

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE 402 ACCESIONES DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN CONDICIONES DE LA
MOLINA-LIMA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA

ALESSANDRA CYNTHIA ROJAS CAPCHA

LIMA-PERÚ

2021

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE 402 ACCESIONES DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN CONDICIONES DE LA
MOLINA-LIMA”**

ALESSANDRA CYNTHIA ROJAS CAPCHA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

.....
Dr. Sady Javier García Bendezu

PRESIDENTE

.....
Dra. Luz Rayda Gómez Pando

ASESORA

.....
Mg Sc. Ana Eguiluz de la Barra

MIEMBRO

.....
Dr. Félix Camarena Mayta

MIEMBRO

LIMA-PERÚ

2021

Este trabajo está dedicado con todo cariño para mi familia.

AGRADECIMIENTO

Al Programa Nacional de Innovación Agrícola, Sub proyectos de investigación estratégica-Contrato 014-2015-INIA_PNIA/UPMSI/IE “Identificación de líneas con resistencia genética al Mildiú en poblaciones obtenidas por inducción de mutaciones y en el germoplasma colectado en Perú para una producción con enfoque orgánico del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)”, por la subvención para la realización del presente trabajo.

A la Dra. Luz Gómez Pando por la oportunidad brindada y por su guía a lo largo de la preparación de este trabajo de investigación.

A Corina Ponce por compartir sus conocimientos y por todo el apoyo en campo.

A mis amigas, Ibett y Pilar por su colaboración en las labores, análisis y por su compañía.

A la Sra. Ruth Paucar por sus consejos, a la Ing. Martha Ibáñez por su ayuda en el análisis estadístico y a todos los colaboradores del Programa de Cereales y Granos Nativos.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. ORIGEN.....	3
2.1.1. Histórico.....	3
2.1.2. Genético	3
2.2. TAXONOMÍA.....	4
2.2.1. Familia Amaranthaceae.....	4
2.2.2. Género <i>Chenopodium</i>	5
2.3. MORFOLOGÍA.....	5
2.3.1. Raíz	5
2.3.2. Tallo	5
2.3.3. Hojas	6
2.3.4. Inflorescencia	7
2.3.5. Flores.....	8
2.3.6. Fruto.....	8
2.3.7. Semilla	9
2.4. FENOLOGÍA	9
2.5. ECOLOGÍA.....	11
2.5.1. Temperatura.....	11
2.5.2. Humedad-Precipitación.....	11
2.5.3. Fotoperiodo	12
2.5.4. Suelos.....	12
2.6. ECOTIPOS.....	12
2.7. GENÉTICA	14
2.8. CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD	17
2.8.1. Conservación <i>ex situ</i>	17
2.8.2. Conservación <i>in situ</i>	18
2.9. CARACTERIZACIÓN	18
2.10. DESCRIPTOR.....	19
2.10.1. Descriptores de caracterización	20
2.10.2. Descriptores de evaluación.....	25
2.10.3. Caracteres cualitativos	27
2.10.4. Caracteres cuantitativos	29

2.11. ANÁLISIS MULTIVARIADO	35
2.11.1. Estadísticos simples	35
2.11.2. Análisis de componentes principales	36
2.11.3. Análisis de clúster.....	36
2.11.4 Distancia Euclidiana.....	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1. LUGAR	39
3.2. CLIMA.....	39
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	40
3.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	40
3.4.1. Análisis estadístico	41
3.4.2. Procedimiento experimental	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	51
4.1. CARACTERES MORFOLÓGICOS	51
4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CARACTERES AGRONÓMICOS, GRADO DE SEVERIDAD DE MILDIU Y CARACTERES DE CALIDAD	61
4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	63
4.4. ANÁLISIS DE CLÚSTER.....	67
4.5. DISTANCIAS EUCLIDIANAS.....	72
V. CONCLUSIONES	79
VI. RECOMENDACIONES	80
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
VIII. ANEXOS	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fenología de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	9
Tabla 2: Requerimientos de humedad y temperaturas, de los tipos de quinuas según las zonas agroecológicas.	14
Tabla 3: Herencia genética de algunos caracteres de la quinua	15
Tabla 4: Grado de heredabilidad de caracteres estudiados	29
Tabla 5: Comparación del contenido de proteínas entre la quinua y otros cultivos por cada 100 g de peso seco	34
Tabla 6: Comparación de los perfiles de los aminoácidos esenciales de la quinua y otros cultivos seleccionados con el patrón de puntuación recomendado por la FAO para edades entre los 3-10 años (g/100 g de proteína).....	34
Tabla 7: Datos meteorológicos de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt. ...	39
Tabla 8: Lista de variables evaluadas y sus abreviaciones.....	41
Tabla 9: Estadística General de caracteres agronómicos, respuesta a mildiu (<i>Peronospora variabilis</i>) y de calidad descritos en 402 accesiones de quinua (<i>C. quinoa</i>) del banco de Germoplasma de la Universidad Agraria La Molina.	63
Tabla 10: Componentes principales con sus respectivos valores propios y su varianza absoluta y acumulada, derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina	64
Tabla 11: Correlaciones de las variables con los componentes principales seleccionados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina	66
Tabla 12: Características cuantitativas y distancias euclidianas de las accesiones más valiosas para su empleo en un programa de mejoramiento genético.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Hábito de crecimiento de la quinua.	20
Figura 2: Forma de la panoja de la quinua	24
Figura 3: Porcentaje de área afectada por mildiu en quinua	32
Figura 4: Presencia de ramificación (PR)	51
Figura 5: Color de tallo (CT).....	52
Figura 6: Color de estrías (CE).....	52
Figura 7: Color de axilas (Cax)	53
Figura 8: Forma de hoja de tallo (FHT).....	54
Figura 9: Forma de hoja de panoja (FHP).....	54
Figura 10: Borde de hoja (BH).....	55
Figura 11: Número de dientes (ND)	55
Figura 12: Color de peciolo (CP).....	56
Figura 13: Color de Lámina foliar (CLF).....	56
Figura 14: Forma de panoja (FP).....	57
Figura 15: Densidad de panoja (DP).....	58
Figura 16: Color de panoja en floración (CPF)	58
Figura 17: Colores de pericarpo (clp)	59
Figura 18: Colores de pericarpo (clp)	60
Figura 19: Colores de episperma (cde)	61
Figura 20: Gráfica de sedimentación de los componentes principales derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina.	65
Figura 21: Grupos de similitud formados en base a la evaluación morfológica, agronómica y caracteres de calidad de 402 accesiones de quinua (Ch. quinoa).	68

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Código de la coloración en grano (pericarpo y episperma)	90
ANEXO 2: Matriz de datos	94
ANEXO 3: Lista de accesiones de quinua (<i>Ch. quinoa</i>) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el grupo I de similitud.	94
ANEXO 4: Lista de accesiones de quinua (<i>Ch. quinoa</i>) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el grupo II de similitud.....	95
ANEXO 5: Lista de accesiones de quinua (<i>Ch. quinoa</i>) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el III grupo de similitud.	95
ANEXO 6: Distancias euclidianas de las 402 accesiones.....	97

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), es una especie originaria de la región andina y es reconocida por su amplia adaptación a diversos ambientes debido a su gran variación genética. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la diversidad morfológica, fisiológica y de calidad de 402 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma de la Universidad Agraria La Molina. La caracterización de las accesiones fue realizada empleando los descriptores de quinua y parientes silvestres de *Bioversity International*, evaluándose 15 variables cualitativas y seis variables cuantitativas en las condiciones de La Molina (costa central). La información recopilada fue procesada empleando el análisis multivariado, considerando los componentes principales (ACP) y el agrupamiento por similaridad. El análisis de componentes principales permitió reducir la serie de variables de la matriz de datos a nueve componentes principales que explicaron el 70.35 % de la varianza total; las variables que más contribuyeron en la formación de los nueve componentes principales fueron (de mayor a menor aporte): número de dientes, respuesta a la enfermedad de mildiu, color de estrías, altura de planta, densidad de panoja, forma de hoja de tallo, peso de 1000 granos, forma de panoja, porcentaje de saponina, peso por panoja, color del episperma, presencia de ramificación, color de tallo, color de axilas, color de peciolo, color de panoja en floración, color de lámina foliar, porcentaje de proteínas, color de pericarpo. El análisis de conglomerados formó tres grupos diferentes en base a las características evaluadas. Se identificaron 94 accesiones con mejores características agronómicas y de calidad.

Palabras clave: quinua, accesiones, caracterización, variación fenotípica.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a species native to the Andean Region and is recognized for its wide adaptation to diverse environments due to its great genetic variation. The objective of the present work was to evaluate the morphological, physiological and quality diversity of 402 accessions of quinoa from the Germplasm Bank of the Agrarian University La Molina. The characterization of the accessions was carried out using the descriptors of quinoa and wild relatives of *Bioversity International*, evaluating 15 variables qualitative and six quantitative in the conditions of La Molina (central coast). The information collected was processed using multivariate analysis, considering the main components (ACP) and cluster for similarity. The analysis of main components allowed to reduce the series of variables of the data matrix to nine main components that explained 70.35% of the total variance; the variables that contributed the most in the formation of the nine main components were (from highest to lowest contribution): number of teeth, response to mildew disease, stem striae color, plant height, density of panicle, shape of stem leaf, weight of 1000 grains, panicle shape, percentage of saponin, weight per panicle, color of episperm, presence of branching, color of stem, color of armpits, color of petiole, color of panicle in flowering, color of leaf blade, percentage of proteins, color of pericarp. The cluster analysis formed three different groups based on the characteristics evaluated. Among all de accessions 94 were selected by better agronomic performance and quality characteristics.

Keywords: quinoa, accessions, characterization, phenotypic variation.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) originaria de la zona andina sudamericana, principalmente de Perú y Bolivia; cultivada por los Incas fue considerada como el grano de los dioses, siendo uno de los cultivos más importantes, junto con la papa y el maíz. Es un alimento de excepcional valor nutritivo, principalmente por la calidad de sus proteínas, las cuales varían de 10.4 a 7.0 por ciento (Reyes *et al.* 2006). El valor proteico de un alimento se mide en base a dos factores: el balance de los aminoácidos y el contenido de los llamados aminoácidos esenciales. La quinua resalta en estos dos factores, pues contiene 16 de los 24 aminoácidos existentes (Villacrés *et al.* 2011). En los últimos años se ha incrementado el consumo de alimentos funcionales, es decir ahora no solo basta con que sean nutritivo sino también que mejoren la salud y eviten el riesgo de contraer enfermedades. El consumo de la quinua tiene un efecto benéfico sobre los diversos factores de riesgo que facilitan el desarrollo de enfermedades como la diabetes y enfermedades vasculares, y al estar libre de gluten, puede ser una importante opción en la alimentación de personas con dichas enfermedades (Hernández, 2015).

Además de su valor proteico, su resistencia a la sequía y al frío, la convierten en una nueva alternativa para la seguridad alimentaria mundial y una herramienta para enfrentar los problemas del cambio climático, y al aumento de la salinización de tierras agrícolas (Bazile *et al.* 2014). Los genes que le confieren estas cualidades a la quinua se encuentran combinados en la gran cantidad de genotipos que han sido colectados y conservados en los bancos de germoplasma a nivel de los países de la región andina, centro de origen de la quinua y en otros lugares del mundo.

Los bancos de semilla de la región andina conservan más del 88 por ciento de la variabilidad genética del cultivo (Rojas *et al.* 2014). En el Perú existen alrededor de 3000 muestras registradas en los bancos de germoplasma (Bazile *et al.* 2014).

De allí cobra importancia la caracterización fenotípica y genotípica de las accesiones colectadas en los bancos de germoplasma e iniciar su uso en un cultivo directo o emplear sus características genéticas valiosas en los programas de mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades con mejor potencial agronómico y de calidad que permitan incrementar los rendimientos de granos y mejorar la alimentación y la rentabilidad de los agricultores que se dedican a su cultivo.

Considerando lo arriba señalado, la hipótesis a comprobar en este trabajo fue:

“Dentro de las 402 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina evaluadas existen genotipos con caracteres morfológicos, fisiológicos y de calidad deseables para el mejoramiento genético.”

Para dar comprobación a esta hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el grado de variación fenotípica de 402 accesiones de quinua considerando características morfológicas, fisiológicas, respuesta a la enfermedad de mildiu causada por *Peronospora variabilis* y calidad en condiciones de la costa central.
- Identificar accesiones valiosas para su empleo en programas de mejoramiento genético.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ORIGEN

2.1.1. Histórico

El centro de origen de una especie es la región donde se inicia el proceso de domesticación, y donde se encuentran los parientes silvestres que dieron lugar a la especie, este concepto se desprende de Vavilov el cual estudio la distribución de las principales especies cultivadas en el mundo. Vavilov definió ocho centros de origen, entre el que se encuentra el centro de la región andina sudamericana (Bogoe, 2009).

Actualmente no se puede asegurar cuando y donde fue domesticada la quinua, pero podemos decir a partir de las investigaciones y restos arqueológicos, que sirvió de alimento a los pueblos ancestrales en Perú, Bolivia, Chile y Argentina entre 8000-3000 años a.C., por lo que se reconoce a la región Andina como centro de origen/domesticación (Planella *et al.* 2014).

La quinua en el Perú se distribuyó en la sierra sur principalmente en la cuenca del lago Titicaca, la sierra centro en el valle del Mantaro cultivada por los Huancas y en la sierra norte, en el Callejón de Huaylas. En los valles interandinos, su cultivo era común en asociaciones con maíz (Tapia, 1979).

