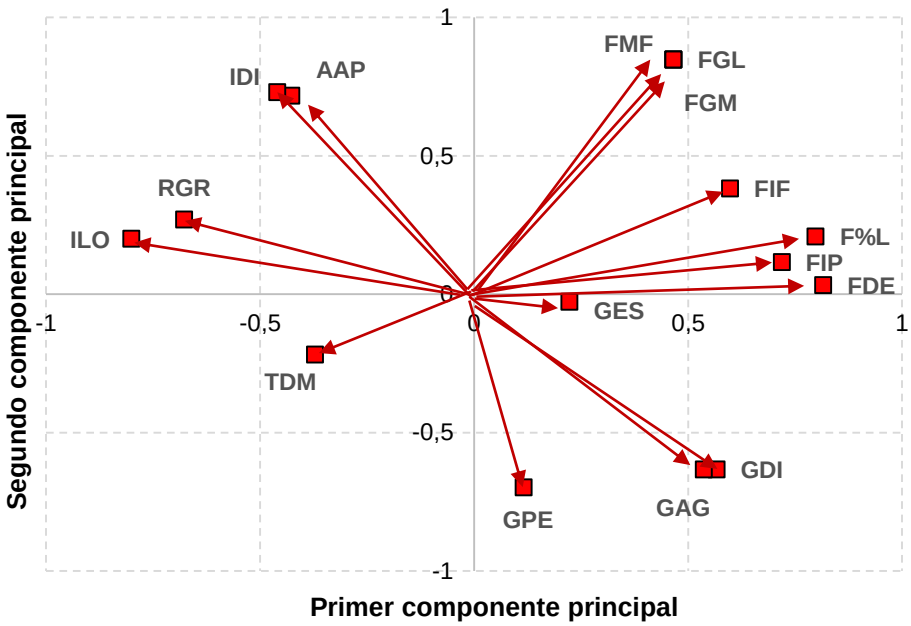
Este análisis permitió generar un nuevo conjunto de variables independientes llamadas componentes principales, los cuales expresan sus resultados en valores propios y vectores propios. Los valores propios miden la importancia y la contribución de cada componente a la varianza total; en cambio, los vectores propios indican el grado de contribución de cada variable original con la que se asocian a cada componente principal, mientras más altos sean los coeficientes sin importar el signo, mayor es su aporte (Hidalgo, 2003).

Cuadro 9. *Valores propios, porcentaje de la varianza y contribuciones individuales de 16 variables cuantitativas originales a la formación de tres componentes principales.*

Componentes		CP1	CP2
Valor propio		5,1	4,9
Porcentaje de la varianza		32,1	30,4
Varianza acumulada		32,1	62,4
Variables		**CP1**	**CP2**
Altura de la planta (cm)	AAP	-0,43	**0,72**
Diámetro del tallo principal (mm)	TDM	-0,37	-0,23
Longitud de panoja (cm)	ILO	**-0,80**	0,20
Diámetro de panoja (mm)	IDI	-0,46	**0,73**
Diámetro del grano (mm)	GDI	**0,57**	**-0,63**
Ancho de grano (mm)	GAG	**0,54**	**-0,63**
Espesor del grano (mm)	GES	0,22	-0,03
Peso de 100 granos (g)	GPE	0,12	**-0,70**
Rendimiento de grano por planta (g/pl)	RGR	**-0,68**	0,27
Días a la emergencia (nº)	FDE	**0,82**	0,03
Días al inicio de panojamiento (nº)	FIP	**0,72**	0,12
Días al inicio de floración (nº)	FIF	**0,60**	0,38
Días al 50% de la floración (nº)	F%L	**0,80**	0,21
Días a grano lechoso (nº)	FGL	0,47	**0,84**
Días a grano masoso (nº)	FGM	0,46	**0,82**
Días a la madurez fisiológica (nº)	FMF	0,47	**0,80**

Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 3. *Distribución espacial de 16 variables cuantitativas sobre los dos primeros componentes principales.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

De acuerdo con los resultados del Análisis de Componentes Principales presentados en el Cuadro 9, el primer componente aportó con el 32,1 % a la varianza total. Las variables que más contribuyeron en forma positiva a la formación de este componente fueron: días a la emergencia (FDE), días al 50% de floración (F%L), días al inicio de panojamiento (FIP), diámetro de grano (GDI) y ancho de grano (GAG), con vectores propios comprendidos entre 0.54 y 0.82. Asimismo, se destacan los aportes significativos y negativos de la longitud de panoja (ILO) y rendimiento de grano por planta (RGR), con vectores propios de -0.80 y -0.68. Este primer componente principal identificó a las accesiones de quinua tardías en emerger, tardías en alcanzar la floración, de baja altura, con panojas pequeñas, de bajos rendimientos de grano por planta, pero que tuvieron granos grandes.

Estos resultados son diferentes a los reportados por (Limachi, 2021), quien estableció que el primer componente principal estuvo formado por las contribuciones significativas de la altura de planta (ALT), diámetro de tallo principal (DTA), longitud máxima de hoja (LHO), longitud de panoja (LPA), ancho máximo de hoja (ANH), diámetro de panoja (DPA) y rendimiento de grano por planta (REN), con coeficientes comprendidos entre 0,53 y 0,91. Este componente identificó a genotipos de quinua con plantas semitardías que llegaron a tener hojas anchas y

hojas largas, plantas altas, con tallos gruesos, panojas grandes y gruesas, de buenos rendimientos, pero de granos pequeños y ligeros, con saponina.

El segundo componente principal explicó el 30,4 % de la varianza total y se conformó con el aporte significativo y positivo de los días a grano lechoso (FGL), días a grano masoso (FGM), días a madurez fisiológica (FMF), diámetro de panoja (IDI) y altura de planta (AAP), con vectores propios comprendidos entre 0.72 y 0.84. Asimismo, fueron significativos los aportes negativos de las variables peso de 100 granos (GPE), diámetro de grano (GDI) y ancho de grano (GAG), con vectores propios de -0.70, -0.63 y -0.63, respectivamente. Según estos resultados, el segundo componente identificó accesiones de porte alto, panojas anchas, tardías en alcanzar la madurez fisiológica, de granos pequeños y livianos.

Estos resultados son diferentes a los reportados por (Benito, 2020), quien indicó que las variables que contribuyeron a la formación del segundo componente principal fueron el diámetro, espesor y peso de 100 granos (GDI, GES y GPE) y peso hectolitrico (GPH). Por lo detallado, el segundo componente identificó a aquellas accesiones de ciclo fenológico semitardías, con granos grandes y pesados, haciendo que el peso hectolitrico sea mayor entre todas las accesiones en estudio. Al respecto, (Limachi, 2021) reportó que en el segundo componente se destacan las contribuciones positivas y significativas de las variables, diámetro de grano (DIG), peso de 100 granos (GPE) y espesor de granos (ESG). También son importantes las contribuciones significativas pero negativas de las variables índice de cosecha (ICO) y rendimiento de grano por planta (REN). De acuerdo con estas características, podemos mencionar que el segundo componente principal identificó a los genotipos de quinua semiprecoces, de baja altura, de hojas y panojas medianas, con granos grandes, pesados, pero con bajos índices de cosecha y bajos rendimientos.

Con el propósito de visualizar las proyecciones de las variables cuantitativas originales sobre los dos primeros componentes principales, se elaboró la Figura 3, en la que se observa que las variables asociadas al primer componente fueron las variables fenológicas de emergencia y floración: días a la emergencia (FDE), días al inicio de panojamiento (FIP), días al 50% de floración (F%L), días al inicio de floración (FIF), longitud de panoja (ILO), rendimiento de grano por planta (RGR) y diámetro de tallo (TDM), situados en los extremos derecho e izquierdo de la Figura 5, cercanos al eje del primer componente principal.

Las variables días a grano lechoso (FGL), días a grano masoso (FGM), días a madurez fisiológica (FMF), altura de planta (AAP), diámetro de panoja (IDI) y peso de 100 granos

(GPE), están asociadas al segundo componente principal y se sitúan en los extremos superior e inferior de la Figura 3.

4.3. Descripción de variables cualitativas

4.3.1. Análisis de frecuencias

Cuadro 10. *Análisis de frecuencias de 7 variables cualitativas de planta y tallo, de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Variables cualitativas		Estados		Frecuencia absoluta (accesiones)	Frecuencia relativa (%)
Hábito de crecimiento	AHC	3	Ramificado hasta el segundo tercio	6	100,0
Presencia de ramificación	APR	1	Presente	6	100,0
Forma del tallo principal	TFT	1	Cilíndrico	2	33,3
		2	Anguloso	4	66,7
Color del tallo principal	TCT	2	Púrpura	1	16,7
		4	Rosado	2	33,3
		5	Amarillo	3	50,0
Presencia de axilas pigmentadas	CXP	0	Ausentes	3	50,0
		1	Presentes	3	50,0
Presencia de estrías	TPE	1	Presente	6	100,0
Color de estrías en el tallo	CTE	1	Verde	5	83,3
		5	Purpura	1	16,7

Fuente: Elaboración propia, 2023

Cuadro 11. *Análisis de frecuencias de 5 variables cualitativas de panoja y grano, de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

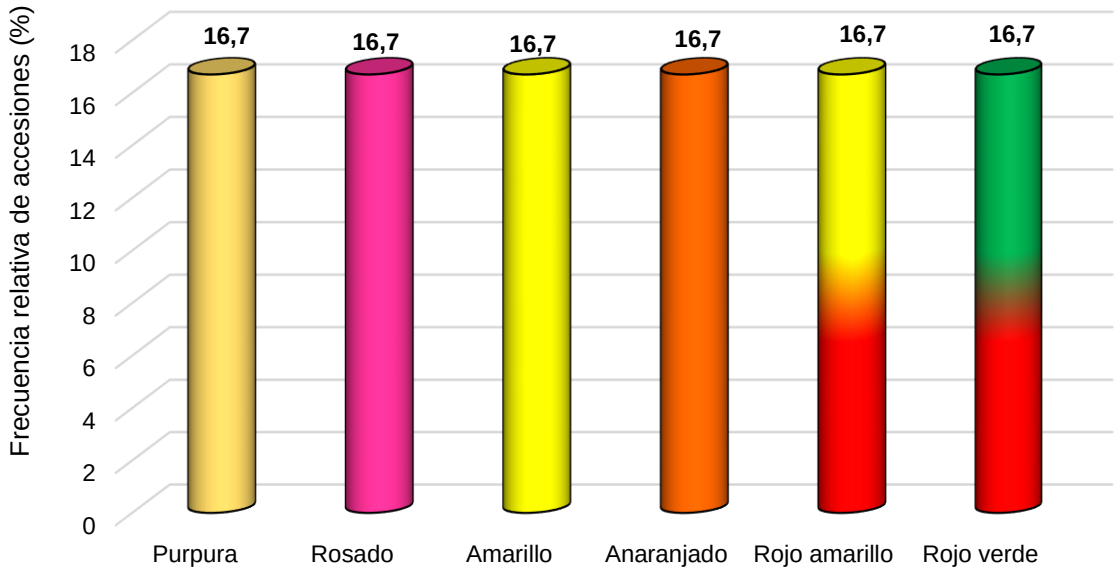
Variables cualitativas		Estados		Frecuencia absoluta (accesiones)	Frecuencia relativa (%)
Color de panoja a la floración	CPF	1	Verde	3	50,0
		2	Purpura	1	16,7
		4	Mixtura (purpura rojo)	2	33,3
Color de panoja a la madurez fisiológica	CPM	2	Purpura	1	16,7
		4	Rosado	1	16,7
		5	Amarillo	1	16,7
		6	Anaranjado	1	16,7
		12	Rojo amarillo	1	16,7
		14	Rojo verde	1	16,7
Forma de panoja	IFO	1	Glomerulada	2	33,3
		2	Intermedia	3	50,0
		3	Amarantiforme	1	16,7
Densidad de panoja	IDE	2	Intermedia	2	33,3
		3	Compacta	4	66,7
Forma de grano	GFO	2	Cilíndrico	6	100,0

Cuadro 12. *Análisis de frecuencias de 3 variables cualitativas de resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Variables cualitativas		Estados	Frecuencia absoluta (accesiones)	Frecuencia relativa (%)
Tolerancia a granizada	ATG	1 Buena	1	16,7
		2 Moderada	4	66,7
		3 Mala	1	16,7
Incidencia del mildiu	IM	2 Resistente	1	16,7
		3 Tolerante	1	16,7
		4 Muy susceptible	2	33,3
		5 Susceptible	2	33,3
Daños provocados por aves	BDA	1 Bajo	2	33,3
		2 Medio	3	50,0
		3 Alto	1	16,7

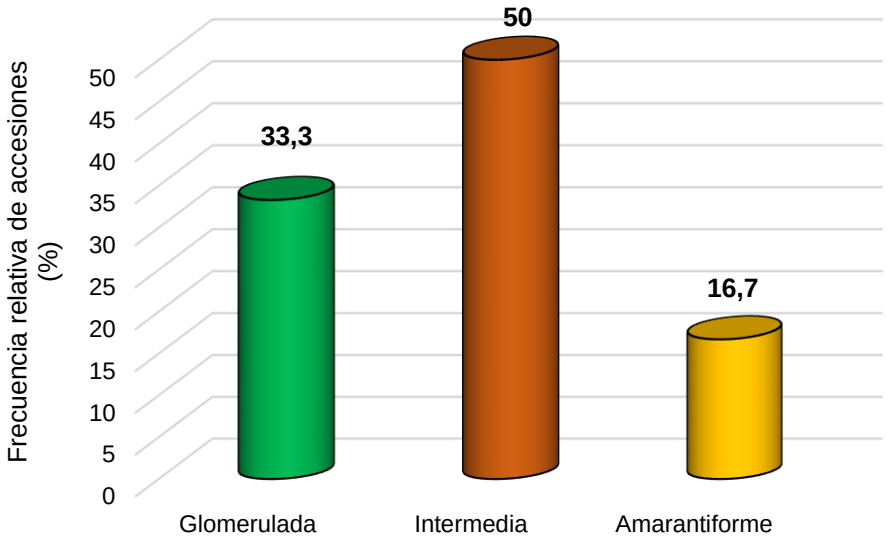
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 4. *Colores de panoja en madurez fisiológica de seis accesiones de quinua evaluadas en localidad de Kallutaca, 2021-2022.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5. *Forma de panoja en seis accesiones de quinua evaluadas en localidad de Kallutaca, 2021-2022.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

Habito de crecimiento (AHC)

Los resultados del análisis de frecuencias para la variable hábito de crecimiento se presentan en el Cuadro 10. Las seis accesiones de quinua en estudio (100 %) tuvieron un hábito de crecimiento caracterizado por tener ramas hasta el segundo tercio de la planta.

Resultados distintos fueron descritos por (Limachi, 2021), quien indicó que 2 genotipos, que representan el 2,0% del total, tuvieron hábito de crecimiento simple, 49 genotipos (49 %) presentaron ramas hasta el tercio inferior y 49 genotipos (49 %), fueron ramificados hasta el segundo tercio. Los cultivares de hábito ramificado con ramas largas proceden en su mayoría del Valle de Cochabamba, a diferencia de aquellos cultivares con ramas cortas, que proceden del Altiplano.

Presencia de ramificación (APR)

De acuerdo con los resultados del Cuadro 10, el 100% de las accesiones en estudio presentaron plantas ramificadas. Esta característica es la de mayor frecuencia en las plantas de quinua cultivadas en el altiplano norte y valles del país.

Forma del tallo principal (TFT)

En el análisis de frecuencia para el carácter forma de tallo principal, indica que el 66.7 % del total de las accesiones presentaron forma de tallo anguloso; en cambio, el 33.3 % presentó tallos cilíndricos.

Color del tallo principal (TCT)

Del total de accesiones en estudio, el 50 % (3 accesiones) presentaron plantas con tallos amarillos, el 33.3 % (2 accesiones) tuvieron tallos rosados y el 16,7% (1 accesión) registraron tallos de color púrpura.

Presencia de axilas pigmentadas (CXP)

El análisis de frecuencia para esta variable mostró que 3 accesiones, que representa el 50% del total, presentaron axilas pigmentadas, que se distingue por la presencia de un área coloreada en el lugar de inserción de las ramas primarias con el tallo principal. Asimismo, 3 accesiones (50%) no presentaron axilas pigmentadas.

En trabajos similares, (Limachi, 2021) indicó que las axilas pigmentadas estuvieron presentes en el 13% de las quinuas en estudio, de igual forma, el 80 % de las accesiones no tuvieron

axilas pigmentadas y en el 7% restante no se pudo determinar debido a que el tallo presentó una coloración rojo obscura.

Presencia de estrías (TPE)

Respecto a esta variable, los resultados indican que el 100 % de las accesiones presentaron estrías en el tallo principal, reconocibles visualmente como líneas de diferente color a lo largo del tallo.

Color de estrías en el tallo (CTE)

El color verde de las estrías en el tallo fue la característica de mayor frecuencia, presente en el 83.3 % de las accesiones, mientras que el 16,7 % de las accesiones tuvieron tallos con estrías de color púrpura.

Color de panoja en floración (CPF)

Las accesiones de quinua en estudio presentaron 3 diferentes colores de panoja en fase de floración. El 50 % de ellas tuvieron panojas de color verde, el 33.3% presentaron panojas de tipo mixtura de colores púrpura – roja y el 15.7 % restante tuvieron plantas con panojas púrpuras en la floración (cuadro 11).

En trabajos similares (Limachi, 2021), reportó que el 61 % de los 100 genotipos de quinua tuvieron panojas verdes, el 33 % de las quinuas presentaron panojas púrpuras en la floración, el 5 % tuvieron panojas de color rojo y el color Mixtura bicolor se presentó en un único genotipo (1 %).

Color de panoja en madurez fisiológica (CPM)

De acuerdo con los resultados del cuadro 11, las accesiones de quinua 6 diferentes colores de panoja en fase de madurez fisiológica. La frecuencia relativa fue de 16.7% para todos los casos, es decir que las 6 accesiones tuvieron diferentes colores de panoja en madurez, las cuales fueron: púrpura, rosada, amarilla, anaranjada, rojo-amarillo y rojo-verde.

Respecto a esta variable cualitativa, (Limachi, 2021) en su investigación con 100 genotipos de quinua reportó que en la madurez fisiológica se registraron diferentes colores de panoja, las cuales fueron: amarillo en 35% de los genotipos, blanco en 15% de las quinuas, anaranjado en 13%, rojo en 11% y rosado también en 11% de los genotipos.

Asimismo, el 7% de los genotipos tuvieron panojas marrones en la madurez fisiológica, 4%

tuvieron panojas rojas – rosadas, 2% presentaron panojas púrpuras. Los colores de panoja menos frecuentes fueron: panojas negras (1 %) y panojas verde-rojas (1 %).

Forma de panoja (IFO)

El análisis de frecuencias mostró que el 50% de las accesiones tuvieron plantas con panojas de forma intermedia, el 33.3 % registraron plantas con panoja glomerulada y el 16.7 % de accesiones tuvieron plantas con panojas amarantiformes. Según estos resultados, la forma de panoja intermedia fue la de mayor frecuencia entre las accesiones en estudio.

Resultados diferentes fueron reportados por (Benito, 2020), quien menciona que el 70 % del total de las accesiones presentaron forma de panoja glomerulada (Tipo 1), 24 % de las accesiones presentaron panoja intermedia (Tipo 2), y 6 % tuvieron forma de panoja amarantiforme (Tipo 3). En cambio, (Limachi, 2021), encontró que el 68% de los genotipos tuvieron panojas glomeruladas, mientras que, el 32 % de los genotipos presentaron plantas con panojas amarantiformes.