2.1.2. Genético

Existen diversas teorías que tratan de explicar el origen genético de la quinua y que se citan a continuación:

Wilson y Heiser (1979), señala que la quinua descendió a partir de tetraploides de *Ch. berlandieri* en norte América. Por medio de investigaciones posteriores estas especies

fueron señaladas como diferentes especies, aunque con morfología y genética muy similares. Mujica y Jacobsen (2000), señalan que la quinua se habría originado en Sudamérica, a partir de descendientes diploides de especies de *Chenopodium* del altiplano como *Ch. pallidicaule* (cañihua cultivada), *Ch. petiolare* Kunth, y *Ch. carnosolum* Moq. y malezas tetraploides sudamericanas como *Ch. hircinum* Schard., o *Ch. quinoa* var *melanospermum*. Fuentes-Bazan *et al.* (2012), postulan que un tetraploide norte americano dio origen a las quinuas de sud américa como resultado de un proceso de migración y descartan la ocurrencia de alotetraploidía independiente en Sudamérica. Los tetraploides candidatos probablemente son los derivados de *Ch. berlandieri* var *zschackei*. Señalan por otro lado que los tetraploides mexicanos domesticados son descendientes de *Ch. berlandieri* var *sinuatum*.

Jarvis *et al.* (2017), señala que la quinua es el resultado de la hibridación de especies diploides ancestrales y que los estudios de secuenciación de genes identifican como candidatos de los genomas progenitores a diploides de América del Norte y Europa.

2.2. TAXONOMÍA

2.2.1. Familia Amaranthaceae

La familia tiene amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales e incluye cerca de 170 géneros y 2300 especies. La principal característica de la familia es la tolerancia a las condiciones climáticas adversas y condiciones edáficas (Bonifacio, 2003)

Se señala que los granos de polen son medianos y pantoporados en los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium*. Antiguamente se separaba a Chenopodiaceae de Amaranthaceae por los tépalos y brácteas verdes y suculentas y por los estambres libres entre sí (Freire-Fierro, 2004).

Según el APG o Angiosperm Phylogeny Group las quenopodiaceas son subfamilia Chenopodioideae de la familia Amaranthaceae en base a investigaciones moleculares (Stevens y Davis, 2001).

La clasificación taxonómica de la quinua es la siguiente (ITIS, 2017):

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Amaranthaceae</i>
Subfamilia:	<i>Chenopodioideae</i>
Tribu:	<i>Chenopodieae</i>
Género:	<i>Chenopodium</i>
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i>

2.2.2. Género *Chenopodium*

El género *Chenopodium* comprende unas 150 especies (Fuentes-Bazan *et al.* 2012), entre cultivados y silvestres. En las especies cultivadas tenemos a la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cañihua (*C. pallidicaule* Aellen) y el huazontle, quelite o chía (*C. nuttalliae* Safford), mientras que en las especies silvestres tenemos a *C. carnosolum*, *C. petiolare*, y *C. hircinum* (Bonifacio, 2003).

2.3. MORFOLOGÍA

2.3.1. Raíz

Presenta una raíz pivotante, la cual consta de una raíz principal de la que salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas. La longitud de las raíces es variable, de 0.8 a 1.5 m. (Gandarillas, 1979; Aguilar y Nieto, 1981; Gómez y Aguilar, 2016).

2.3.2. Tallo

El tallo es cilíndrico en la unión con el cuello de raíz y a medida que se aleja se vuelve anguloso en las zonas de nacimiento de hojas y ramas. La corteza formada por tejidos fuertes y lignificados le da una consistencia firme y compacta. Cuando los tallos son jóvenes la

médula es suave, la médula es esponjosa y seca al madurar y en la cosecha el tallo queda hueco o vacío (Gandarillas, 1979; Gómez y Aguilar, 2016).

El color básico del tallo en la época de floración, puede ser verde, verde-amarillo, naranja, rosado, rojo y púrpura. En algunas variedades se puede apreciar la presencia de estrías con colores variables como el verde, amarillo, rosado y púrpura y en otras la presencia de axilas de color rosado, rojo y púrpura. Las combinaciones resultantes del color básico del tallo, el color de las estrías y el color de axilas puede ser empleado para identificar variedades. A la madurez el color del tallo, en general, se torna de un color crema o rosado con diferentes intensidades. La altura de planta, desde la base del tallo al ápice de la inflorescencia, varía de 0.5 m. a más de 3 m. (Gómez y Aguilar, 2016).

De acuerdo a Mujica *et al.* (1999) y Gómez y Aguilar (2016) el hábito de ramificación del tallo puede ser de:

- Hábito sencillo: con un solo tallo y una inflorescencia terminal definida. Este tipo de tallo; se encuentra predominantemente en variedades de los ecotipos del altiplano y los de los salares.
- Hábito ramificado con las variantes: (a) las ramas laterales tienen casi la misma longitud que el tallo principal y todas terminan en panojas, y (b) el tallo principal tiene mayor longitud que los tallos secundarios dando a la planta una forma cónica con la base bastante amplia.

2.3.3. Hojas

Las hojas tienen dos partes diferenciadas: el peciolo y la lámina. El peciolo de las hojas es largo y acanalado. El color del peciolo puede ser verde, rosado, rojo y púrpura.

La lámina de la hoja tiene tres venas principales que se originan del peciolo. Las láminas son polimórficas en la misma planta. Las láminas de la planta o el follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados

El número de dientes es variable, puede variar de 3 a 20. Las hojas y las partes tiernas de la planta están generalmente cubiertas con una pubescencia vesicular–granular blanca, rosada o púrpura. Esta pubescencia granular contiene oxalato de calcio capaz de absorber agua del medio ambiente e incrementar la humedad relativa de la atmósfera que rodea las hojas, influenciando el comportamiento de las células guarda de los estomas; por lo tanto en la transpiración. El color de la lámina predominantemente es verde; en algunas variedades puede observarse hojas de color verde-púrpura. A la madurez las láminas se tornan amarillas, naranjas, rosadas, rojas o púrpuras (Gandarillas, 1979; Mujica *et al.* 1999; Gómez y Aguilar, 2016).

2.3.4. Inflorescencia

Es una panoja de 15 – 70 cm. de longitud. Generalmente se encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Tiene un eje principal, ejes secundarios y eje terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos (grupos de flores) se clasifican en amarantiformes, glomerulatas e intermedias.

- En el *grupo amarantiforme* los glomérulos están directamente insertados en el eje secundario y los glomérulos tienen una forma casi rectangular, muy semejantes a dedos. En el *tipo glomerulata* los glomérulos están ubicados en el eje terciario que se origina del eje secundario y toman la apariencia redondeada como las cuentas de un rosario.
- En el *tipo intermedio* los glomérulos tienen una forma no definida (entre rectangulares o redondeados).

La longitud de los ejes secundarios y terciarios determina si la inflorescencia puede ser laxa, intermedia o compacta; esta última característica está asociada al tamaño de los granos, siendo los más pequeños, los formados en panojas compactas (Gandarillas, 1979; Gómez y Aguilar, 2016).

2.3.5. Flores

Las flores son sésiles o pediceladas y están agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo, determinan el tamaño y el número de los granos o frutos.

Es una planta ginomonoica porque presenta dos tipos de flores en la misma planta; hermafroditas y pistiladas. Las flores hermafroditas se encuentran en el ápice del glomérulo y son más grandes que las pistiladas, con un diámetro de 3 a 5 mm; tienen cinco tépalos, cinco anteras y un ovario súpero con dos o tres ramificaciones estigmáticas. Las flores pistiladas se encuentran alrededor y debajo de las flores hermafroditas, están formadas de cinco tépalos, un ovario súpero y dos o tres ramificaciones estigmáticas y tienen un diámetro de 2 a 3 mm. La proporción de flores hermafroditas y pistiladas es variable; el rango encontrado varía de 2 a 98 por ciento; esta proporción es importante si el cultivo se siembra en forma aislada, ya que influye en la cantidad de frutos formados. Además de ello, algunas variedades de quinua tienen esterilidad masculina. La quinua se considera autógama con un porcentaje de cruzamiento de 17 por ciento, aproximadamente (Gandarillas, 1979; Aguilar y Nieto, 1981; FAO y PNUMA 2001; Gómez y Aguilar, 2016).

2.3.6. Fruto

Es un aquenio de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto y se desprenden con facilidad a la madurez; sin embargo, en algunos casos puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la cosecha y el procesamiento industrial de los granos.

El fruto está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de las semillas y el nivel de adherencia es variable, tiene alveolos en su superficie y la saponina que le da el sabor amargo al grano. El fruto puede alcanzar un diámetro de 1.5 a 3 mm. (Gandarillas, 1979; Mujica *et al.* 1999; Gómez y Aguilar, 2016).

2.3.7. Semilla

Presenta tres partes: epispermo, embrión y perispermo. El epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye, aproximadamente, el 30 por ciento del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo, con una curvatura de 320 grados. La radícula, muestra una pigmentación de color castaño oscuro. El perispermo es el principal tejido de almacenamiento; reemplaza al endospermo y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60 por ciento de la semilla.

El color de los granos depende de la capa en observación. Si las variedades mantienen el perigonio sepaloide (tépalos de las flores) los colores son verdes, rojos y púrpura. Si se observa el pericarpio los colores pueden ser blanco, crema, amarillo, naranja, rojo, rosado, púrpura, marrón, gris y negro. Por otro lado, si el pericarpio se desprende durante el proceso de eliminación de la saponina, la capa observada es la envoltura de la semilla o epispermo y puede ser blanca, crema, roja, marrón, gris o negra. La intensidad del color puede disminuir o desaparecer en el proceso de secado de los granos en maduración en campo y la luminosidad del ambiente de almacenamiento del grano o puede ser eliminada en el agua durante el lavado de la quinua (Gandarillas, 1979; Gómez y Aguilar, 2016).

2.4. FENOLOGÍA

En la Tabla 1 se presenta en forma esquemática las fases fenológicas del cultivo de la quinua.

Tabla 1: Fenología de *Chenopodium quinoa* Willd.

Fase fenológica	Descripción	DDS
Emergencia	Los cotiledones aún unidos, emergen del suelo.	5-6 DDS
Hojas cotiledonales	Los cotiledones emergidos se separan y muestran las dos hojas cotiledonales extendidas de forma lanceolada angosta	7-10 DDS
Dos hojas verdaderas	Aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya tienen forma romboidal y con nervaduras claramente distinguibles	15-20 DDS

Continuación...

Fase fenológica	Descripción	DDS
Cuatro hojas verdaderas	Dos pares de hojas verdaderas completamente extendidas	25-30 DDS
Seis hojas verdaderas	Tres pares de hojas verdaderas extendidas	35-45 DDS
Ramificación	8 hojas verdaderas extendidas y extensión de las hojas axilares, también se observa la presencia de la inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja	45-50 DDS
Inicio panojamiento	La inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta	55-60 DDS
Panojamiento	La inflorescencia sobresale con mucha nitidez por encima de las hojas superiores	65-70 DDS
Inicio de floración	Es cuando las flores hermafroditas apicales de los glomérulos conformantes de la inflorescencia se encuentran abiertos, mostrando los estambres separados de color amarillento	75-80 DDS
Floración	Es cuando el 50 por ciento de las flores de la inflorescencia principal (cuando existan inflorescencias secundarias) se encuentran abiertas	90-100 DDS
Grano lechoso	Fase cuando los frutos al ser presionados entre las uñas de los dedos pulgares, explotan y dejan salir un líquido lechoso	100-130 DDS
Grano pastoso	Cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco	130-160 DDS
Madurez fisiológica	Fase en la que la planta completa su madurez, y se reconoce cuando los granos al ser presionados por las uñas presentan resistencia a la penetración.	160-180 DDS

Nota: En la tabla DDS significa días después de siembra, Adaptado de “*Fenología campesina de la quinua.*” por Mujica, A., Mamani, Z., Apaza, Z., Chambi, W., Cutipa, S., Tito, F.,... Ramos, E., 2014, Recuperado de quinua.pe/wpcontent/uploads/2014/02/quinua.pdf

2.5. ECOLOGÍA

La ecología de un cultivo hace referencia a la relación de este con su medio ambiente (biótico y abiótico) y que determina el crecimiento de cultivo (FAO, 2009). Actualmente se centra en el estudio de las condiciones físicas y medioambientales para determinar los mejores genotipos y los lugares para cultivarlos.

2.5.1. Temperatura

Las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo, están en el rango de 15 a 25°C, dependiendo de las variedades. La quinua puede tolerar las heladas y temperaturas altas durante las fases de desarrollo vegetativo y la formación de la inflorescencia, mas no desde la floración hasta el estado de grano pastoso. Tanto las bajas como las altas temperaturas originan esterilidad de polen y afectan el desarrollo y crecimiento de la planta, dando lugar a esterilidad o granos inmaduros, arrugados o de bajo peso; dependiendo del momento en que se produce el estrés de temperatura (Gómez y Aguilar, 2016).

2.5.2. Humedad-Precipitación

La precipitación óptima es de 500 a 800 mm, aunque es cultivada dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1000 mm. Los periodos críticos en los que la falta de humedad y afecta la productividad son: germinación-emergencia, y el estado de crecimiento y llenado del fruto.

La quinua presenta tolerancia a la sequía, a través de diversos mecanismos como su sistema radicular muy ramificado y profundo, la reducción de su área foliar por eliminación de hojas en condiciones de estrés, presencia de vesícula conteniendo oxalato de calcio que es higroscópico y reduce transpiración a través de la regulación de las células guardas, a sus pequeñas células con paredes gruesas que le permiten preservar la turgencia aún en severas pérdidas de agua (Gómez y Aguilar, 2016).

2.5.3. Fotoperiodo

Las variedades del Altiplano de Perú y Bolivia y las quinuas del nivel del mar son las de menor sensibilidad al fotoperiodo y son las que tienen menor longitud del ciclo a antesis. La duración del ciclo a antesis también está influenciada por la altitud sobre el nivel del mar de la zona de origen de la quinua (Gómez y Aguilar, 2016).

2.5.4. Suelos

Puede crecer en diferentes tipos de suelos; se puede encontrar variedades de quinua cultivadas en suelos con pH desde 4.5 (en los valles interandinos del Norte del Perú) hasta 9.0 (altiplano peruano boliviano y los salares de Bolivia) (Gómez y Aguilar, 2016).

2.6. ECOTIPOS

La quinua fue domesticada y cultivada en una amplia región que abarca desde el nivel del mar (0-500 m.s.n.m.), la yunga (500-2500 m.s.n.m.), valle interandino (2500-3500 m.s.n.m.) hasta el altiplano andino (3500-4000 m.s.n.m.), por lo que surgen diversos tipos de quinuas llamados ecotipos (Gómez y Aguilar, 2016).

Los cinco ecotipos son descritos por Rojas y Pinto (2016):

- Quinuas de nivel del mar: Se encuentran en Chile (Linares y Concepción) a 36° Latitud Sur. Son plantas más o menos robustas, de 1.0 a 1.4 m de altura, de crecimiento ramificado, producen granos de color crema transparente (tipo Chullpi). Tienen un gran parecido con la *Chenopodium nuttalliae* (Huahzontle) que se cultiva en forma aislada en México a 20° Latitud Norte.
- Quinuas de Valles Interandinos: Son las que se adaptan entre los 2500 a 3500 msnm, se caracterizan por su alto desarrollo, hasta 2.5 m o más de altura y con muchas ramificaciones, con inflorescencia laxa y que normalmente presentan resistencia al mildiu (*Peronospora variabilis*).

- **Quinuas de Altiplano:** Se desarrollan entre los 3600 a 3800 msnm en la región que corresponde al altiplano peruano-boliviano, en áreas mayores como cultivos puros o únicos. Es en esta región del altiplano donde se encuentra la mayor variabilidad del cultivo y se producen los granos de uso más especializados. Las plantas crecen con alturas entre 0.5 a 1.5 m, con un tallo que termina en una panoja principal y por lo general compacta. En este grupo, es donde se encuentra el mayor número de variedades mejoradas, y los materiales se comportan como susceptibles al mildiu cuando son sembrados en zonas de mayor humedad.

En el caso del Perú, considerando la cercanía al lago Titicaca (efecto termorregulador) y a la altitud, Gómez y Aguilar (2016) consideran los siguientes sub-grupos:

- Sub grupo sin pigmentación o denominadas blancas: sembradas alrededor del lago Titicaca, son plantas verdes, con semillas blancas, menor tolerancia a las heladas y buen potencial de rendimiento.
 - Sub grupo witullas, wilas, wariponchos, sembradas a distancia intermedia del lago a altitud en zona Suni (3500 – 4000 m.s.n.m.), se caracterizan por su tolerancia a las heladas y a variaciones muy contrastantes de temperatura entre el día y la noche.
 - Sub grupo kcoitos: sembradas a distancias más lejanas al lago y en zona puna (más de 4000 m.s.n.m.), son quinuas con apariencia muy similar a las quinuas silvestres o ajaras con semillas duras de color gris y muy tolerantes a las extremas condiciones ambientales.
- **Quinuas de Salares:** Son las que crecen en las zonas de los salares al sur del altiplano boliviano. Esta es la zona más seca, con 200 a 300 mm de precipitación. Se acostumbra a sembrar la quinua como cultivos únicos a distancias de 1 m. x 1 m. y en hoyos para aprovechar mejor la escasa humedad. Son quinuas con el mayor tamaño de grano (mayor a 2.2 mm de diámetro), se las conoce como “Quinua Real” y sus granos se caracterizan por presentar un pericarpio grueso y con alto contenido de saponina.

- Quinuas de los Yungas o Ceja de Selva: Es un grupo reducido de quinuas que se han adaptado a las condiciones de los Yungas o ceja de selva de Bolivia, principalmente en los valles de Cochabamba, a alturas entre los 1500 y 2200 msnm. Se caracterizan por ser de desarrollo algo ramificado, alcanzan alturas de hasta 2.20 m; son plantas verdes, y cuando están en floración toda la planta íntegra, toma la coloración anaranjada muy llamativa.

Tabla 2: Requerimientos de humedad y temperaturas, de los tipos de quinuas según las zonas agroecológicas.

Grupo agroecológico	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)
De valles	700-1500	3
De altiplano	400-800	0
De los salares	250-400	-1
De nivel del mar	800-1500	5
De las Yungas	000-2000	11

Nota: Adaptado de “Eco desarrollo en los Andes” por Tapia, 1996. Fundación Friedrich Ebert.

2.7. GENÉTICA

Según Ward (2000) la quinua es un alotetraploide, con genomas de dos especies diferentes (Pierce, 2009). Constituido por 36 cromosomas somáticos, de cuatro conjuntos de cromosomas, con un número básico de nueve cromosomas ($4n=4 \times 9=36$) (León, 2003).

Algunas de las características más importantes en el genoma de *Ch. quinoa*, se encuentran también en sus parientes silvestres los cuales han aportado a su genoma estas valiosas características, por ejemplo, la tolerancia a la salinidad, característico de *Ch. carnosolum*, resistencia a sequía de *Ch. petiolare* y resistencia al frío de *Ch. pallidicaule*, siendo estas tres especies diploides ($2n=2 \times 18$) (Mujica y Jacobsen, 2006).

Tabla 3: Herencia genética de algunos caracteres de la quinua

Carácter	N° de genes	Cifra de genes	Número de alelos	Tipo de alelos	Dominancia	Heredabilidad	Fenotipo planta	Genotipo
Color planta + color panoja	1	R	3	R	Dominante r^P y r^r dominante sobre r	simple	rojo	R
				r^P			púrpura	$r^P r^P$
				r			verde	rr
Tipo panoja	1	G	2	G	Dominante sobre g	simple	glomerulado	G
				g			amarantiforme	Gg
Contenido saponina	1	D	2	D	Dominante sobre d	simple	dulce	D
				d			amargo	Dd
Esterilidad masculina	1	M	2	M	Dominante sobre m	simple	fértil	M
				m			estéril	Mm
Carácter chullpi	1	S	2	S	Dominante sobre s	simple	normal	S
				s			chullpi	Ss

Continuación...

Carácter	N ^a de genes	Cifra de genes	Número de alelos	Tipo de alelos	Dominancia	Heredabilidad	Fenotipo planta	Genotipo	
Color grano	2	A	5	A	Dominancia sobre a^c	Interactivo + Complementario	Negro	A-C	
				a^c	Dominancia sobre a^{cc}		Café	$a^c a^c a^c a^c$ $a^c - c^c$	
				a^{cc}					
				a^r	Dominancia sobre a^r		Café claro	$a^{cc} a^{cc} cc$	
				a	Recesivo		A C		
		C		C	C	Dominante sobre C^c		Rojo	$A^r a^r$
					C^c	Dominante sobre C^{cc}			
					C^{cc}				
c	Recesivo		Blanco		$aacc$				

Nota: Adaptado de "Manual de Producción de Quinoa de Calidad en el Ecuador" por Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) & Cooperativa Técnica Alemana (GTZ), 2000.

2.8. CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD

2.8.1. Conservación *ex situ*

Acción de conservar la variación genética de las especies de flora fuera de sus comunidades naturales. Se divide en varias modalidades, entre ellas la conservación *in vitro*, colecciones de campo, en cámaras frías, en nitrógeno líquido, etc. Se considera que el material genético mantenido en estas condiciones, lejos de su medio natural, esta menos sujeto a la acción de las fuerzas de selección, y por tanto lleva desventaja desde el punto de vista de la adaptación al ser reintroducido en su hábitad natural. Esta teoría muy acertada en la literatura reciente aún carece de confirmación experimental convincente (Henríquez, 2002).

- Banco: Los bancos de germoplasma son lugares en donde el objetivo principal es la conservación a largo plazo y la accesibilidad del germoplasma vegetal para los fitomejoradores, investigadores y otros usuarios. Los recursos fitogenéticos constituyen el material de partida para el mejoramiento de cultivos, su conservación y su uso es esencial para la seguridad alimentaria y nutricional mundial (FAO, 2014).

Las instalaciones en donde se va a conservar el material deben poseer condiciones controladas de humedad y temperatura (temperaturas preferiblemente de 1 a 5°C y humedades relativas menores que 35 por ciento) para garantizar la viabilidad de las accesiones por un período prolongado de tiempo (Juárez y Jiménez, 2013).

En la Universidad Nacional Agraria La Molina, el banco de germoplasma está ubicado en dos localidades, uno en San Lorenzo en el Departamento de Junín, a 3200 msnm (en condiciones naturales propias del lugar), y en el Campus de La Molina donde se cuenta con dos cámaras frías con una capacidad de 19 m³ con deshumecedores y termómetros. En este caso las accesiones se conservan a temperaturas de 4 a 5 °C y 60 a 70 por ciento de humedad relativa (Bazile *et al.* 2014).

En el Perú, existen ocho bancos de germoplasma los cuales conservan 6302 accesiones de quinua en las Estaciones Experimentales del INIA, en Illpa (Puno), Andenes (Cusco), Canaán (Ayacucho), Santa Ana (Huancayo) y Baños del Inca (Cajamarca), y en la Universidad Agraria La Molina de Lima, la Universidad Nacional de San Antonio Abad

del Cusco y la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. La colección de quinua de la UNALM es la colección más grande del Perú, con 2089 accesiones que se conservan, el 69.78 por ciento proceden del departamento de Puno, el 13.19 por ciento del departamento de Cusco, el 7.19 por ciento del departamento de Apurímac y el 6.28 por ciento del departamento de Ancash. Los cuatro departamentos contribuyen con más del 96 por ciento del número de accesiones que se conserva en la Universidad (Bazile *et al.* 2014).

- **Accesión:** Muestra de germoplasma representativa de uno o varios individuos de la población. En carácter más general, cualquier registro individual de una colección de germoplasma (ejemplo: una planta, semilla, etc.). Población o línea en un programa de mejoramiento o colección de germoplasma (Henríquez, 2002).

2.8.2. Conservación *in situ*

Acto de conservar plantas en sus comunidades naturales. Las unidades operacionales son varias, destacándose los parques nacionales, reservas biológicas, reservas genéticas, estaciones ecológicas, santuarios de vida silvestre, etc. El material que habita en estas condiciones está bajo la influencia de las fuerzas generadoras de variación genética y de selección y por ello continúa evolucionando y adaptándose al medio ambiente, teniendo ventaja selectiva en relación al material que crece o es conservado en condiciones *ex situ* (Henríquez, 2002).

2.9. CARACTERIZACIÓN

Descripción o registro de las características morfológicas, citogenéticas, bioquímicas o moleculares de un individuo, las que son poco influenciadas por el medio ambiente en su expresión. Se aplica a los descriptores de las accesiones componentes de una colección de germoplasma o de aquellos de un banco de genes (Henríquez, 2002).

La unidad básica de caracterización se refiere a la unidad básica de lo que se va a caracterizar. La unidad básica de caracterización (UBC) puede estar constituida por un único individuo si éste presenta características peculiares, por ejemplo, si se obtiene de un programa de mejoramiento o de una única colecta o accesión de germoplasma. También puede tratarse

de un conjunto de individuos que presentan ciertas características en común, por ejemplo, individuos de una población silvestre (para caracterizar dicha población y compararla con otras), una variedad cultivada (compuestos, sintéticos y puede ser clonal o no) o incluso una especie taxonómica completa (si ésta es la que se va a caracterizar y comparar con otras) (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014).

Según Núñez-Colín y Escobedo-López (2014) la caracterización es la determinación de los atributos peculiares de un recurso, de modo que se pueda distinguirlo claramente de cualquier otro. La caracterización permite:

- En un programa de mejoramiento genético, conocer los atributos particulares de cada individuo (padres y descendencia) para identificar qué características se deben mejorar, qué individuos presentan dichas características y cuáles presentan otras importantes, así como para conocer las diferencias entre ellos y establecer cuáles serían las cruzas más promisorias o si es mejor realizar hibridaciones o selecciones.
- En los bancos de germoplasma, la caracterización es el primer paso para conocer el germoplasma, así como para identificar duplicados, medir la variabilidad o diversidad de lo que se está guardando y si se necesitan más accesiones o no. Con una buena caracterización se pueden iniciar colecciones nucleares o ampliar una colección de acuerdo con las necesidades fundamentales de cada banco. Incluso, es posible seleccionar los individuos representativos para hacer una colección de trabajo para un programa de mejoramiento genético y ahorrar recursos con esta planeación.

2.10. DESCRIPTOR

Característica medible o subjetiva de una acción, como la altura de planta, color de la flor, longitud del peciolo, forma de la hoja, etc. Los descriptores se agrupan en forma de una lista de descriptores, una para cada cultivo en particular, y son otorgados a través del estado del descriptor, o sea las categorías reconocidas como válidas para ese descriptor, (ejemplo: color de la flor: 1. rosado, 2. amarillo, 3. azul, 4. morado; color del peciolo: 1. verde, 2. verde rojizo, 3. rojo-verdoso, 4. rojo). Los descriptores son aplicados a la caracterización y evaluación de las colecciones de germoplasma para que sus características sean conocidas (Henríquez, 2002).

Bioversity International, *et al.* (2013) define algunos conceptos de la siguiente manera:

2.10.1. Descriptores de caracterización

Permiten una diferenciación fácil y rápida entre fenotipos. Generalmente son caracteres altamente heredables, pueden ser fácilmente detectados a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes. Además, pueden incluir un número limitado de caracteres adicionales considerados deseables por consenso de los usuarios de un cultivo en particular.

Lista mínima de descriptores que tiene el descriptor de caracterización los cuales son importantes para diferenciar, discriminar y especialmente para incrementar la utilización de germoplasma, y las cuales se utilizaron en la realización de esta investigación:

Tipo de crecimiento

- 1 Herbáceo
- 2 Arbustivo

Hábito de crecimiento

- 1 Simple
- 2 Ramificado hasta el tercio inferior
- 3 Ramificado hasta el segundo tercio
- 4 Ramificado con panoja principal no definida

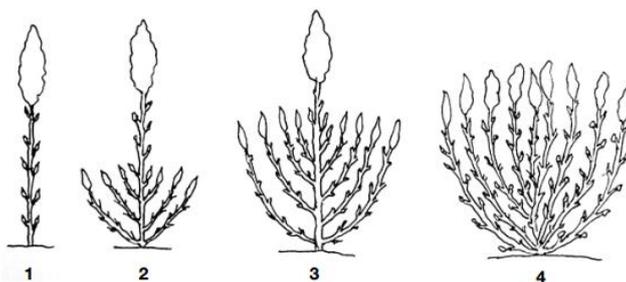


Figura 1: Hábito de crecimiento de la quinua.