Densidad de panoja (IDE)

Respecto a esta variable, el 66.7 % de las accesiones presentaron plantas con panojas compactas y el 33.3 % tuvieron plantas con panojas de densidad intermedia (Cuadro 11).

Forma de grano (GFO)

El análisis de frecuencia de esta variable muestra que el 100 % de las accesiones produjeron granos de forma cilíndrica, característica común en las quinuas del presente estudio.

Resultados distintos fueron reportados por (Benito, 2020). Según esta investigadora, el 30 % de las accesiones presentan grano de forma cilíndrica, 64 % del total de las accesiones presentaron grano de forma elipsoidal y el 6 % de las accesiones tuvieron granos de forma lenticular.

Tolerancia a granizada (ATG)

El análisis de frecuencia de esta variable (Cuadro 12), muestra que el 66,7 % de las accesiones registró una tolerancia moderada a la granizada, el 16,7% no mostró tolerancia a este fenómeno climático, en cambio, el 16,7 % tuvo buena tolerancia a la granizada, esta accesión fue UPEA-AGRO-QUI-003.

Incidencia del Mildiu (IM)

Según los resultados del cuadro 12, 4 accesiones fueron afectadas por el mildiu, 2 de ellas fueron susceptibles (33.3 %) y 2 muy susceptibles a la enfermedad (33.3 %). Asimismo, 2 accesiones no presentaron daños significativos por la presencia de la enfermedad. La accesión UPEA-AGRO-QUI-003 mostró tener tolerancia al mildiu y la accesión UPEA-AGRO-QUI-004 presentó resistencia al ataque de la enfermedad.

Daño provocado por aves (BDA)

De acuerdo con los resultados de frecuencias del Cuadro 12, el 16.7% de las accesiones tuvo un alto daño provocado por aves, el 50% de las quinuas en estudio tuvieron un daño medio y el 33.3 % registraron bajo daño por el ataque de aves. Las accesiones que tuvieron poco daño por aves fueron UPEA-AGRO-QUI-002 y UPEA-AGRO-QUI-003.

En trabajos similares (Limachi, 2021), determinó que el 26% de los genotipos tuvo un daño bajo, 47% daño intermedio, 21% daño alto y el 6% de los genotipos fueron muy dañadas por las aves. Se pudo evidenciar que el ataque de aves ocurría al amanecer y por las tardes con mayor frecuencia.

4.3.2. Análisis de correlación para variables cualitativas

Los resultados de la matriz de correlacion de Spearman para variables cualitativas se presentan en la Cuadro 13. Del total de coeficientes analizados, 2 fueron altamente significativos (P≤0.01) y 4 fueron significativos (P≤0.05).

Cuadro 13. *Matriz de correlación de Spearman para 11 variables cualitativas de 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

TFT	TCT	CXP	CTE	CPF	CPM	IFO	IDE	ATG	IM	BDA	VAR
1,0	-0,11	0,01	0,32	-0,11	0,41	-0,22	0,25	0,61	0,32	0,34	**TFT**
	1,0	**-0,95****	-0,28	**-0,80***	0,46	0,12	0,45	**-0,73***	0,64	-0,42	**TCT**
		1,0	0,45	**0,95****	-0,29	-0,21	-0,71	0,58	-0,50	0,21	**CXP**
			1,0	0,57	0,66	-0,57	-0,63	0,01	0,01	-0,57	**CTE**
				1,0	-0,09	-0,28	**-0,89***	0,37	-0,32	-0,02	**CPF**
					1,0	-0,28	-0,21	-0,34	0,65	-0,62	**CPM**
						1,0	0,34	0,01	-0,06	0,32	**IFO**
							1,0	0,01	0,01	0,34	**IDE**
								1,0	-0,17	**0,82***	**ATG**
									1,0	-0,08	**IM**
										1,0	**BDA**

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia, 2023

a) Correlaciones significativas del color del tallo principal (TCT)

Los resultados del Cuadro 13. muestran que el color de tallo principal está altamente correlacionado con el color de axilas pigmentadas con un valor negativo de r = -0.95, indicando una relación inversa entre ellos, es decir que, las plantas de quinua con tallos amarillos no tendrán axilas pigmentadas, o, por el contrario, las plantas de quinua con tallos de color púrpura presentarán axilas pigmentadas.

Similarmente, el color de tallo principal (TCT) formó asociaciones significativas pero negativas con las variables color de panoja a la floración (CPF) y tolerancia a la granizada (ATG) con coeficientes r = -0.80 y r = -0.73, respectivamente. Estos resultados indican que

las plantas de quinua con tallos de color amarillo, presentarán panojas verdes en la floración y a su vez tendrán buena tolerancia a la granizada.

b) Correlación significativa de la presencia de axilas pigmentadas (CXP)

La variable presencia de axilas pigmentadas (CXP) registró una asociación altamente significativa con el color de panoja a la floración (CPF), con un coeficiente r = 0.95, que puede interpretarse indicando que las plantas con axilas pigmentadas presentarán panojas de color mixtura (púrpura-rojo) en la floración, o las plantas con panojas verdes en floración no tendrán axilas pigmentadas.

c) Correlación significativa del color de panoja a la floración (CPF)

El color de panoja en floración (CPF) presentó una asociación significativa y negativa con la variable densidad de panoja (IDE) con un coeficiente r = -0.89, que indica una relación inversa entre estas variables. Las plantas de quinua con panojas verdes en floración presentarán panojas compactas; en cambio, si las panojas son de color mixtura (púrpura-rojo), en floración presentarán panojas de densidad intermedia.

d) Correlación significativa de la tolerancia a granizada (ATG)

La variable tolerancia a granizada (ATG) formó una asociación significativa y positiva con la variable daño provocado por aves (BDA) con un coeficiente positivo r = 0.82, debido a la relación directa existente entre estas variables. Es decir que, las plantas de quinua con buena tolerancia a la granizada, tendrán bajo daño provocado por aves.

4.3.3. Análisis de componentes principales para variables cualitativas.

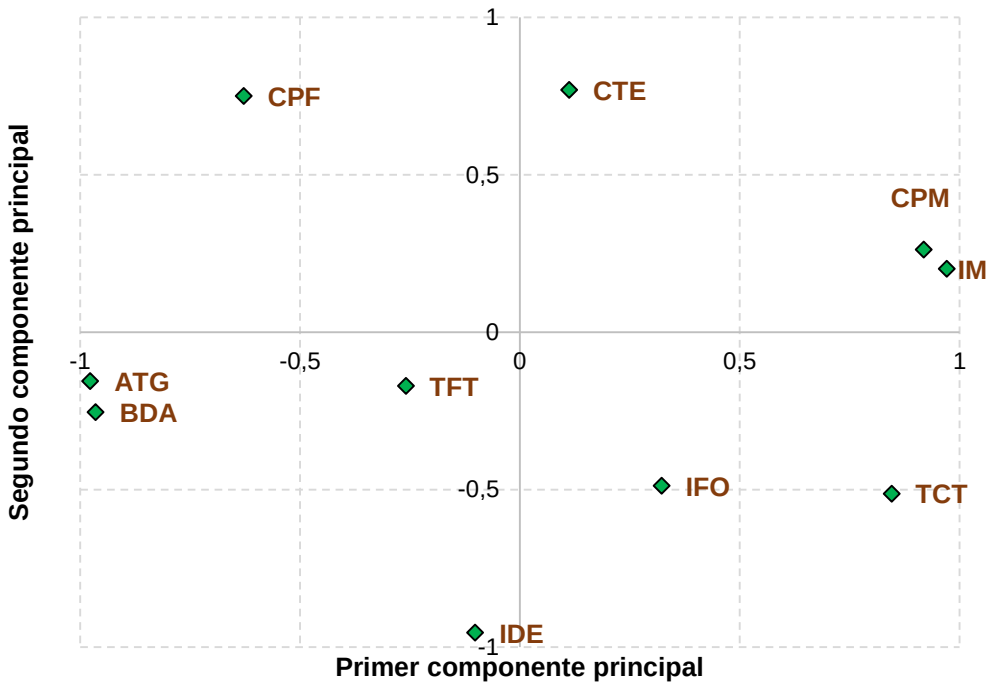
En el cuadro 14. Se presentan los resultados del análisis de componente principal para datos categóricos, realizado con información de 10 variables cualitativas. Se identificaron y seleccionaron 3 componentes principales cuyos valores propios fueron mayores a 1.

Cuadro 14. *Valores propios, porcentaje de la varianza y contribuciones individuales de 10 variables cualitativas originales a la formación de tres componentes principales.*

Componentes principales		CP1	CP2	CP3
Valor propio		5,0	2,8	1,5
Porcentaje de la varianza (%)		49,8	28,0	14,7
Varianza acumulada (%)		49,8	77,7	92,5
Variables		**CP1**	**CP2**	**CP3**
Forma del tallo principal	TFT	-0,26	-0,17	**0,91**
Color del tallo principal	TCT	**0,85**	**-0,51**	-0,02
Color de estrías en el tallo	CTE	0,11	**0,77**	**0,53**
Color de panoja a la floración	CPF	**-0,63**	**0,75**	0,00
Color de panoja a la madurez fisiológica	CPM	**0,92**	0,26	0,29
Forma de panoja	IFO	0,32	-0,49	**0,51**
Densidad de panoja	IDE	-0,10	**-0,95**	0,04
Tolerancia a granizada	ATG	**-0,98**	-0,16	0,14
Incidencia del mildiu	IM	**0,97**	0,20	-0,05
Daños provocados por aves	BDA	**-0,97**	-0,25	0,05

Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 6. *Distribución espacial de 10 variables cualitativas sobre los primeros componentes principales.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

El primer componente contribuyó con el 49,8 % a la varianza total. Las variables que aportaron en forma positiva y significativa al componente fueron: incidencia de mildiu (IM), color de panoja en la madurez fisiológica (CPM) y color de tallo principal (TCT) con vectores propios de 0.97, 0.92 y 0.85, respectivamente. Asimismo, fueron significativos los aportes negativos de tolerancia a granizada (ATG), daños provocados por aves (BDA) y color de panoja a la floración (CPF) con vectores propios; fluctuaron entre -0.63 y -0.98. Estos resultados indican que el primer componente principal para datos cualitativos identificó a accesiones de quinua con tallos amarillos, panojas de color verde en floración, susceptibles al mildiu, con poco daño provocado por aves, buena tolerancia a granizada y con panojas rojo-amarillo o rojo-verde en madurez fisiológica.