Nota: Adaptado de “*Descriptores para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*” por Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF & FIDA, 2013.

Altura de la planta [cm]

Medida en la madurez fisiológica, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la panoja.

Tallo

- Color del tallo principal
Registro del color predominante en el tallo principal en la madurez fisiológica.
 - 1 Blanco
 - 2 Púrpura
 - 3 Rojo
 - 4 Rosado
 - 5 Amarillo
 - 6 Anaranjado
 - 7 Marrón
 - 8 Gris
 - 9 Negro
 - 10 Verde
 - 99 Otro

- Presencia de axilas pigmentadas
Observado en la intersección entre el tallo principal y las ramas primarias, en la floración de la planta.
 - 0 Ausentes
 - 1 Presentes
 - 2 No determinadas (por ej. aquellas plantas de tallo y ramas de color rojo, donde no se puede apreciar la presencia de axilas pigmentadas.)

- Presencia de estrías
Observado en el tallo principal de la planta en floración.
 - 0 Ausentes
 - 1 Presentes

- Color de las estrías
Observado en la parte media del tercio medio de la planta en plena floración.
 - 1 Verdes
 - 2 Amarillas
 - 3 Rojas
 - 4 Púrpura
 - 99 Otro

- Ramificación
Presencia de ramificación
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
 Hoja

Descripción de hojas del tercio medio del tallo principal de la planta, seleccionadas en plena floración

- Forma de la hoja
 - 1 Romboidal
 - 2 Triangular

- Margen (borde) de la hoja
 - 1 Entero
 - 2 Dentado
 - 3 Aserrado

- Número de dientes en la hoja
Número total de dientes por hoja

- Color del pecíolo
 - 1 Verde
 - 2 Verde – Rojo (estriado/variegado)
 - 3 Rojo

- Color de la lámina foliar
 - 1 Verde
 - 2 Verde – Rojo (estriado/variegado)
 - 3 Rojo

Inflorescencia

- Color de la panoja en la floración
 - 1 Verde
 - 2 Púrpura
 - 3 Rojo
 - 4 Mixtura (púrpura y rojo)
- Color de la panoja en la madurez fisiológica
 - 1 Blanco
 - 2 Púrpura
 - 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
- Forma de la panoja
 - 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)

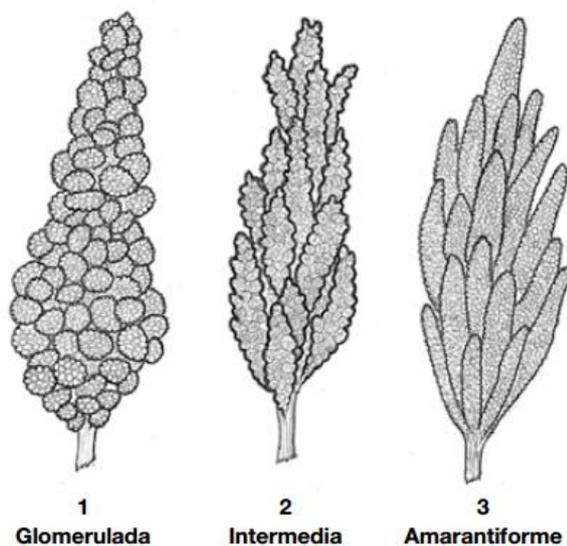


Figura 2: Forma de la panoja de la quinua

Nota: Adaptado de “*Descriptorios para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*” por Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF & FIDA, 2013.

- Densidad de la panoja
 - 1 Laxa
 - 2 Intermedia
 - 3 Compacta

Características del grano

- Peso de 1000 granos [g]
Registro del peso sin considerar el perigonio.
- Rendimiento de semilla por planta [g]
- Color de pericarpio
 - 1 Crema
 - 2 Amarillo
 - 3 Amarillo dorado

- 4 Rosado
- 5 Rojo
- 6 Café claro
- 7 Café
- 8 Café oscuro
- 9 Café verdoso
- 10 Púrpura
- 99 Otro

- Color de episperma

- 1 Transparente
- 2 Blanco
- 3 Crema
- 4 Café claro
- 5 Café
- 6 Café oscuro
- 7 Café rojizo
- 8 Negro
- 99 Otro

2.10.2. Descriptores de evaluación

La expresión de muchos de los descriptores de esta categoría depende del ambiente y, en consecuencia, se necesitan métodos experimentales especiales para evaluarlos. Este tipo de descriptores incluye caracteres tales como rendimiento, productividad agronómica, susceptibilidad al estrés y caracteres bioquímicos y citológicos. En este descriptor se encuentran las características más valiosas para la mejora del cultivo.

Lista de algunos descriptores que se utilizaron en la realización de esta investigación:

Eflusión de saponina

Espuma producida en tubos de ensayo luego de agitar 0.5 g de muestra en 5 ml de agua destilada.

- 0 Nada
- 3 Poca
- 5 Regular
- 7 Mucha

Contenido de proteínas en la semilla [% PS]

Porcentaje por 100 g de materia del peso de semillas secas.

Enfermedades

- Hongos
Peronospora variabilis Mildiu

Las normas aceptadas internacionalmente para la recolección de datos, codificación y registro de los estados de los descriptores son las siguientes:

- Se utiliza el sistema internacional de unidades (*Systeme International d'Unités*, SI); las unidades que han de aplicarse aparecen entre corchetes al lado del nombre de los descriptores.
- Se recomienda de manera especial el uso de escalas normalizadas de colores para todos los caracteres de color, como la *Royal Horticultural Society Colour*, el *Methuen Handbook of Colour* o las *Munsell Color Charts for Plant Tissues*, (la escala que se utilice deberá especializarse en la sección donde es usado). Se utilizan las abreviaturas de tres letras del Código para los nombres de países, de la *Organización Internacional de Normalización* (ISO).
- Muchos caracteres cuantitativos que son continuamente variables se registran en una escala del 1 al 9, donde:
 - 1 Muy bajo
 - 2 Muy bajo a bajo
 - 3 Bajo

- 4 Bajo a intermedio
- 5 Intermedio
- 6 Intermedio a alto
- 7 Alto
- 8 Alto a muy alto
- 9 Muy alto

Se registrará "0" cuando: a) el carácter no esté expresado; b) no sea aplicable un descriptor. En el ejemplo siguiente, se registrará "0" si una accesión no tiene el lóbulo central de la hoja:

Forma del lóbulo central de la hoja

- 1 Oval
- 2 Elíptico
- 3 Redondo

- La presencia o ausencia de caracteres se registra de la siguiente forma:
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
- Se reservan espacios en blanco para información aún no disponible.
- En las accesiones que no son generalmente uniformes para un descriptor (por ej. colección mezclas, segregación genética) se registrará la media y la desviación estándar cuando la variación es continua, o varios códigos en orden de frecuencia si el descriptor es de variación discontinua.
- Las fechas se deben expresar numéricamente, usando el formato AAAAMMDD

2.10.3. Caracteres cualitativos

Los caracteres cualitativos por naturaleza son más estables, como el color de grano que se considera de importancia en la calidad del grano.

- **Ramificación**

La ramificación y el hábito de crecimiento son influenciados principalmente por la densidad de siembra, se pueden identificar cuatro diferentes hábitos de crecimiento característicos. En la quinua la arquitectura de las plantas es muy variable, no solo entre variedades sino también a nivel intra-poblacional lo que dificulta la adaptación y/o diseño de prototipos para una mecanización de la cosecha y otras labores del cultivo que requiere mucha mano de obra. Por ello, es importante trabajar y seleccionar variedades tomando en cuenta el hábito de crecimiento (Figura 1), como es el caso del ‘hábito 1’ que corresponde a plantas que no desarrollan ramificación y el ‘hábito 2’ con ramas hasta el tercio inferior y que podrían muy bien adaptarse a labores mecanizadas. El ‘hábito 3’ por lo general corresponde a plantas de los valles interandinos, por su arquitectura de planta pueden ser una alternativa para uso como forraje y sus genes pueden contribuir a las zonas expansión del cultivo en los valles y en lugares con mayor precipitación (Rojas y Pinto 2013).

- **Tallo-hojas**

Entre las etapas de ‘despunte de panoja’ y el ‘inicio de la floración’ se expresan cuatro colores que son típicos en el cultivo de quinua: verde, púrpura, mixtura y rojo. Sin embargo, a medida que se forma el grano y se alcanza la madurez fisiológica, las plantas de quinua tiene diversos colores y combinaciones de colores: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café, gris, negro, mixturas y verde silvestre.

- **Panoja**

Se han observado tres formas de panoja (Figura 2): ‘amarantiforme’, cuando los glomérulos están insertos directamente en el eje secundario y presentan una forma alargada; ‘glomerulada’ cuando los glomérulos están insertos en los llamados ejes glomerulados y presentan una forma globosa e; intermedia, cuando las panojas que expresan ambas características ‘amarantiforme y glomerulada’ (Rojas y Pinto 2013). Asimismo, la panoja puede ser laxa (suelta) o compacta, característica que está determinada por la longitud de los ejes secundarios y pedicelos, siendo compactas cuando ambos son cortos.

- **Color del grano: pericarpo y episperma**

Cuando los granos de quinua alcanzan la madurez fisiológica expresan una amplia diversidad de colores, entre ellos: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café claro, café oscuro, café verdoso y negro. En la colección nacional de quinua de Bolivia se han caracterizado 66 colores de grano (Cayoja, 1996).

2.10.4. Caracteres cuantitativos

Los caracteres cuantitativos son el rendimiento y todos los caracteres considerados componentes directos e indirectos del rendimiento, entre ellos la altura de la planta, peso de 1000 semillas, contenido de proteínas, etc. son de herencia cuantitativa, es decir, estos caracteres están controlados por varios pares de genes de efecto aditivo. La estabilidad de estos caracteres se encuentra fuertemente afectada por el efecto ambiental. Sin embargo, muy poco se han realizado estudios sobre la estabilidad de los caracteres.

Para que una característica pueda ser mejorada genéticamente debe ser heredable. La heredabilidad indica que porción de las diferencias entre individuos de una población son debidas a la genética y de este modo transmisible a los descendientes, la heredabilidad (h^2) o índice de herencia es el grado de transmisibilidad de una característica en la parte que no es influenciada por el ambiente e indica que parte de las diferencias observadas entre individuos es posible de esperar que se transmita a la descendencia (Magallanes, 2015)

Tabla 4: Grado de heredabilidad de caracteres estudiados

Valores	Heredabilidad
0-20%	Baja
20-50%	Media
> 50%	Alta

Nota: Adaptado de “Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*” por Pistorale, S., Abbott, L., & Andrés, A, 2008, *Ciencia e investigación agraria*, 35(3), p. 259-264.

- **Altura**

Este carácter tiene un porcentaje de heredabilidad de 22.40 por ciento (Espindola, 1980). La altura de planta media del germoplasma de quinua de Bolivia caracterizado por Rojas (2003) es de 110.84 cm. con una mínima y máxima de 54 y 174.2 cm, respectivamente. Según Mendoza (2013), quien estudio el comportamiento de 17 genotipos de quinua en condiciones de costa central, La Molina (Campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina), primavera-verano; la altura promedio que registro fue de 1.44 m, con un rango de 1.18 a 1.66 m.

- **Peso 1000 granos**

El porcentaje de heredabilidad de este carácter es de 59.11 por ciento (Espindola, 1980). El peso de 1000 granos (g) media del germoplasma de quinua de Bolivia caracterizado por Rojas (2003) es de 2.7 con una mínima y máxima de 1.2 y 6 g, respectivamente.

- **Rendimiento (gramos/panoja)**

El rendimiento es un carácter cuantitativo y como tal se encuentra fuertemente influenciado por el efecto del medio ambiente (Bonifacio *et al.*, 2001). Espíndola (1980), ha encontrado que el rendimiento está altamente asociado con el diámetro de grano, longitud de panoja, altura de planta y diámetro de tallo, número de glomérulos y peso de 1000 granos. Espíndola y Gandarillas (1985), han estudiado los componentes del rendimiento en 36 accesiones del Banco de Germoplasma, encontrando que la altura de planta, longitud de panoja y diámetro de tallo están asociados positivamente y con alta significación, además encontraron una fuerte asociación entre la altura de planta con el diámetro de tallo y longitud de panoja.

Mujica (1988) estudio también 32 variables en la quinua encontrando que siete caracteres presentan mayor valor de heredabilidad y positivamente correlacionados con el rendimiento. Estas variables son días a floración, altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de panoja, diámetro del glomérulo central, peso seco del glomérulo central y número de semillas del glomérulo central. El porcentaje de heredabilidad del rendimiento es de 23.37 por ciento (Espindola, 1980).

Se registraron rendimientos por planta de hasta 250 g, esta variable depende también del genotipo y también de las variables consideradas componentes de rendimiento, como el diámetro del tallo, altura de planta, longitud y diámetro de la panoja, diámetro del grano, entre otras (Rojas y Pinto, 2013).

- **Mildiu**

El mildiu de la quinua es causado por *Peronospora variabilis* (= *P. farinosa* f.sp. *chenopodii* Fr.), un Oomicete, que pertenece a la familia Peronosporaceae, orden Peronosporales, cuyos miembros son parásitos obligados (biotróficos). Las temperaturas frescas y humedad alta (mayor a 80 por ciento) son factores determinantes para el crecimiento del patógeno y la diseminación de la enfermedad en el campo y dentro de una región (Danielsen y Ames, 2000).