Las características de este primer componente son similares a los descritos por (Limachi, 2021), quien indicó que las variables que más aportaron en forma positiva al componente fueron: el color de panoja en la madurez fisiológica (CPM) (0,72) y color de panoja en floración (CPF) (0,68), color de pericarpio (GCP) (-0,67) y color de episperma (GCE) (-0,64). Estos resultados indican que el primer componente principal identificó a genotipos de quinua

con panojas obscuras en la floración y en madurez fisiológica (púrpura, rojo, mixtura, negro, marrón rojo) que presentará granos con episperma obscuros (café, canela).

El segundo componente principal explicó el 28 % de la varianza total y fue conformado por el aporte significativo y positivo de las variables, color de estrías en el tallo (CTE) y color de panoja en floración (CPF) con vectores propios de 0.77 y 0.75, respectivamente. De igual forma, son significativas las contribuciones negativas de las variables densidad de panoja (IDE) (-0.95) y color de tallo principal (TCT) (-0.51). Este componente identificó a las accesiones de quinua con panojas mixturas (púrpura-roja) en floración, panojas de densidad intermedia, tallos de color púrpura y con estrías de color púrpura.

Estos resultados son muy diferentes a los descritos por (Benito, 2020), quien mencionó que el segundo componente se formó con las contribuciones significativas del hábito de crecimiento (AHC) y color del pericarpio (GCP). Este componente identificó a aquellas accesiones de hábito de crecimiento ramificado hasta el segundo tercio con mayor diversidad de colores del pericarpio del grano. Similarmente, (Limach,i 2021) determinó que el segundo componente principal fue conformado por el aporte significativo y positivo de las variables tolerancia a heladas (HEL) (0,73) y daño provocado por aves (AVE) (0,71); también por los aportes significativos y negativos de las variables, eflusión de saponina (SAP) (-0,48) e incidencia de mildiu (MIL) (-0,46).

Finalmente, el tercer componente principal explicó el 14.7 % de la varianza total y se formó con las contribuciones significativas positivas de las variables forma del tallo principal (TFT), color de estrías en el tallo (CTE) y forma de panoja (IFO), con vectores propios que fluctuaron entre 0.51 y 0.91. Este tercer componente identificó a accesiones de quinua con tallos de forma angulosa, con estrias de color púrpura y panojas compactas.

Estos resultados son diferentes a los reportados por (Limachi, 2021), que estableció que el tercer componente principal se formó con el aporte de las variables, hábito de crecimiento (HAB) (0,69) y eflusión de saponina (SAP) (0,59) e incidencia al mildiu (MIL) (-0,48). Este componente identificó a genotipos de quinua con ramas hasta el segundo tercio, que presentaron granos con altos contenidos de saponina y baja incidencia de mildiu. A menor incidencia de mildiu, mayor será el contenido de saponina en los granos.

La proyección de las variables cualitativas sobre los dos primeros componentes (Figura 6) muestra que el grado de correlación existente entre ellas. Las variables más cercanas expresan un mayor grado de asociación, contrariamente, si están distantes, la relación o

asociación es menor (Figura 6). Por consiguiente, las variables color de panoja a la madurez (CPM) e incidencia de mildiu (IM) están estrechamente relacionadas expresando una relación directa entre ellas. De acuerdo con estas características, las plantas de quinua de colores de panoja rojo-amarillo o rojo-verdes en madurez fisiológica, son susceptibles al mildiu.

Las variables de tolerancia a granizada (ATG) y daño causado por aves (BDA) muestran una asociación significativa y directa. Las accesiones de quinua que muestren bajo daño provocado por aves, tendrán buena tolerancia a la granizada (ATG).

Asimismo, las variables color de panoja en floración (CPF), color de estrías en el tallo, forma de panoja (IFO), densidad de panoja (IDE) y color de tallo principal (TCT), no formaron asociaciones significativas entre ellas y con las demás variables, por ello su posición es distante y dispersa en la Figura 6.

Estos resultados son distintos a los descritos por (Limachi, 2021), que reportó que las variables color de la panoja en la madurez fisiológica (CPM) y el color de panoja en floración (CPF) están muy correlacionados. Si las plantas presentan colores obscuros en la floración, también tendrán colores obscuros en la madurez fisiológica.

4.4. Descripción simultánea de variables cuantitativas y cualitativas

4.4.1. Análisis de componentes principales para datos cuantitativos y cualitativos discriminantes (CAPTCA)

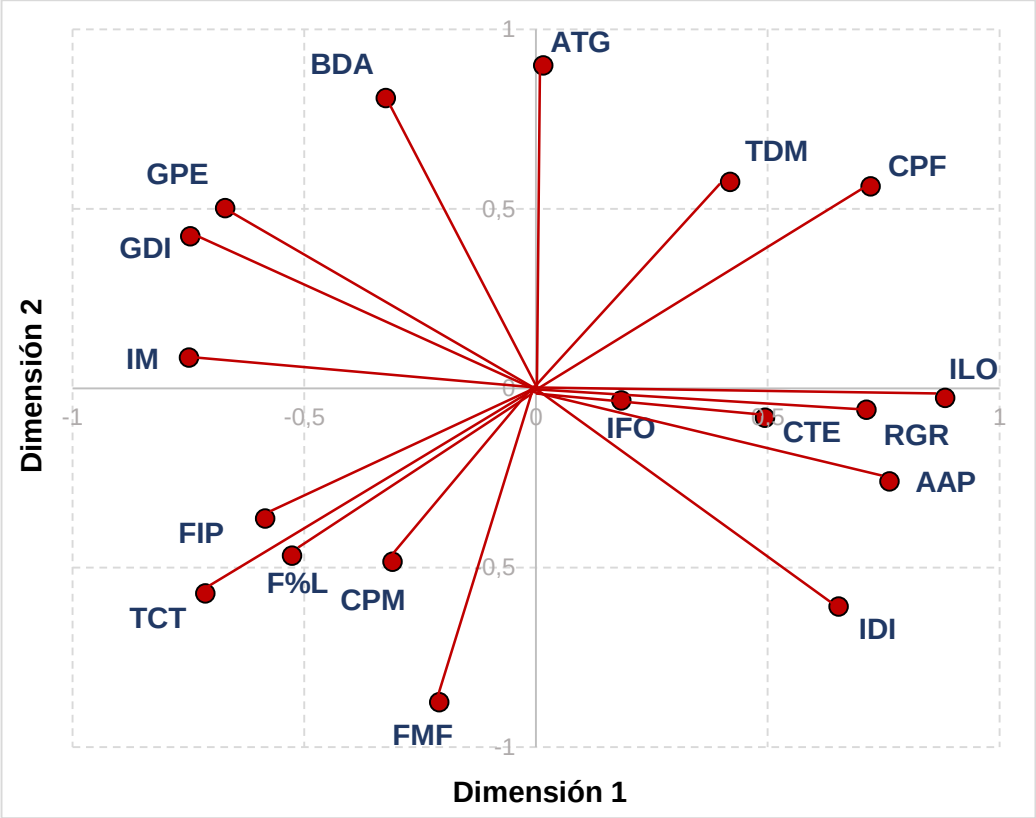
Para la aplicación de esta técnica inicialmente se identificaron y seleccionaron las variables cuantitativas y cualitativas más discriminantes en base a los resultados del analisis de frecuencias, análisis de componentes principales para datos cuantitativos y analisis de componentes principales para datos cualitativos**.** Es en este sentido que se conformó una nueva matriz de datos con información de 10 variables cuantitativas y 8 variables cualitativas. Los resultados de la aplicación de la técnica CAPTCA sobre esta nueva base de datos se presentan a continuación.

Cuadro 15. *Correlaciones entre variables originales de 6 accesiones y las 4 primeras dimensiones principales, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*

Dimensiones		**D1**	**D2**	**D3**
Valor propio		6,2	4,7	2,8
Porcentaje de la varianza (%)		34,3	26,0	15,6
Varianza acumulada (%)		34,3	60,2	75,8
Variables originales		**D1**	**D2**	**D3**
Días a la madurez fisiológica (nº)	FMF	-0,21	**-0,88**	-0,40
Días al 50% de la floración (nº)	F%L	-0,53	-0,47	-0,09
Días al inicio de panojamiento (nº)	FIP	-0,58	-0,36	-0,23
Altura de la planta (cm)	AAP	**0,76**	-0,26	-0,34
Rendimiento de grano por planta (g/pl)	RGR	**0,71**	-0,06	0,11
Longitud de panoja (cm)	ILO	**0,88**	-0,03	-0,19
Diámetro de panoja (mm)	IDI	**0,65**	**-0,61**	0,34
Diámetro del tallo principal (mm)	TDM	0,42	**0,57**	-0,06
Peso de 100 granos (g)	GPE	**-0,67**	0,50	-0,04
Diámetro del grano (mm)	GDI	**-0,75**	0,42	0,01
Incidencia del mildiu	IM	**-0,75**	0,08	0,29
Color de panoja a la madurez fisiológica	CPM	-0,31	-0,48	**0,73**
Tolerancia a granizada	ATG	0,02	**0,90**	0,36
Daños provocados por aves	BDA	-0,32	**0,81**	-0,38
Color del tallo principal	TCT	**-0,71**	**-0,57**	-0,03
Color de estrías en el tallo	CTE	0,49	-0,08	**0,76**
Color de panoja a la floración	CPF	**0,72**	**0,56**	0,04
Forma de panoja	IFO	0,18	-0,03	**-0,91**