El mildiu afecta principalmente al follaje de la planta. Inicialmente se hace evidente como ligeros puntitos cloróticos en la cara superior de las hojas, al crecer estos puntos forman áreas cloróticas grandes que luego se necrosarán. A su vez en la cara inferior de la hoja (envés) debajo de las zonas cloróticas se observa un afelpamiento de color gris violeta constituido por las estructuras esporulativas del patógeno (Danielsen y Ames, 2000).

Los distintos cultivares de quinua reaccionan de manera diferente a la enfermedad; la expresión de los síntomas, es influenciada por el genotipo de la planta, por el genotipo del patógeno y por las condiciones del medio ambiente. Así, en los cultivares resistentes puede haber una reacción de hipersensibilidad en cuyo caso sólo se observan pequeñas manchas similares a las causadas por picadura de insectos. En los cultivares más susceptibles en cambio, la mancha se agranda sucesivamente tomando una coloración amarillenta, rojiza o marrón, dependiendo del pigmento que predomina en la planta. Un efecto conocido del mildiu es la defoliación que causa en la planta; entre más temprana es la infección, mayor es el grado de defoliación (Danielsen y Ames, 2000).

La incidencia de una enfermedad indica el porcentaje de plantas afectadas, mientras que la severidad indica el grado de la enfermedad, generalmente expresado como el porcentaje del área foliar afectada de todo o de una parte del follaje. La severidad explica mejor el desarrollo de la enfermedad en términos de intensidad (Danielsen y Ames, 2000).

Para disminuir el error y uniformizar los datos, Danielsen y Ames (2000) idearon un método de evaluación el cual está basado en el porcentaje de área afectada de tres hojas por planta (una de cada tercio, y escogidas al azar). El valor que se da por planta es el promedio de las tres hojas evaluadas.

El rango de infección por mildiu en un experimento en condiciones de costa central realizado por Mendoza (2013), en 17 genotipos de quinua que formaron grano es de 26.67 a 50 por ciento; con un rango de humedad relativa de 70 a 92 por ciento y temperaturas de 16.6 a 24.3 °C.

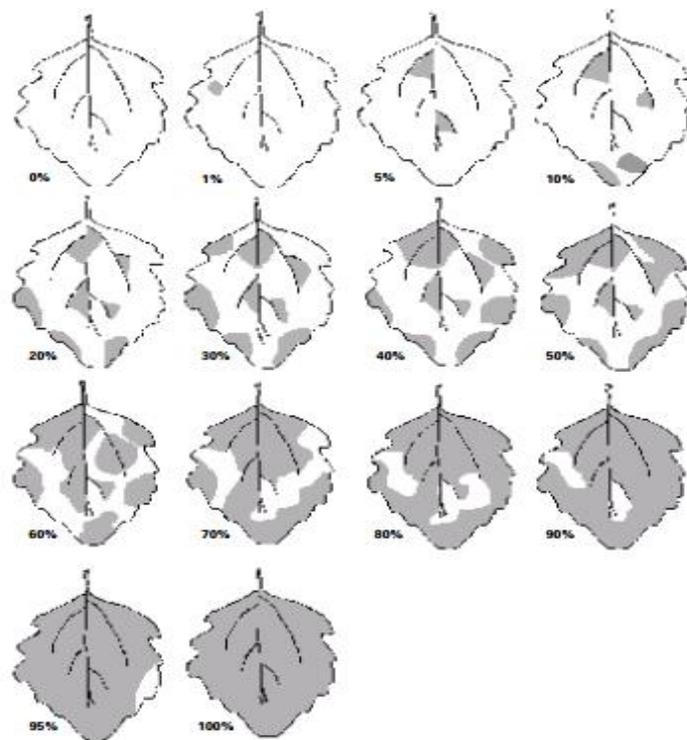


Figura 3: Porcentaje de área afectada por mildiu en quinua

Nota: Adaptado de “El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno” por Danielsen, S., & Ames, T., 2000. Copyright © 2000 Centro Internacional de la Papa (CIP).

- **Saponina**

Las saponinas son metabolitos secundarios que constituyen una gran familia de compuestos estructuralmente constituidos por un anillo terpenoide o esteroidal, conocidos como aglicona o sapogenina, sustituidos por oligosacáridos a través de enlaces glucosídicos que les confieren un carácter anfifílico (Ahumada *et al.* 2016).

Las saponinas son el principal factor antinutricional de las semillas de quinua, y son las responsables del sabor amargo; se encuentran en la cáscara, y en menor medida en hojas (9 g/1000 g), flores y frutos. Su contenido permite distinguir las variedades de quinua como dulces (≤ 0.11 por ciento) o amargas (> 0.11 por ciento) (Gómez *et al.* 2014); también se puede clasificar como quinuas dulces (≤ 0.11 por ciento), semidulces (0.12 a 0.5 por ciento) y amargas (≥ 0.6 por ciento) (Campos, 2018).

Quiroga y Escalera (2011) encontraron en sus investigaciones que los ecotipos de quinua Real de Bolivia corresponden al tipo de quinuas catalogadas como quinuas amargas por el alto contenido de saponinas (0.2 a 0.8 por ciento). Los porcentajes de saponina de 17 genotipos evaluados en costa central se encuentran en el rango de 0.10 a 1.51 por ciento (Mendoza, 2013). Según Repo *et al.* (2003) el contenido de saponinas en quinua varía de 0.1 a 5 por ciento, pero Borges *et al.* (2010) han encontrado quinuas con hasta 11.3 por ciento de saponina.

- **Proteínas**

La cantidad de proteínas en la quinua depende de la variedad, con un rango comprendido entre un 10.4 por ciento y un 17.0 por ciento de su parte comestible (Reyes *et al.* 2006). Rojas y Pinto (2013) encontraron en la caracterización del germoplasma de quinua de Bolivia (555 accesiones) que la media del porcentaje de proteínas es de 14.33, contando con un valor mínimo y máximo de 10.21 y 14.33, respectivamente. Según Mujica *et al.* (2001) un rango de 12- 20 por ciento es un contenido de proteína alto.

La quinua generalmente tiene mayor cantidad de proteínas en comparación con otros alimentos de amplio consumo como el maíz, arroz y trigo (Tabla 5), aunque la quinua se conoce más por la calidad de las proteínas que tiene. La proteína está compuesta por

aminoácidos, ocho de los cuales están considerados esenciales tanto para niños como para adultos (Tabla 6), si se compara con el patrón de puntuación de aminoácidos esenciales recomendado por la FAO para niños con edades comprendidas entre los 3 y los 10 años, la quinua supera las recomendaciones para los ocho aminoácidos esenciales. Al contrario que la quinua, la mayoría de los granos de cereales tienen un bajo contenido del aminoácido esencial lisina, mientras que la mayoría de las legumbres tienen un bajo contenido en los aminoácidos sulfúricos metionina y cisteína (MINAGRI, 2014).

Tabla 5: Comparación del contenido de proteínas entre la quinua y otros cultivos por cada 100 g de peso seco

	Quinua	Frijol	Maíz	Arroz	Trigo
Proteína (g/100 g)	16.5	28.0	10.2	7.6	14.3

Nota: Adaptado de “*Quinua: Un futuro sembrado hace miles de años*” por Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2014. Copyright © 2014 Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI

Tabla 6: Comparación de los perfiles de los aminoácidos esenciales de la quinua y otros cultivos seleccionados con el patrón de puntuación recomendado por la FAO para edades entre los 3-10 años (g/100 g de proteína)

Aminoácidos	Patrón FAO	Quinua	Maíz	Arroz	Trigo
Isoleucina	3.0	4.9	4.0	4.1	4.2
Leucina	6.1	6.6	12.5	8.2	6.8
Lisina	4.8	6.0	2.9	3.8	2.6
Metionina*	2.3	5.3	4.0	3.6	3.7
Fenilalanina**	4.1	6.9	8.6	10.5	8.2
Treonina	2.5	3.7	3.8	3.8	2.8
Triptófano	0.66	0.9	0.7	1.1	1.2
Valina	4.0	4.5	5.0	6.1	4.4

Nota: * = Metionina+ cisteína, ** = Fenilalanina+ tirosina, Adaptado de “*Quinua: Un futuro sembrado hace miles de años*” por Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2014. Copyright © 2014 Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI

2.11. ANÁLISIS MULTIVARIADO

2.11.1. Estadísticos simples

Permiten estimar y describir el comportamiento de las diferentes accesiones en relación con cada carácter. Los más comunes son el promedio, la media aritmética, el rango de variación, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), que se utilizan en el análisis de datos cuantitativos. Estos se deben realizar antes de cualquier análisis multivariado, ya que proporcionan una idea general de la variabilidad del germoplasma y permiten inmediatamente detectar datos no esperados y errores de medición en el ingreso de datos, entre otros (Franco e Hidalgo, 2003).

Franco e Hidalgo (2003) describen los estadísticos más comunes de la siguiente manera:

- 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 de dicho atributo.
- El rango de variación o amplitud total: Se define como la diferencia entre el valor mínimo y el máximo de cualquier variable sobre el conjunto de accesiones estudiadas.
- 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 con una característica considerada.
- 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.

2.11.2. Análisis de componentes principales

Método que consiste en la transformación de un conjunto de variables cuantitativas originales en otro conjunto de variables independientes no correlacionadas, llamadas componentes principales. Los componentes deben ser interpretados independientemente unos de otros, ya que contienen una parte de la varianza que no está expresada en otro componente principal. La contribución de las variables a cada componente principal se expresa en valores y vectores propios. El valor propio representa la varianza asociada con el componente principal y decrece a medida que se generan dichos componentes. En cambio, el vector propio contiene los coeficientes de las combinaciones lineales de las p variables originales (Franco e Hidalgo, 2003).

Según Franco e Hidalgo (2003) para la selección del número de componentes realmente importantes para el análisis existen diversos criterios:(1) Considerar como aceptables los componentes cuyos valores propios expliquen un 70 por ciento o más de la varianza total (2) selección de los componentes cuyo valor propio sea ≥ 1 y (3) un criterio gráfico que consiste en representar el número de componentes y su valor propio en la abscisa y el porcentaje de la varianza correspondiente en la ordenada, lo que permite observar en forma gráfica el decrecimiento de los primeros componentes en relación con los demás.

El ACP permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre las accesiones; en el primer caso, con el fin de saber cuáles variables están o no asociadas, cuáles caracterizan en el mismo sentido o en el sentido contrario; y en el segundo, para saber cómo se distribuyen las accesiones, cuáles se parecen y cuáles no (Franco e Hidalgo, 2003).

2.11.3. Análisis de clúster

Este método es utilizado para clasificar las accesiones de un germoplasma (o variables) en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ellas. El objetivo en este análisis es clasificar un conjunto de n accesiones o p variables en un número pequeño de grupos o conglomerados, donde la formación de estos grupos puede obedecer a leyes naturales o a cualquier conjunto de características comunes a las accesiones. El método de conglomerados o análisis de clúster se puede aplicar sobre una matriz básica de datos $n \times x$

p, donde n es el número de accesiones que se quieren agrupar y p son las variables (Franco e Hidalgo, 2003).

Un dendograma es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de clústers. Los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre los objetos (Villardón, 2007).

2.11.4 Distancia Euclidiana

La distancia euclidiana es una medida de distancia para el agrupamiento (Prieto, citado por Sánchez, 2015). Herrera (2000) menciona que uno de los conceptos más intuitivos de relación entre dos elementos es su distancia, que da una medida de su cercanía o alejamiento. De ahí que la distancia euclidiana sea, en esencia, una suma de las diferencias entre los valores de los atributos de cada entidad comparada, y no es más que una extensión simple en un espacio de varias dimensiones del conocido Teorema de Pitágoras (Pielou; citado por Herrera, 2000).

Definida en su expresión más empleada por:

$$D_{jk} = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_{jk})^2)^{1/2}$$

La distancia euclidiana se calculó utilizando la fórmula de Pitágoras, para puntos situados en un espacio p- dimensional llamado un espacio métrico o euclidiano y es presentada de manera general como:

Donde:

D_{jk}= Distancia Euclidiana entre los individuos “j” y “k”.

X_{ij}= Valor del i-ésimo carácter en el individuo “j”.

X_{jk}= Valor del j-ésimo carácter en el individuo “k”.

N = Número de caracteres.

Al utilizar la distancia como medida de proximidad, se debe recordar que las distancias más pequeñas indican similitud y las de mayor valor, menor similitud (Hair, citado por Sánchez, 2015).

El cálculo de la distancia Euclidiana tuvo mayor enfoque en la selección simultánea sobre los seis caracteres cuantitativos evaluados. Este cálculo se realizó tomando los datos de cada accesión del cual se identificaron los valores mínimos y máximos de cada accesión. Luego estos valores fueron estandarizados usando la siguiente fórmula:

$$\text{Valor estandarizado} = \frac{v. obs. - v. min}{v. max - v. min}$$

v. obs: valor observado en el experimento

v. max: valor máximo observado en el experimento

v. min: valor mínimo observado en el experimento

Los datos de cada carácter se estandarizaron para que variaran entre cero y uno, según Kantardzic, citado por Gómez *et al.* (2008). Luego se utilizó la fórmula de Pitágoras para calcular la distancia euclidiana de cada accesión considerando todos los caracteres agronómicos y de calidad. La siguiente es la fórmula de Pitágoras

$$DE = \sqrt{(Rndt - crit. de expert. del mejor rndt)^2 + (Alt. - crit. de experto de la mejor altura)^2 + \dots}$$

DE: Distancia euclidiana

Rndt: Rendimiento

Alt: Altura

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR

Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, distrito La Molina, en el departamento de Lima.

LATITUD: 12°05'06" Sur

LONGITUD: 76°57'00" Oeste

ALTITUD: 251 m.s.n.m.

3.2. CLIMA

El clima característico de la zona es templado cálido, propio de la costa central. Los datos meteorológicos del lugar de experimentación fueron tomados por la estación meteorológica Alexander Von Humboldt (Latitud: 12° 4' 55.95", Longitud: 76° 56' 21.52", Altitud: 247 msnm) la cual se encuentra dentro de la UNALM; estos datos fueron recogidos desde agosto a diciembre del 2017.

Tabla 7: Datos meteorológicos de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad promedio (%)
Agosto	16.17	27.90	13.64	80.65
Setiembre	16.09	27.90	13.56	81.48
Octubre	17.34	27.90	13.77	77.73
Noviembre	18.12	27.90	14.50	75.83
Diciembre	20.26	27.90	16.64	75.75

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

- **Material vegetal**

Para la realización de esta investigación, se trabajó con 402 accesiones de quinua del Banco de Germoplasma del Programa de Cereales de la UNALM.

- **Materiales de campo**

- Libreta de campo
- Bolsas de papel
- Marcadores
- Etiquetas
- Bandejas Plásticas
- Tijera
- Costales
- Trilladora
- Cámara fotográfica

- **Materiales de gabinete**

- Regla (2 m)
- Balanzas
- Infratec 1241 Grain Analyzer
- Agitador mecánico (saponina)
- Tubos de ensayo
- Rejillas
- Tabla de colores “*Royal Horticultural Society*” del Reino Unido.

3.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El experimento se manejó siguiendo el protocolo de cultivo comercial de la quinua descrito por Gómez y Aguilar (2016).

3.4.1. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el *software* estadístico R (R Core Team, 2018). Para el análisis multivariado se usó el análisis de componentes principales (PCA) y análisis de clasificación jerárquica por clúster (HCPC) (Husson *et al.*, 2018). En resumen, se describieron 21 variables: 15 cualitativas y 6 cuantitativas. Las variables: forma de hoja de la panoja (FHP) y borde de la hoja (BH) fueron removidas del análisis porque no muestran variación en sus niveles, entrando en el análisis 19 variables.

Para el cálculo de las distancias euclidianas todos los datos fueron calculados en Microsoft Excel 2016.

Tabla 8: Lista de variables evaluadas y sus abreviaciones.

Variable	Descripción
PR	Presencia de ramificación
CT	Color de tallo
CE	Color de estrías
Cax	Color de axilas
FHT	Forma de hoja de tallo
FHP	Forma de hoja de panoja
BH	Borde de la hoja
ND	Número de dientes
CP	Color de peciolo
CLF	Color de lámina foliar
CPF	Color de panoja en floración
FP	Forma de la panoja
DP	Densidad de la panoja
CLP	Color del pericarpo
CDE	Color del episperma
ALT	Altura de la planta
P_PNJ	Peso por panoja
P_1000G	Peso de 1000 granos
MILDIU	Respuesta la enfermedad de mildiu
PRT	Porcentaje de proteínas
SPN	Porcentaje de saponinas

- **Unidad experimental**

Número de parcelas: 400

Área de parcela: 3.2 m².

Área total: 1280 m².

Longitud de surco: 4 m.

Número de surcos/parcela: 2

Distanciamiento entre surcos: 0.8 metros.

3.4.2. Procedimiento experimental

- **Preparación de terreno**

La preparación de terreno se llevó a cabo de acuerdo a la preparación convencional en los terrenos de la costa, llevándola a acabo el 4 agosto del 2017. Primero se aplicó un riego de machaco (1 agosto del 2017), después se roturó el suelo con el arado de discos, luego se pasó la grada pesada, seguidamente se niveló el terreno, se prepararon los surcos y se instaló el sistema de riego por goteo y finalmente se distribuyó los paquetes preparados por cada accesión en parcelas continuas denominadas como “parcelas de observación” sin repeticiones.

- **Fertilización**

Se realizaron dos fertilizaciones; la primera (7 agosto del 2017), a la siembra con una dosis de fertilización de 40-60-0 y la segunda al aporque (20 septiembre del 2017) con una dosis de 40-0-0. Las fuentes usadas fueron urea y fosfato diamónico.

- **Siembra**

Se sembraron 402 accesiones de forma manual y a chorro continuo sobre el lomo del surco. Se llevó a cabo el 7 de agosto del 2017. El distanciamiento entre surcos fue de 0.8 m.

- **Desahíje**

Esta labor se desarrolló durante el desarrollo vegetativo de las plantas, botón floral e inicio de la formación de la inflorescencia, entre las fechas del 21 septiembre al 13 octubre del 2017; dejándose aproximadamente cinco centímetros entre planta y planta.

- **Purificación**

Se eliminaron las plantas débiles y plantas diferentes a la accesión, durante todo el ciclo de las plantas, ya que algunas diferencias eran notorias durante el desarrollo vegetativo, floración o madurez.

- **Control de malezas**

Se realizó de forma manual durante el desahíje.

- **Riego**

El primer riego se realizó el 7 agosto 2017, los siguientes riegos se realizaron de acuerdo a la observación de necesidad de las plantas: segundo riego (21 agosto del 2017), tercer riego (28 agosto del 2017), cuarto riego (6 septiembre del 2017), quinto riego (27 septiembre del 2017), sexto riego (18 octubre del 2017), séptimo riego (23 octubre del 2017) y octavo riego (16 noviembre del 2017).

- **Aporque**

El aporque se realizó el 20 de setiembre del 2017, para darle mayor estabilidad a las plantas y fijarlas al suelo. Conjuntamente durante esta labor se realizó la segunda fertilización.

- **Aplicaciones fitosanitarias**

Se realizaron tres aplicaciones fitosanitarias para el control de plagas y enfermedades como: *Spodoptera eridania* “gusano ejército” y otros gusanos comedores de hoja y grano, para la

cual se aplicó Ciperhex (cipermetrina), Lannate (metomilo) y Absolute (spinetoram); y, no se controló el mildiu debido a que fue una variable de evaluación. Las aplicaciones se realizaron en las siguientes fechas: 13 septiembre, 4 octubre y 12 octubre del 2017

- **Marcado**

Se eligieron y marcaron las plantas representativas con etiquetas en cada accesión, las cuales fueron caracterizadas. Las plantas elegidas eran las más representativas de cada accesión; se seleccionaron 1, 2 o 3 plantas por accesión dependiendo del grado de homogeneidad de la parcela.

- **Caracterización de accesiones**

El descriptor usado para la caracterización fue el de quinua y sus parientes silvestres de la Bioversity Internacional (Bioversity Internacional *et al.*, 2013), la caracterización se llevó a cabo desde el 20 al 24 de noviembre del 2017. Se adicionaron algunos colores considerando el grado de tonalidades observadas. Finalmente, el descriptor usado fue el siguiente:

Morfológicas

Tallo

- Presencia de ramificación: Se observó si había nacimiento de ramas en la parte basal de la planta.
 - 0 Ausente
 - 1 Presente
- Color de tallo: Se registró el color predominante en el tallo principal durante el llenado de grano
 - 1 Amarillo
 - 2
 - 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo
 - 4
 - 4.1 Púrpura claro
 - 4.2 Púrpura oscuro

- 5 Rojo- verde
 - 6 Verde-rojo
 - 7 Púrpura-verde
 - 8 Verde-púrpura
 - 9 Amarillo-verde
 - 10 Verde-amarillo
 - 11 Rosado
 - 12 Verde-rosado
 - 13 Lila-verde
- Color de estrías: Observado en el tallo principal .
- 1 Amarillo
 - 2 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo
 - 4 4.1 Púrpura claro
 - 4.2 Púrpura oscuro
 - 5 Rojo- verde
 - 6 Verde-rojo
 - 7 Púrpura-verde
 - 8 Verde-púrpura
 - 9 Amarillo-verde
 - 10 Verde-amarillo
 - 11 Rosado
 - 12 Verde-rosado
 - 13 Lila-verde
- Color de axilas: Observado en la intersección entre el tallo principal y las ramas primarias.
- 0 Ausente
 - 1 Amarillo
 - 2 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo
 - 4 4.1 Púrpura claro
 - 4.2 Púrpura oscuro

- 5 Rojo- verde
- 6 Verde-rojo
- 7 Púrpura-verde
- 8 Verde-púrpura
- 9 Amarillo-verde
- 10 Verde-amarillo
- 11 Rosado
- 12 Verde-rosado
- 13 Lila-verde

Hoja

- Forma de la hoja del tallo: Descripción de hojas del tercio medio del tallo principal de la planta.
 - 1 Romboidal
 - 2 Triangular
- Forma de la hoja de panoja: Observación de las hojas situadas en la panoja.
 - 1 Lanceolada
 - 2 Triangular
- Borde de la hoja: Descripción de hojas del tercio medio del tallo principal de la planta
 - 1 Entero
 - 2 Dentado
 - 3 Aserrado
- Numero de dientes: Número total de dientes por hoja.
 - 3 (0-3) Dientes
 - 5 (3-12) Dientes
 - 7 (>12) Dientes
- Color del peciolo
 - 1 Amarillo
 - 2 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo
 - 4 4.1 Púrpura claro

- 4.2 Púrpura oscuro
- 5 Rojo- verde
- 6 Verde-rojo
- 7 Púrpura-verde
- 8 Verde-púrpura
- 9 Amarillo-verde
- 10 Verde-amarillo
- 11 Rosado
- 12 Verde-rosado
- 13 Lila-verde
- Color de la lámina foliar
 - 1 Amarillo
 - 2 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo
 - 4 4.1 Púrpura claro
 - 4.2 Púrpura oscuro
 - 5 Rojo- verde
 - 6 Verde-rojo
 - 7 Púrpura-verde
 - 8 Verde-púrpura
 - 9 Amarillo-verde
 - 10 Verde-amarillo
 - 11 Rosado
 - 12 Verde-rosado
 - 13 Lila-verde

Inflorescencia o panoja

- Color de la panoja en floración
 - 1 Amarillo
 - 2 2.1 Verde claro
 - 2.2 Verde oscuro
 - 3 Rojo

- 4 4.1 Púrpura claro
- 4.2 Púrpura oscuro
- 5 Rojo- verde
- 6 Verde-rojo
- 7 Púrpura-verde
- 8 Verde-púrpura
- 9 Amarillo-verde
- 10 Verde-amarillo
- 11 Rosado
- 12 Verde-rosado
- 13 Lila-verde
- Forma de la panoja
 - 1 Glomerulada
 - 2 Intermedia
 - 3 Amarantiforme
- Densidad de la panoja
 - 1 Laxa
 - 2 Intermedia
 - 3 Compacta

- **Evaluaciones preliminares**

Agronómicas

- Altura de la planta: Expresada en cm, fue medida al ras del suelo hasta el ápice de la panoja de la planta marcada en cada accesión.

Respuesta a la enfermedad de mildiu- Porcentaje de severidad

Se midió la severidad indica el grado de la enfermedad, expresado como el porcentaje del área foliar afectada de todo o de una parte del follaje. Se seleccionó una hoja al azar de cada tercio de la planta y se registra el promedio de las tres hojas como el valor final (Danielsen y Ames, 2000).

Cosecha

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez de cada genotipo, en cada accesión se cosecho de manera separada; primero la planta marcada para caracterizar (manual) y luego las restantes de la parcela en cosecha masal (trilladora); iniciándose la cosecha el 22 noviembre del 2017 y terminándose el 29 diciembre del 2017.

Los granos limpios se colocaron en bolsas de papel Kraff, debidamente etiquetadas.

Cuatro accesiones de los masales (#1, #10, #66, #83) no llegaron a formar granos; debido al ciclo largo de cultivo y probablemente a una menor tolerancia al calor.

- Peso por panoja: Las panojas cosechadas individualmente fueron pesadas en una balanza electrónica. Los pesos se expresaron en gramos/planta.

• Fase de Laboratorio

El análisis de las muestras en laboratorio se llevó a cabo desde el 3 enero al 22 febrero del 2018.

- Color del pericarpo: Se compararon los granos con las tablas de colores de la "*Royal Horticultural Society*" del Reino Unido (RHSCC) para seleccionar el color al cual pertenece cada accesión; finalmente la accesión queda descrita con el código del color (color, número y una letra).

La carta completa de colores contiene 884 colores diferentes. En cada tarjeta de color se presentan cuatro matices, existen cuatro grupos de tarjetas agrupadas en abanico: amarillo al rojo, rojo-púrpura al azul, azul-verdoso al amarillo-verdoso y grisáceos de todos los grupos de color

- Color del episperma: Para describir el color del episperma se tomaron una pequeña muestra de granos de cada accesión y se raspo manualmente la cubierta ligeramente para retirar el pericarpo y poder observar la coloración del episperma. De igual manera se usa las tablas de colores de la "*Royal Horticultural Society*" del Reino Unido (RHSCC)

- Peso de 1000 granos: Se pesaron 1000 granos en la balanza analítica.

- Porcentaje de proteínas: Se utilizó el Infratec 1241 para el análisis, es un analizador de grano entero que utiliza la tecnología de transmitancia de infrarrojo cercano (NIR). Se colocó granos de quinua (la muestra debe ser mayor a dos g.) en la tolva del analizador, y se anotó el porcentaje de proteínas que aparece en la pantalla.

- Porcentaje de saponinas- Método afrosimétrico: Se pesó medio gramo de granos enteros de quinua, los cuales se colocaron en un tubo de ensayo y se le agregó cinco mililitros de agua destilada. A continuación, se agitaron los tubos ya tapados, en el agitador mecánico, durante 30 segundos, finalmente se midieron con una regla las alturas de la espuma producida por la agitación, la altura sirvió para calcular el porcentaje de proteínas de los granos de quinua.

$$\text{Porcentaje de saponinas} = (\text{altura de espuma} - 0.29)/3.74$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El capítulo se compone por la presentación y discusión de resultados obtenidos con respecto a los objetivos e hipótesis planteadas, iniciando con:

OBJETIVO 1.-

- Determinación del grado de variación fenotípica de 402 accesiones de quinua considerando características morfológicas, fisiológicas, respuesta a la enfermedad de mildiu causada por *Peronospora variabilis* y calidad en condiciones de la costa central.