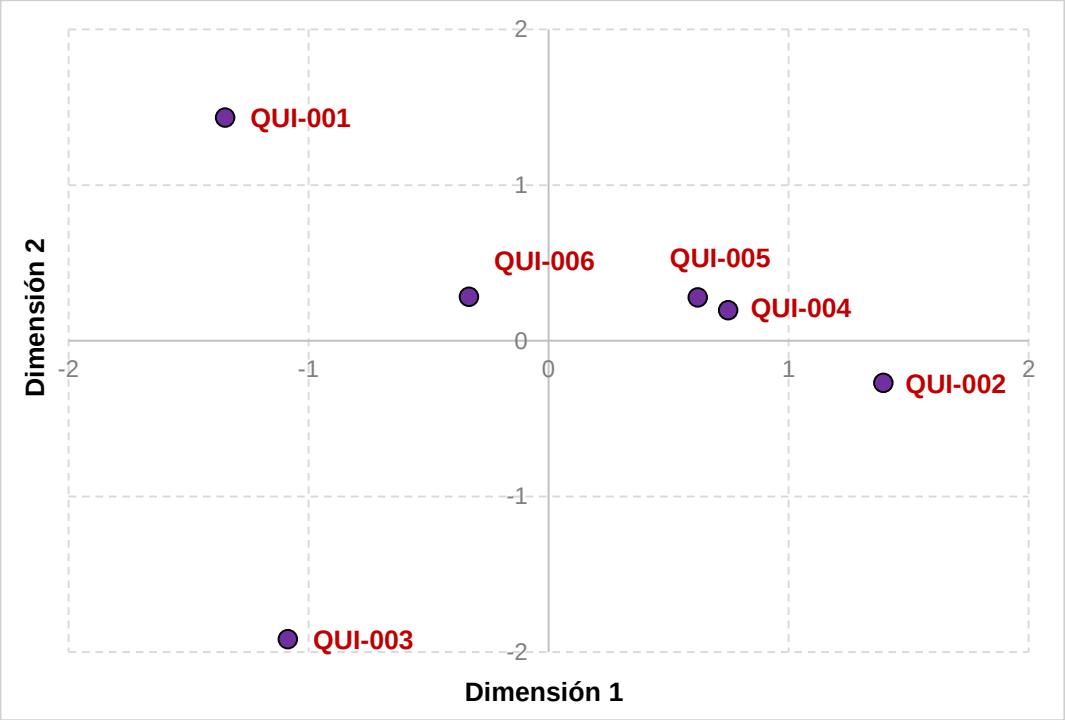
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 7. *Distribución espacial de variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 8. *Distribución espacial de variables cuantitativas y cualitativas evaluadas en 6 accesiones de quinua, localidad de Kallutaca, 2021-2022.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

La primera dimensión principal aportó con más del 34 % a la varianza total. En la formación de la primera dimensión principal, se destaca la contribución significativa y positiva de las variables: longitud de panoja (ILO), altura de planta (AAP) y color de panoja en floración (CPF), con vectores propios entre 0.71 y 0.88. Similarmente, se destaca el aporte significativo y negativo de las variables incidencia del mildiu (IM), diámetro de grano (GDI) y peso de 100 granos (GPE), con coeficientes fluctuantes entre -0.67 y -0.75 (Cuadro 15). Estos resultados indican la primera dimensión principal que caracteriza a aquellas accesiones de quinua semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu.

En trabajos similares, (Limachi, 2021) estableció que la primera dimensión se formó con el importante aporte de las variables de arquitectura de planta: altura de planta, longitud máxima de hoja, ancho máximo de hoja, diámetro de tallo principal, diámetro de panoja y rendimiento de grano por planta, con correlaciones positivas y significativas comprendidas entre 0,53 a 0,92. Esta primera dimensión principal caracterizó a aquellos genotipos de quinua con plantas altas, con tallos gruesos, hojas grandes, panojas grandes, de ciclo fenológico

semitardío y que a su vez registran buenos rendimientos e índices de cosecha, como resultado de su tolerancia a heladas, poco daño provocado por las aves y baja incidencia al mildiu.

La segunda dimensión principal explicó el 26 % de la varianza total y se formó con las contribuciones significativas y positivas de las variables tolerancia a granizada (ATG), daño provocado por aves (BDA), diámetro de tallo principal (TDM) y color de panoja a la floración (CPF), con vectores propios comprendidos entre 0.56 y 0.90. Asimismo, se destaca el aporte significativo y negativo de las variables días a la madurez fisiológica (FMF), diámetro de panoja (IDI) y color de tallo principal (TCT), con vectores propios entre -0.57 y -0.88. Esta segunda dimensión caracterizó a las accesiones de quinua con mala tolerancia a granizada, con alto daño provocado por aves, con colores de panoja mixtura (púrpura-rojo) en floración, tallos púrpuras, que presentaron tallos gruesos, panojas pequeñas, que produjeron granos grandes, aunque con muy bajos rendimientos.

Estos resultados son similares a los reportados por (Limachi, 2021), quien mencionó que la segunda dimensión principal identificó a aquellas quinuas semiprecoces, de porte mediano, con hojas medianas, panojas medianas, de granos grandes y pesados, con saponina; sin embargo, con bajos rendimientos y bajos índices de cosecha, debido a su poca tolerancia a heladas y alta incidencia a mildiu.

La tercera dimensión principal explicó el 15,6% de la varianza total. Se destacan en la formación de esta dimensión, el aporte significativo de las variables forma de panoja (IFO), color de estrías en el tallo (CTE) y color de panoja a la madurez fisiológica (CPM), con vectores propios de -0.91, 0.76 y 0.73, respectivamente. De acuerdo con estos resultados, esta dimensión identificó a accesiones de quinua con panojas de forma intermedia, estrías púrpuras en el tallo principal, que tuvieron panojas rojo verde en la madurez fisiológica, con tolerancia al mildiu y moderada tolerancia a la granizada.

Al respecto (Limachi, 2021), encontró que esta tercera dimensión principal identificó a genotipos de quinua con ciclo fenológico precoz, de tamaño pequeño, con ramas largas, hojas pequeñas, granos con saponina, que presentaron los mayores rendimientos de grano e índices de cosecha, que pueden atribuirse a su alta tolerancia a heladas, baja incidencia a mildiu y poco daño provocado por aves.

La técnica multivariada CAPTCA permite representar las proyecciones de las variables originales sobre los dos primeros ejes principales o dimensiones (Figura 7).

Las variables con alto nivel de asociación entre ellas se sitúan a la derecha de la Figura 7, muy próximas al eje de la primera dimensión, según estos resultados el rendimiento de grano por planta (RGR) está estrechamente vinculado con la altura de planta (AAP), longitud de panoja (ILO), diámetro de panoja (IDI), color de estrías en el tallo (CTE) y forma de panoja (IFO).

Todas las variables relacionadas con el rendimiento de grano tienen una asociación inversa con las variables diámetro de grano (GDI), peso de 100 granos (GPE), daño causado por aves (BDA) e incidencia de mildiu (IM). Estos resultados muestran que las accesiones de quinua en el estudio que tuvieron altos rendimientos, presentaron plantas altas, tallos púrpuras, panojas grandes y compactas, pero produjeron granos pequeños y livianos. Adicionalmente, podemos mencionar que este tipo de quinuas mostraron ser resistentes al mildiu y resistentes al ataque de aves, todas estas características tuvieron una influencia positiva en el desarrollo de las plantas, que se tradujo en un alto rendimiento de grano por planta.

Las variables fenológicas muestran también alto grado de asociación entre ellas y se encuentran situadas en el tercer cuadrante. Asimismo, estas variables se asociaron directamente con el color de tallo (TCT) y con el color de panoja en madurez fisiológica (CPM), e inversamente con el color de panoja en floración (CPF) y con el diámetro de tallo (TDM). Las accesiones de quinua en estudio de ciclo fenológico tardío tendrán tallos amarillos, panojas verdes en floración, panojas rojo-verde en madurez fisiológica y tallos delgados.

Resultados similares fueron descritos por (Limachi, 2021), quien indicó que las variables más vinculadas, en sentido positivo, a la primera dimensión fueron diámetro de tallo (DTA), altura de planta (ALT), rendimiento de grano por planta (REN) y días a la madurez fisiológica (DMF).

La Figura 8. muestra la posición de cada una de las accesiones de quinua en estudio, que fue establecida como resultado del aporte que realizan las variables cuantitativas y cualitativas a la formación de las dos primeras dimensiones principales.

Como se mencionó anteriormente, la primera dimensión principal identificó a las accesiones de quinua semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu. Según la Figura 8, la accesión QUIN-2 (UPEA – AGRO – QUI 002), presenta estas características y puede ser utilizada en trabajos de mejoramiento genético basados en altos

rendimientos de grano y resistencia a mildiu. Asimismo, las accesiones QUI-004 (UPEA – AGRO – QUI 004) y QUI-005 (UPEA – AGRO – QUI 005) presentan similares características y también pueden ser una alternativa para trabajos de mejoramiento genético.