4.1. CARACTERES MORFOLÓGICOS

Con respecto a las 402 accesiones, el 54.89 por ciento de las plantas caracterizadas son ramificadas, mientras que el 45.11 por ciento no tienen ramificaciones (Figura 4).

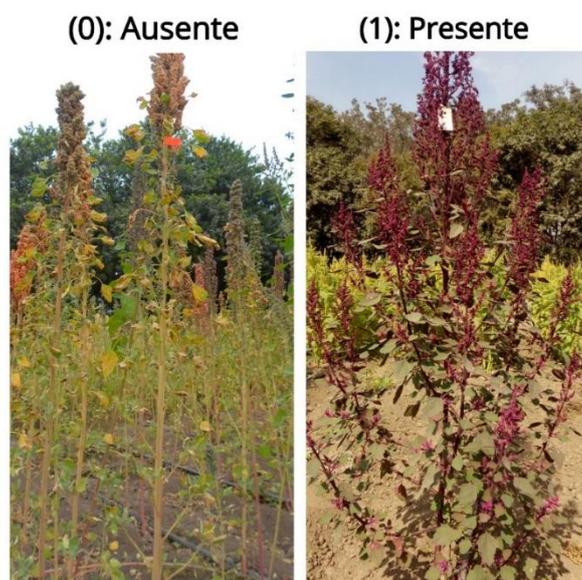


Figura 4: Presencia de ramificación (PR)

En el tallo; el color de tallo predominante es el amarillo ya que el 51.06 por ciento de las plantas caracterizadas presentan dicho color, seguido por los colores verde claro (23.40 por

ciento), púrpura oscuro (14.04 por ciento), púrpura claro (8.30 por ciento), rosado (1.49 por ciento), verde oscuro (0.85 por ciento), verde rosado (0.64 por ciento), verde púrpura (0.21 por ciento) (Figura 5). El color de las estrías predominante es el verde rosado (31.06 por ciento), seguido por el color verde oscuro (28.72 por ciento), verde claro (26.38 por ciento), verde púrpura (9.15 por ciento), púrpura oscuro (1.91 por ciento), púrpura verde (1.49 por ciento), púrpura claro (1.06 por ciento) y rosado (0.21 por ciento) (Figura 6). El color en las axilas es ausente en el 44.04 por ciento, púrpura claro (10.64 por ciento), púrpura oscuro (23.83 por ciento) y rosado (21.49 por ciento) (Figura 7).

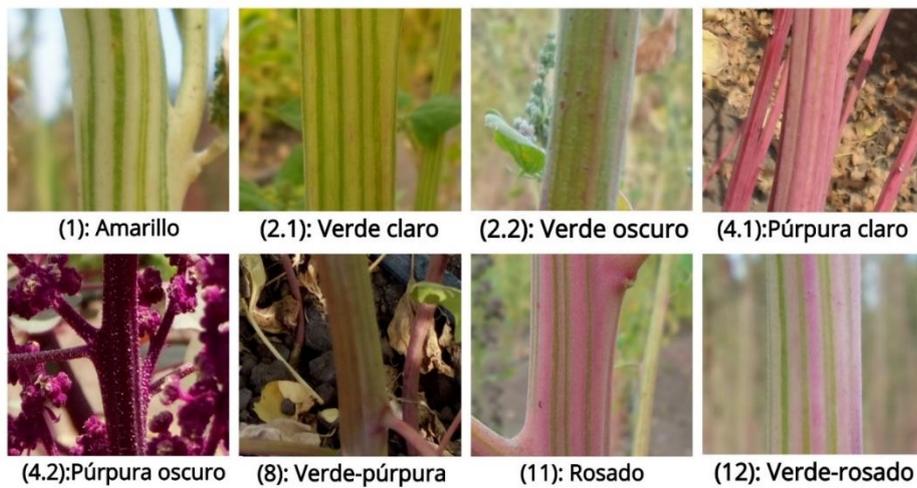


Figura 5: Color de tallo (CT)

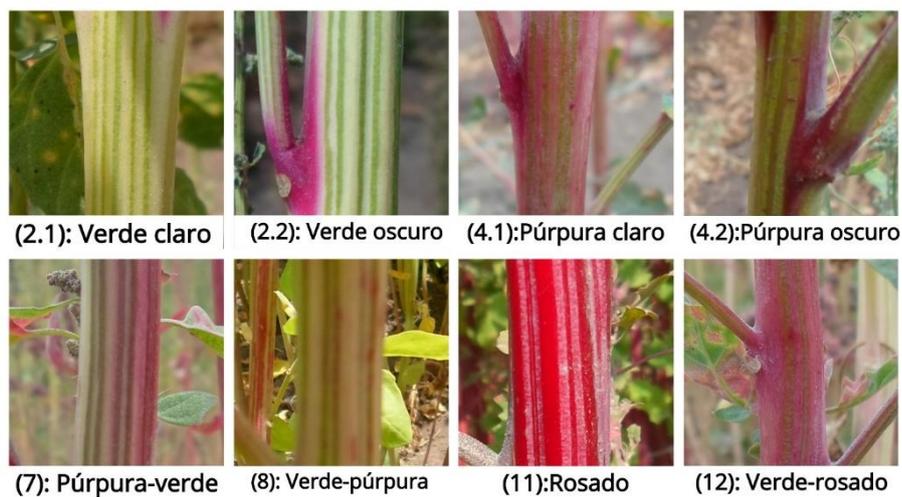


Figura 6: Color de estrías (CE)

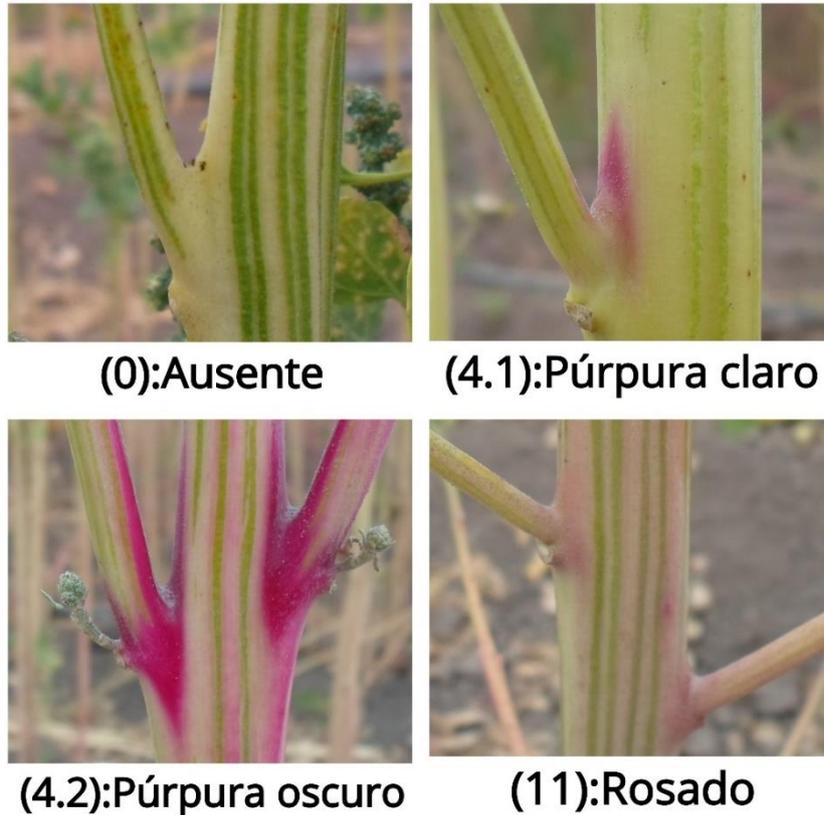


Figura 7: Color de axilas (Cax)

La forma de las hojas predominante en el 94.26 por ciento de los tallos es la romboidal y solo el 5.74 por ciento presenta hojas triangulares (Figura 8); mientras que en las panojas solo se observaron hojas lanceoladas (Figura 9). Las hojas presentaron bordes dentados (Figura 10), con un número de dientes que van de 0 a 3 dientes por hoja en el 47.45 por ciento de las plantas caracterizadas, de 3 a 12 dientes en el 43.19 por ciento y más de 12 dientes en el 9.36 por ciento (Figura 11). El color de peciolo que está más presente es el verde claro, presente en el 72.55 por ciento de las plantas; se presentaron también los colores verde-rosado (14.04 por ciento), púrpura-verde (5.32 por ciento), púrpura oscuro (4.68 por ciento), verde púrpura (1.91 por ciento), púrpura claro (1.06 por ciento) y verde oscuro (0.43 por ciento) (Figura 12). El color de la lámina foliar más común en las accesiones es el verde oscuro (76.17 por ciento), seguido por el verde claro (23.62 por ciento) y verde púrpura (0.21 por ciento) (Figura 13).

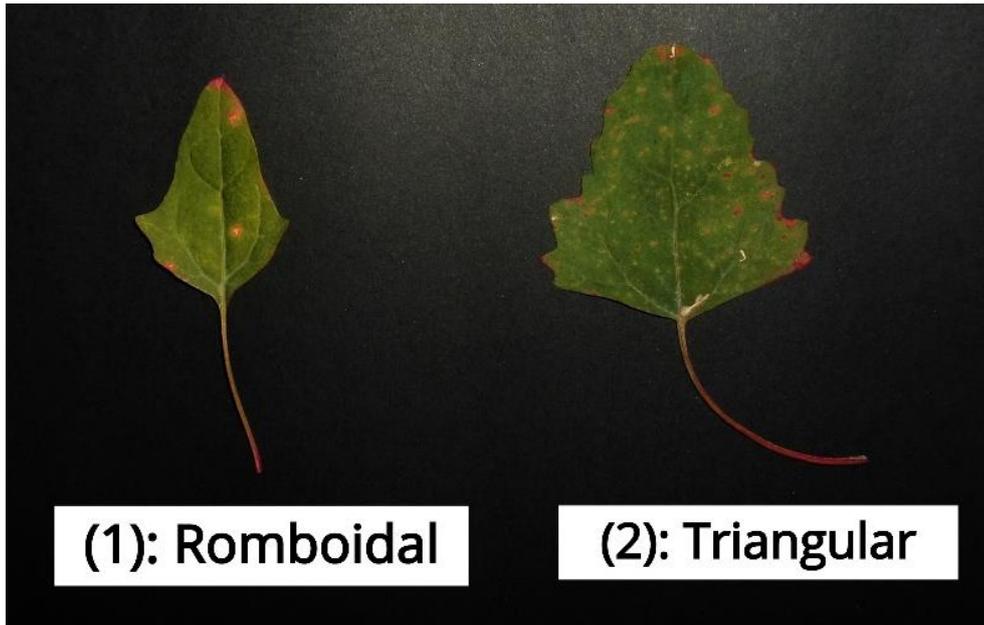


Figura 8: Forma de hoja de tallo (FHT)



(1): Lanceolada

Figura 9: Forma de hoja de panoja (FHP)



(2): Dentado

Figura 10: Borde de hoja (BH)

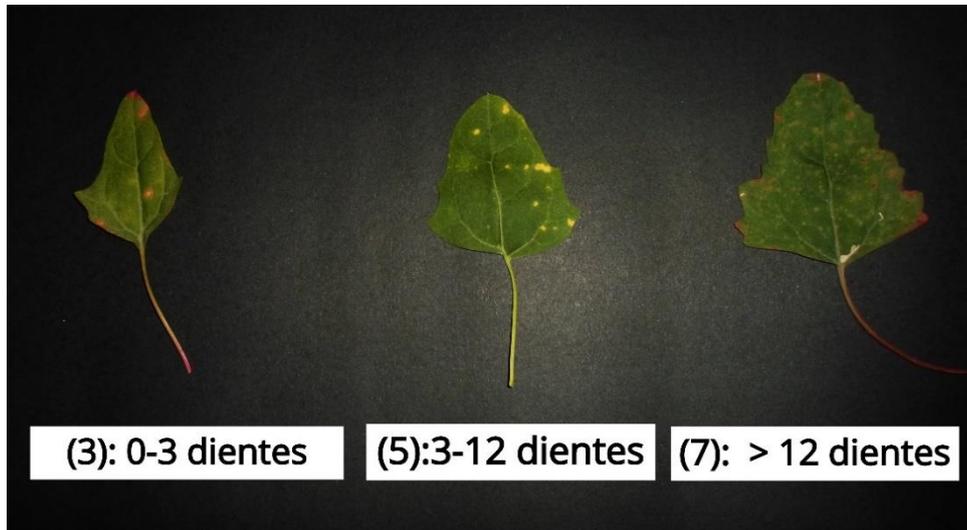


Figura 11: Número de dientes (ND)

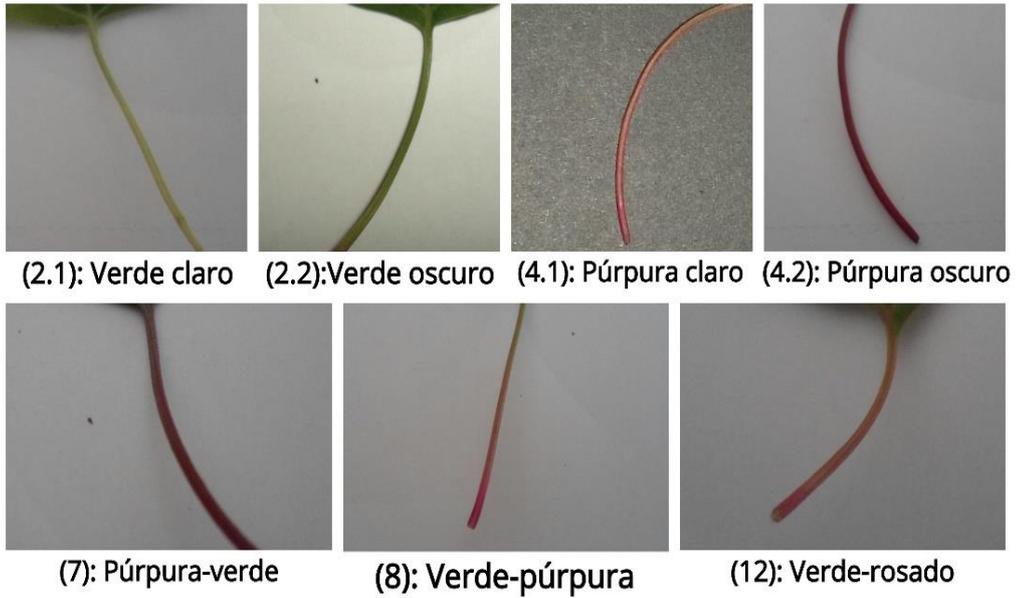


Figura 12: Color de peciolo (CP)