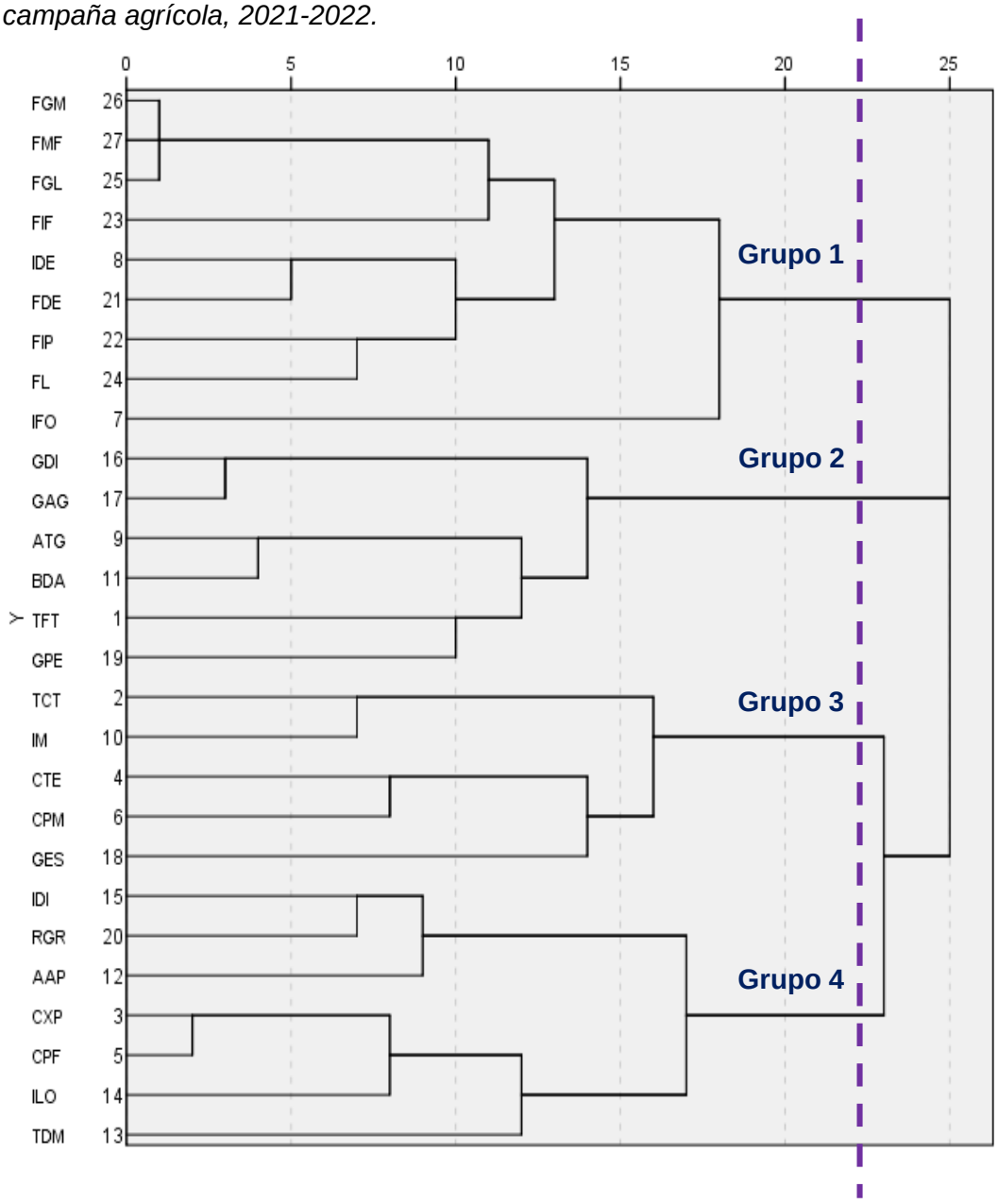
Si el objetivo de mejoramiento genético fuera la obtención de quinuas de grano grande, se puede utilizar la accesión QUI-001 (UPEA – AGRO – QUI 001) debido a que está asociada a la segunda dimensión, que identificó a las accesiones de quinua que produjeron granos grandes, con colores de panoja verde en floración, tallos amarillos, que presentaron tallos gruesos, panojas pequeñas, aunque con muy bajos rendimientos.

4.4.2. Análisis de conglomerados

4.4.2.1. Análisis de agrupamiento jerárquico para variables cuantitativas y cualitativas.

La técnica de agrupamiento jerárquico muestra sus resultados en un Dendograma de variables cuantitativas y cualitativas, el cual se formó en base al grado de asociación entre variables, según estos resultados, se formaron 4 grupos de variables (Figura 9).

Figura 9. *Dendograma para 6 accesiones de quinua caracterizadas y evaluadas en la campaña agrícola, 2021-2022.*



Fuente: Elaboración propia, 2023

El primer grupo está conformado por 9 variables: 7 variables fenológicas y 2 variables de panoja. Las variables pertenecientes al Grupo 1 son: días a grano masoso (FGM), días a la madurez fisiológica (FMF), días a grano lechoso (FGL), días al inicio de floración (FIF), densidad de panoja (IDE), días a la emergencia (FDE), días al inicio de panojamiento (FIP), días al 50% de floración (F%L) y forma de panoja (IFO).

El segundo grupo está conformado por 6 variables: diámetro de grano (GDI), ancho de grano

(GAG), tolerancia a granizada (ATG), daño provocado por aves (BDA), forma de tallo (TFT) y peso de 100 granos (GPE).

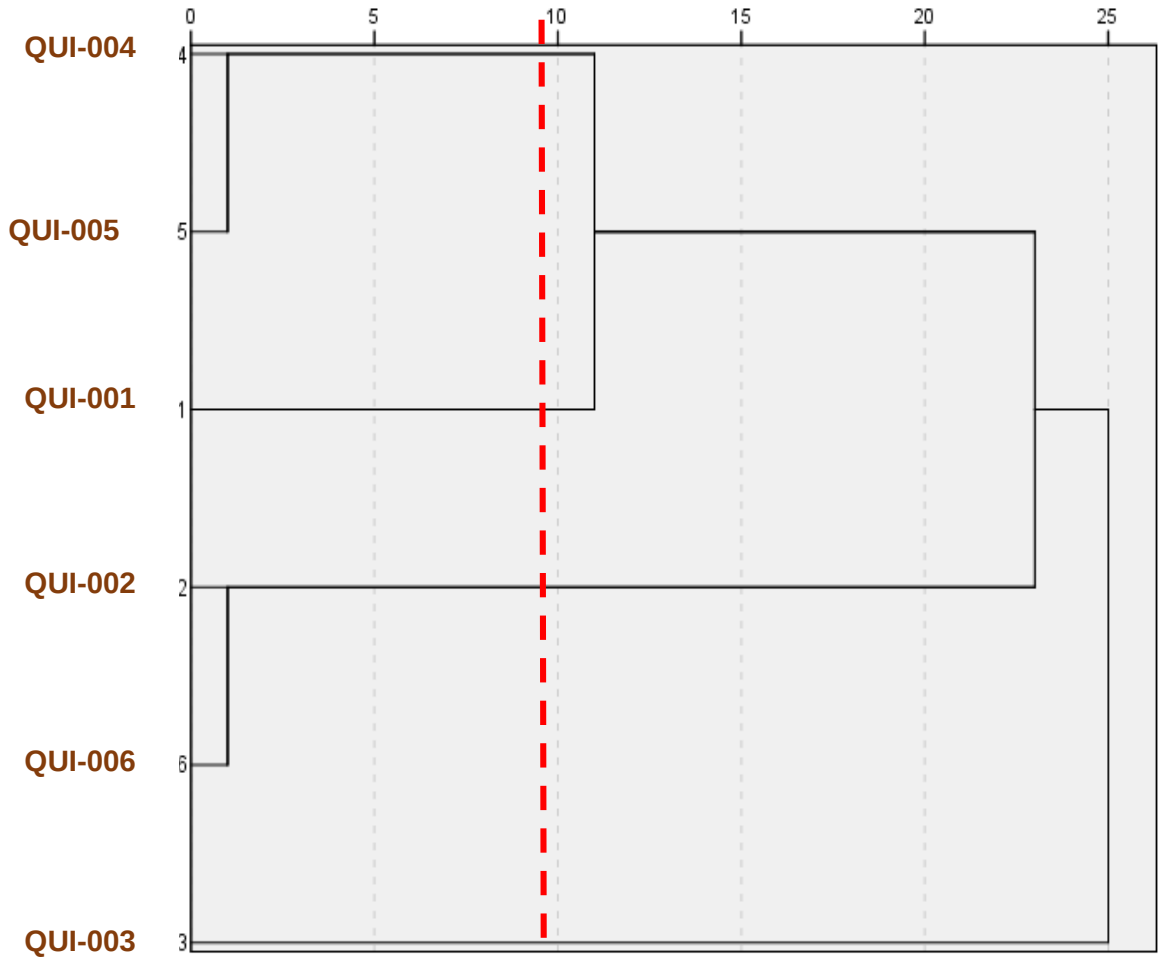
El tercer grupo contiene a las variables: color de tallo principal (TCT), incidencia del mildu (IM), color de estrías en el tallo (CTE), color de panoja en madurez fisiológica (CPM) y espesor de grano (GES).

Finalmente, el cuarto grupo está conformado por las variables: diámetro de panoja (IDI), rendimiento de grano por planta (RGR), altura de planta (AAP), presencia de axilas pigmentadas (CXP), color de panoja en floración (CPF), longitud de panoja (ILO) y diámetro de tallo (TDM).

4.4.2.2. Análisis de agrupamiento jerárquico para accesiones de quinua

El análisis de agrupamiento jerárquico realizado para las accesiones de quinua en estudio posibilitó la formación de 4 grupos de accesiones similares entre sí. El procedimiento de agrupamiento consideró las características cualitativas y cuantitativas similares que presentaron las accesiones de quinua.

Figura 10. *Dendograma de 6 accesiones de quinua caracterizadas y evaluadas en la campaña agrícola 2021-2022***.**



Fuente: Elaboración propia, 2023

Según la Figura 10, el Grupo 1 está conformado por las accesiones QUI-004 (UPEA – AGRO – QUI 004) y QUI-005 (UPEA – AGRO – QUI-005) que mostraron ser semiprecoces, con plantas de porte alto, panojas grandes, que produjeron granos pequeños y livianos, con baja incidencia de mildiu y con buenos rendimientos.

El Grupo 2, está conformado por la accesión QUI-001 (UPEA – AGRO – QUI 001) que se caracterizó por producir granos grandes, con colores de panoja mixtura en floración, tallos verdes, con tallos gruesos, panojas pequeñas, pero con muy bajos rendimientos.

El Grupo 3, está formado por 2 accesiones de características similares. Las accesiones QUI-002 (UPEA – AGRO – QUI 002) y QUI-006 (UPEA – AGRO – QUI - 006) corresponden a quinuas semiprecoces, con plantas medianas, panojas grandes, de buenos rendimientos,

que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu.

El Grupo 4, contiene una sola accesión con características diferentes a las demás accesiones. Esta accesión mostró periodo vegetativo tardío, buena tolerancia a granizada, con bajo daño provocado por aves, panoja verde en floración, tallos verdes, que presentaron tallos gruesos, panojas grandes, que produjeron granos grandes, alto rendimientos.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos del estudio y los resultados obtenidos, se plantean las siguientes conclusiones:

El análisis estadístico descriptivo de 16 variables cuantitativas permitió describir el comportamiento agronómico y morfológico de las accesiones de quinua, estableciendo que existe mayor variabilidad en cuanto a: número de días a la emergencia (FDE), diámetro de panoja (IDI), longitud de panoja (ILO), altura de planta (AAP), peso de 100 granos (GPE) y rendimiento de grano por planta (RGR).

El análisis de correlación simple de Pearson permitió evidenciar que existen asociaciones altamente significativas y positivas entre variables fenológicas, con coeficientes entre r = 0.66 a r = 0.90. Asimismo, la altura de planta de quinua (AAP), formó asociaciones altamente significativas y positivas con el diámetro de panoja (IDI), longitud de panoja (ILO) y el rendimiento de grano por planta (RGR), con coeficientes entre r = 0.53 y r = 0.68.

El análisis de componentes principales (ACP) para datos cuantitativos estableció que los 3 primeros componentes principales son los más importantes y explican más del 62% de la varianza total. El primer componente principal identificó a las accesiones de quinua tardías en emerger, tardías en alcanzar la floración, de baja altura, con panojas pequeñas, de bajos rendimientos de grano por planta, pero que tuvieron granos grandes. El segundo componente identificó accesiones de porte alto, panojas anchas, tardías en alcanzar la madurez fisiológica, de granos pequeños y livianos.

La proyección de las variables cuantitativas sobre el plano bidimensional permitió establecer que las variables vinculadas directamente con el rendimiento de grano por planta (RGR) son: longitud de panoja (ILO), diámetro de panoja (IDI), altura de la planta (AAP) y diámetro del tallo principal (TDM).

El análisis de frecuencias para 15 variables cualitativas permitió establecer que, en las accesiones de quinua en estudio, existe diversidad en cuanto a color de tallo principal (TCT) y color de panoja en madurez fisiológica (CPM).

El análisis de correlación de Spearman para variables cualitativas mostró que el color de tallo principal (TCT) formó asociaciones significativas pero negativas con las variables color de

panoja a la floración (CPF) y tolerancia a la granizada (ATG), que indican que las plantas de quinua con tallos de color amarillo presentaron panojas verdes en la floración y a su vez tendrán buena tolerancia a la granizada. Asimismo, la variable presencia de axilas pigmentadas (CXP) registró una asociación altamente significativa con el color de panoja a la floración (CPF), en este sentido, las plantas con axilas pigmentadas presentarán panojas de color mixtura (púrpura-rojo) en la floración.

El análisis de componentes principales para variables cualitativas identificó 3 componentes principales que explican el 92,5 % de la varianza total. El primer componente principal identificó a accesiones de quinua con tallos amarillos, panojas de color verde en floración, susceptibles al mildiu, con poco daño provocado por aves, buena tolerancia a granizada y con panojas rojo-amarillo o rojo-verde en madurez fisiológica. El segundo componente identificó a las accesiones de quinua con panojas mixturas en floración, panojas de densidad intermedia, tallos de color púrpura y con estrias de color púrpura.

La técnica CAPTCA aplicado a 10 variables cuantitativas y 8 variables cualitativas explicó más del 75 % de la varianza total. La primera dimensión principal caracterizó a aquellas accesiones de quinua semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu. La segunda dimensión caracterizó a las accesiones de quinua con mala tolerancia a granizada, con alto daño provocado por aves, con colores de panoja mixtura (púrpura-rojo) en floración, tallos púrpuras, que presentaron tallos gruesos, panojas pequeñas, que produjeron granos grandes, aunque con muy bajos rendimientos.

La accesión QUIN-2 (UPEA – AGRO – QUI 002), presenta características favorables para el mejoramiento genético debido a su alto rendimiento de grano y resistencia a mildiu. Esta accesión es semiprecos, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu. Le siguen en importancia las accesiones QUI-004 (UPEA – AGRO – QUI 004) y QUI-005 (UPEA – AGRO – QUI 005), que presentan similares características y también pueden ser una alternativa para trabajos de mejoramiento genético.

El análisis de agrupamiento jerárquico realizado para las variables de quinua en estudio, posibilitó la formación de 4 grupos de variables similares entre sí. El grupo 1, está conformado por variables fenológicas. El grupo 2, está conformado por variables de grano, tolerancia a granizada y daño provocado por aves. El tercer grupo contiene a las variables de tallo,

incidencia de mildiu y color de panoja en madurez fisiológica. El cuarto grupo está conformado por las variables relacionadas con el rendimiento de grano por planta, entre ellas, diámetro y longitud de panoja, altura de planta, diámetro de tallo, presencia de axilas pigmentadas y color de panoja en floración (CPF).

El análisis de agrupamiento jerárquico para accesiones de quinua, posibilitó la formación de 4 grupos de accesiones similares entre sí. El Grupo 3, formado por las accesiones QUI-002 (UPEA – AGRO – QUI 002) y QUI-006 (UPEA – AGRO – QUI 006), se destaca para utilizarse en trabajos de mejoramiento genético, por ser semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda conservar la variabilidad de los recursos genéticos existentes en toda la zona andina, asimismo en los bancos de germoplasma, para dar uso a programas de mejoramiento genético.

Seguir realizando investigaciones para el seleccionado de materiales promisorios en distintas zonas productoras de quinua, para así obtener quinuas potenciales y resistentes a factores externos para así cubrir con la necesidad de variedades de quinua en productores bolivianos.

En el presente estudio se recomienda las accesiones UPEA-AGRO-QUI-002, UPEA-AGRO-QUI-006, las cuales se destacan para utilizarse en trabajos de mejoramiento genético, por presentar características favorables, siendo estas semiprecoces, con plantas altas, panojas grandes, de buenos rendimientos, que produjeron granos pequeños y livianos, y que, además, presentan baja incidencia de mildiu.

Promover la accesión UPEA-AGRO-QUI-001 recomendada en cuanto a resistencia a mildiu y la accesión UPEA-AGRO-QUI-003 en cuanto a tolerancia a granizada, para realizar investigaciones de resistencia a mildiu y granizada.

7. BIBLIOGRAFIA

Álvarez, M.; J. Pavon; Von Rutte. (1990). Caracterización. Ln C. Whalied, Quinua hacia un cultivo comercial. Latinreco S.A. Mariscal. Quito, Ecuador pp. 5 – 20.

Benito S. (2020). Correlación morfométrica de 100 accesiones de quinua *(Chenopodium quinoa* Willd*.),* para uso en programas de mejoramiento. Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica universidad Pública de El Alto. El Alto, La Paz, Bolivia. 136 p.

Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.

Bonifacio, A. (2019). Improvement of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd*.*) and Qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) in the context of climate change in the high Andes. In: Cien. Inv. Agr. 46(2):113-124. 2019. Environmental and Ecology. Universidad Catolica de Chile. Santiago. Chile. 12 p.

Bhargava, A. (2013). Quinoa: Botany, production and uses. Boston, Massachusetts.

Calla, J. (2012) Guia tecnica Manejo Agronomico del cultivo de la quinua Manallasac-Chiara-Ayacucho Peru UNALM, 6-28 p.

Choque, A. K. H., Alanoca, N. H., Mamani, F. M., & Torrico, S. V. (2021) Diversidad fenotípica y genotípica de 50 nuevas accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), del Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos.

Cruces, L. (2016). GUÍA DE IDENTIFICACIÓN Y CONTROL de las principales plagas que afectan a la quinua en la zona andina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago.

Cruz, M. (2016). Caracterización agronómica de la colección de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Banco Nacional de Granos Altoandinos, del altiplano centro en la estación experimental de Patacamaya. La Paz - Bolivia.

Dizes, J. y A. Bonifacio. (1992). Estudio en microscopia electrónica de la morfología de los órganos de la quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) y de la cañahua (*Chenopodium*

pallidicaule A.) en relación con la resistencia a la sequía. In: D. Morales y J. Vacher (eds.). Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. La Paz, Bolivia. 4-8 de julio de (1991). pp 69-74.

Días, I; García, C; León, M; Ruiz, F y Torrez F. (2014), Guía de asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS) ayudantía estadística 1, Chile, 19 p.

FAO. (2011). La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial.: Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 58 p.

Fernández, S. (2011). Análisis de Frecuencias. Facultad de Ciencias Económicas y Empresarial-UAM (Universidad Autónoma de Madrid). 34 p.

Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico No. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p

Gallardo, M.; Gonzales, A.; Ponessa, G. (1997). Morfologia del fruto y semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. (Quinoa). *Chenopodiacea. pp*. 1-39.

Gomez, L. (2016). Guía del cultivo de la quinua (UNAM Ed. 2da ed.). Lima.

Gonzales, S. (2009). Estudio de flujo de genes en quinua (*Chenopodium quinoa W*.) en campo de agricultores mediante el uso de marcadores microsatélites., Universidad de las Fuerzas Armadas Pichincha, Ecuador.

Guarachi, E. (2011). Balance Hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en Suka kollus., Universidad Pública de El Alto. Carrera de Ingeniería Agronómica., La Paz, Bolivia.

Hidalgo, R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In Análisis estadístico de datos. Franco, L. e Hidalgo (eds.) IPGRI. Roma, Italia. 2-27 pp.

Iquize, E. y Alanoca, C. (2013) Catalogo de 274 acceciones del Banco de Germoplama de Quinua de Bolivia. Instituto Nacional de Agropecuaria y Foirestal. La Paz, Bolivia 33p.

Limachi L. (2021). Análisis de la variabilidad genética de 100 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la localidad de Calamarca, Provincia Aroma-La Paz. Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica Universidad Pública de El Alto. El Alto, La Paz, Bolivia. 130 p.

Martínez, S. (2012). Guía práctica para el cultivo de quinua. Tarija, Bolivia.

Mendoza, A. (2019). Evaluacion de las caracteristicas fisicas y el valor nutricional del grano en cinco variedades de quinua *(Chenopodium quinoa* Willd.) en la Estacion Experimental de Choquenaira (Doctoral dissertation).

Moñocopa, L. (2012). Adaptabilidad de veinticinco líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en condiciones del altiplano norte del departamento de La Paz., Universidad Pública de El Alto. Ingeniería Agronómica., La Paz, Bolivia.

Mujica, A., Suquilada, M., Chura, E., Ruiz, E., León, A., Cutipa, S. y Ponce, C. (2013). Producción orgánica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Universidad Nacional del Altiplano, FINCAGRO. Puno, Perú. p. 118

Pinto, M. (2002). Análisis de la Variabilidad Genética del germoplasma de quinua (C*henopodium quinoa W*illd.) circundante al lago Titicaca. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. pp. 23-92.

Pinto, M. (2011). Estudio de la variabilidad genética de la colección de germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de Bolivia, Tesis de Posgrado para obtener el grado de Maestría en “Conservación y Manejo de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología Vegetal Aplicada”. Universidad Mayor de San Simón (UMSS) Cochabamba, Bolivia, 175 p.

Puña I., Argandoña F. y Benavides J. (2021). Producción y mercado de la quinua en Bolivia. Serie Ideas y Reflexiones Nro. 8/2021. Instituto de Investigaciones Socio Económicas. Universidad Católica Boliviana. La Paz, Bolivia. 7 p.

Rodríguez, J. (2005). El papel del tamaño de semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el crecimiento y desarrollo de las plantas frente a diferentes profundidades de siembra. UMSA, La Paz, Bolivia, 117.

Rojas Capcha, A. (2021). Caracterización fenotípica de 402 accesiones de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de La Molina-Lima.

Rojas, W., Soto J., Pinto M Stefano M. (2010). Granos Andinos Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Fundación PROINPA, Regional Altiplano. La Paz, Bolivia. 186 p.

Salvatierra, R. (2016). producción agrícola de cultivo de quinua. Potosí, Bolivia.

Sanchéz (2020). Caracterización genotípica por RAPDs y morfométrica de diferentes accesiones de quinua *(Chenopodium quinoa* Willd) de la zona centro del Ecuador (Bachelor's thesis).

Saravia, R.; Quispe R. (2005). Biología y comportamiento de las Ticonas Ficha técnica. Segunda edición. Fundación para la Promoción e Investigación en Productos Andinos (PROINPA) La Paz, Bolivia. 4 p

Tapia, M. (2020) Tesis de grado Determinación de caracteres agronómicos y componentes de rendimiento de 14 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) En el centro de Innovación Toralapa, Cochabamba. 77 p.

Veas Enrique y Cortés Hernán (2016). MANUAL DEL CULTIVO DE LA QUINOA Cultivo ancestral como una alternativa eficiente para la adaptación de la agricultura al cambio climático.Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas Raúl Bitrán #1305, La Serena, Chile. 48 p.

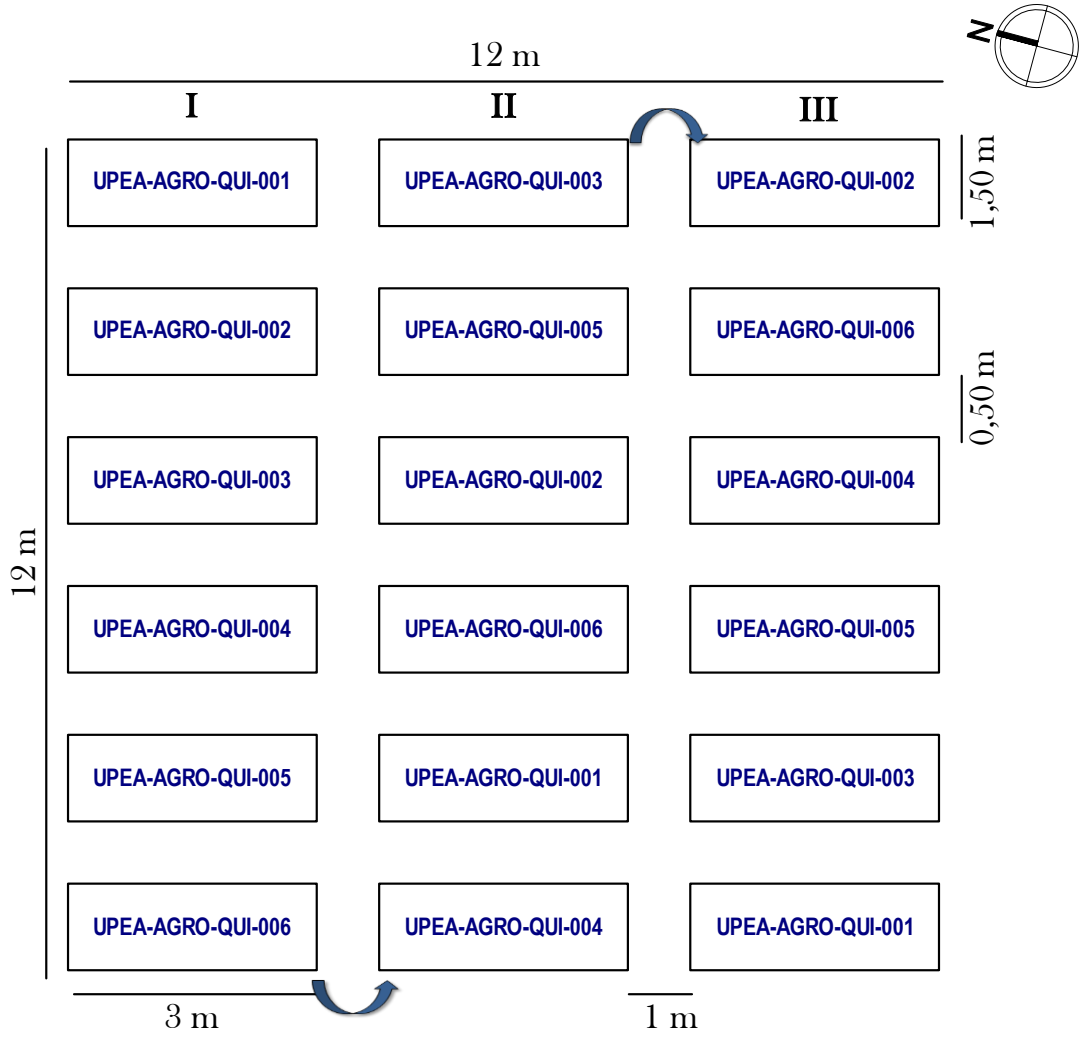
Via, R. (2015). Determinación de la diversidad genética de 172 acceciones de la colección nacional de *Chenopodium quinoa* Willd. “Quinua” mediante marcadores microsatelitales. Universidad Ricardo Palma.

Zaragosa, T. (2010). Cultivo de la quínoa orgánica (*Chenopodium quínoa* Willd): España.

Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. and Schwember, A. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Mol Breeding Journal, 34 (1).

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis del ensayo



Anexo 2. Descripción del área de estudio

Área total	144 m2
Área por bloques	36 m2
Área por unidad experimental	4.5 m2
Pasillos entre bloques	1 m
pasillos entre U/E	0.5 m
Surcos U/E	3
Densidad de siembra	8 kg* ha^{-1}

Anexo 3. Variables de respuesta

CARACTERISTICAS	ID	SIMBOLO	DESCRIPTOR
ARQUITECTURA	1	AHC	Habito de crecimiento
	2	AAP	Altura de la planta
	3	APR	Presencia de ramificación
TALLO	4	TFT	Forma de tallo principal
	5	TDM	Diámetro de tallo principal
	6	TCT	Color de tallo principal
	7	CXP	Presencia de axilas pigmentadas
	8	TPE	Presencia de estrías
	9	CTE	Color de estrías en el tallo
	10	CPF	Color de panoja a la floración
	11	CPM	Color de panoja a la madurez
INFLORESCENCIA	12	IFO	Forma de panoja
	13	IDE	Densidad de panoja
	14	ILO	Longitud de panoja (cm)
	15	IDI	Diámetro de la panoja (mm)
GRANO	16	GDI	Diámetro de grano (mm)
	17	GAG	Ancho del grano
	18	GES	Espesor de grano
	19	GPE	Peso de 100 gramos (g)
	20	GFO	Forma de grano
	21	RGR	Rendimiento de semilla por planta
RENDIMIENTO	22	RIC	Indicé de cosecha
FENOLOGIA	23	FDE	Días a la emergencia
	24	FIP	Número de días hasta el inicio de panojamiento
	25	FP	Número de días hasta el 50% de panojamiento
	26	FIF	Número de días hasta inicio de floración
	27	F%L	Número de días hasta 50% de floración
	28	FGL	Número de días hasta grano lechoso
	29	FGM	Número de días hasta grano pastoso
	30	FMF	Número de días hasta 50% de la madurez fisiológica
SUCEPTIVILIDAD	31	ATG	Tolerancia a granizada
	32	BIM	Incidencia de mildiu
	33	BDA	Daño provocado por aves (%)

Anexo 4. Preparación del terreno

Anexo 5. Material genético utilizado en la investigación

Anexo 6. Siembra de las accesiones de quinua.

Anexo 7. Toma de muestras de 5 plantas en cada unidad experimental con sus respectivos marbetes.

Anexo 8. Vista de panojas de las diferentes accesiones.

UPEA-AGRO-QUI 001

UPEA-AGRO-QUI 002

UPEA-AGRO-QUI 003

UPEA-AGRO-QUI 004

UPEA-AGRO-QUI 005

UPEA-AGRO-QUI 006

Anexo 9. Vista de las parcelas de quinua en la madurez fisiológica.

Anexo 10. Cosecha de las parcelas experimentales de quinua.

Anexo 11. Venteado de las semillas de quinua.