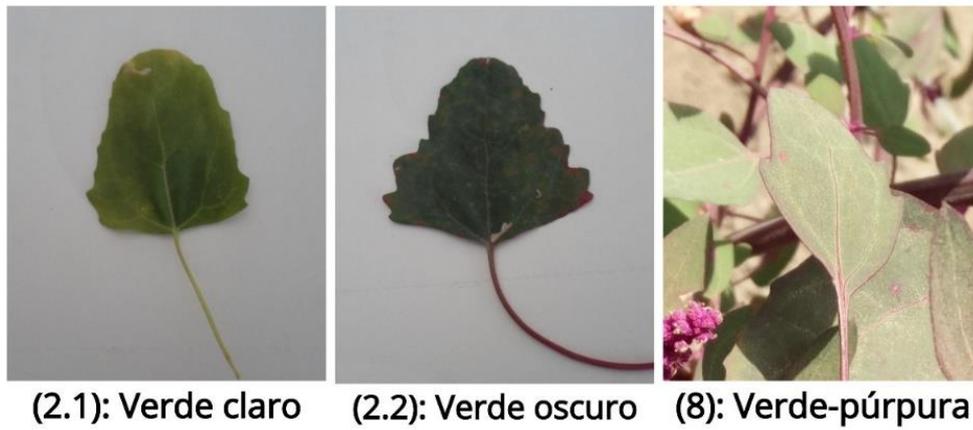


Figura 13: Color de Lámina foliar (CLF)

La forma de panoja predominante es la glomerulada presente en el 63.83 por ciento de las plantas, el 19.36 por ciento presento panojas intermedias y el 16.81 por ciento amarantiformes (Figura 14), lo cual concuerda con el IICA y GTZ (2000) que menciona que las panojas glomeruladas son dominantes sobre las amarantiformes. Con referencia a la densidad de las panojas la mayoría (75.53 por ciento de plantas caracterizadas) tienen panojas con densidad intermedia, en menor cantidad panojas compactas (13.40 por ciento) y por ultimo laxas (11.06 por ciento) (Figura 15). Los colores de las panojas fueron registrados durante la floración (Figura 16), para que la coloración no se vea alterada por la luz solar, entre los colores observados se encuentran (de mayor a menor presencia en las plantas): verde rosado (28.72 por ciento), verde oscuro (27.23 por ciento), púrpura verde (25.74 por ciento), verde púrpura (10.43 por ciento), verde claro (3.40 por ciento), púrpura oscuro (1.70 por ciento), verde rojo (1.06 por ciento), rojo verde (0.85 por ciento), púrpura claro (0.43 por ciento) y lila verde (0.43 por ciento).

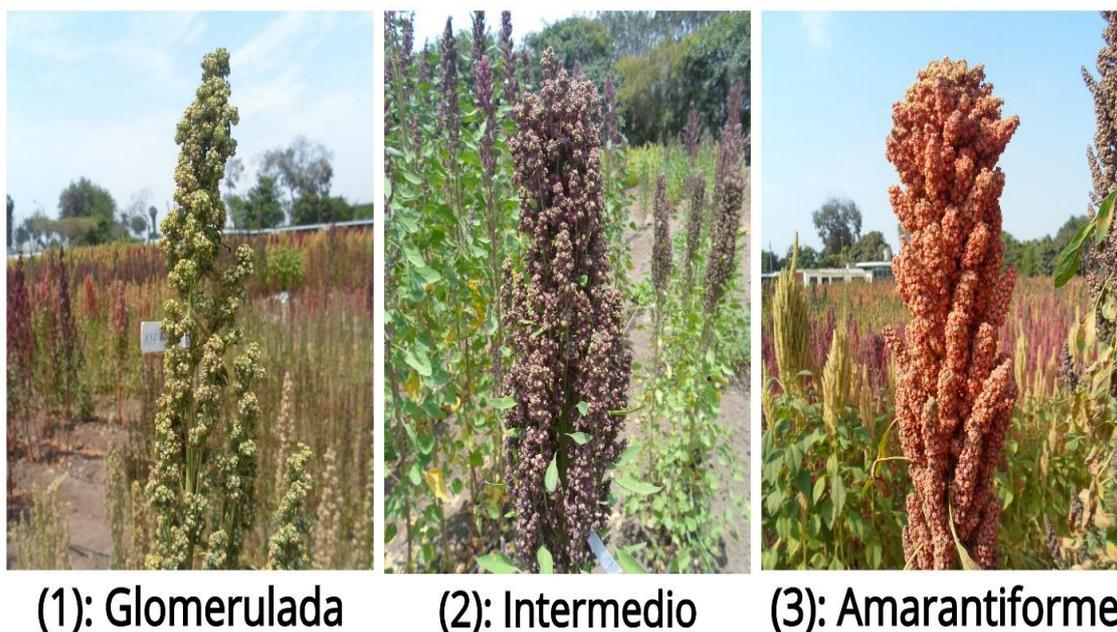


Figura 14: Forma de panoja (FP)



(1): Laxa

(2): Intermedio

(3): Compacta

Figura 15: Densidad de panoja (DP)



(2.1): Verde claro

(2.2): Verde oscuro

(4.1): Púrpura claro

(4.2): Púrpura oscuro

(5): Rojo-verde

(6): Verde-rojo

(7): Púrpura-verde

(8): Verde-púrpura

(12): Verde-rosado

(13): Lila-verde

Figura 16: Color de panoja en floración (CPF)

El grano de quinua está cubierto por el pericarpo, debajo de esta cubierta se encuentra el episperma. El color de pericarpo predominante fue el amarillo, presente en el 60.85 por ciento de las muestras de granos observados, seguido por el gris (25.11 por ciento), naranja (7.02 por ciento), rojo (3.19 por ciento), blanco (1.70 por ciento), marrón (1.70 por ciento) y negro (0.43 por ciento) (Figura 17 y 18). El color del episperma más común en las muestras fue el blanco, observado en el 77.02 por ciento de las muestras de granos, gris en el 12.77 por ciento, amarillo en el 4.26 por ciento, naranja en el 3.19 por ciento, negro en el 1.49 por ciento y marrón en el 1.28 por ciento (Figura 19).

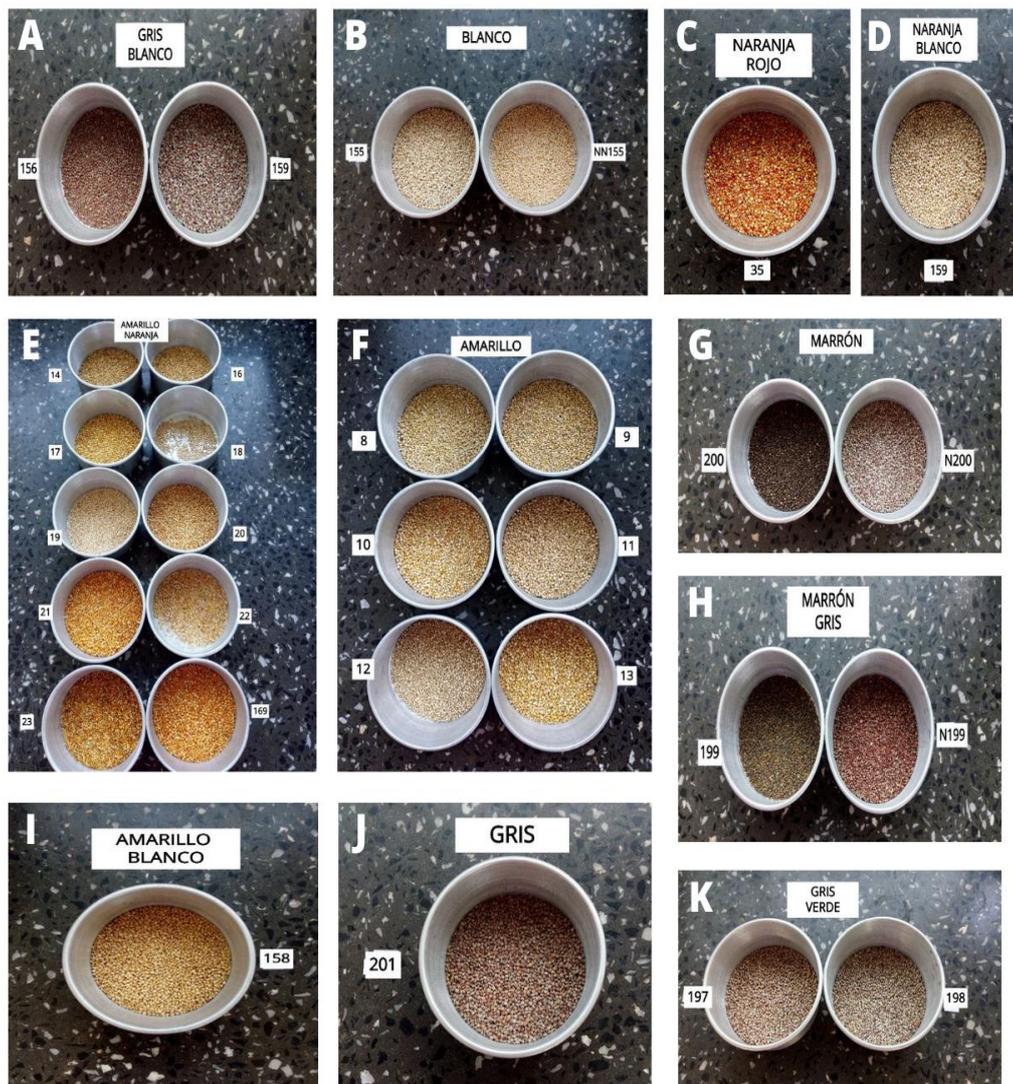


Figura 17: Colores de pericarpo (clp): A) Gris blanco, B) Blanco, C) Naranja rojo, D) Naranja blanco, E) Amarillo naranja, F) Amarillo, G) Marrón, H) Marrón gris, I) Amarillo blanco, J) Gris, K) Gris verde

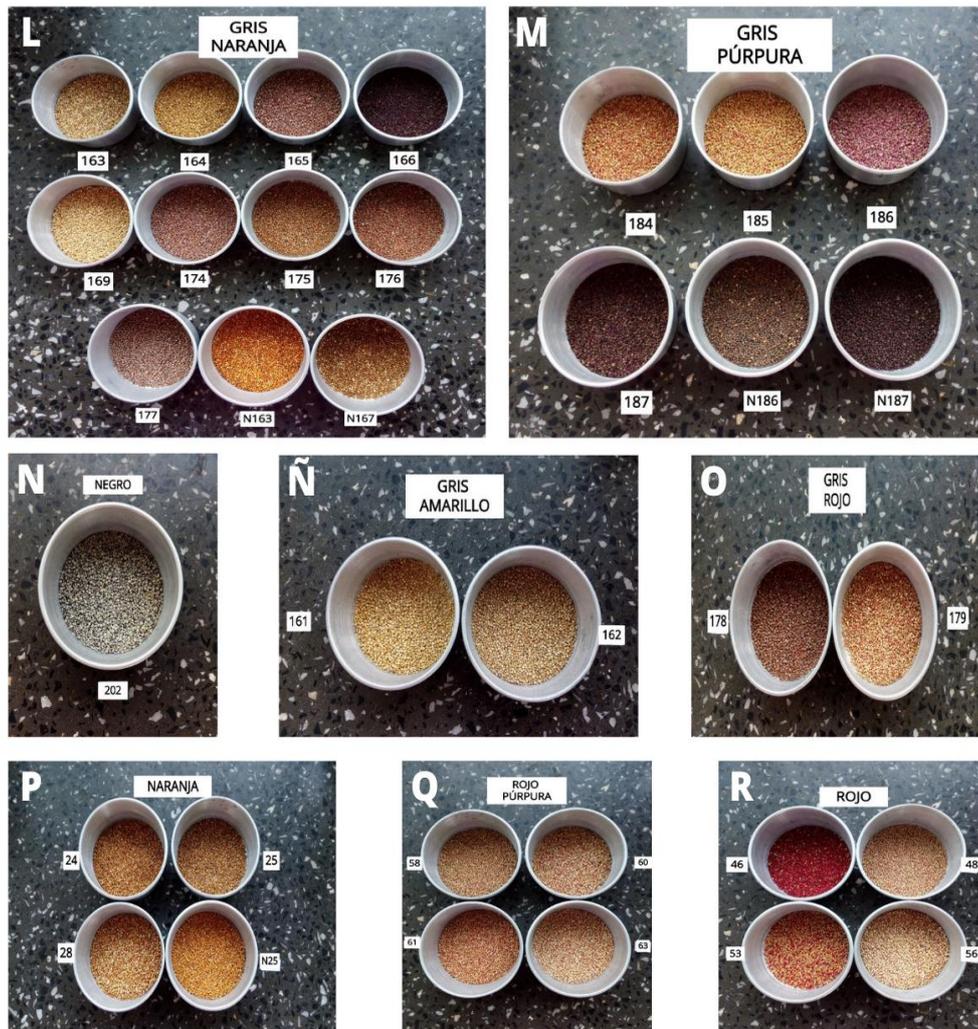


Figura 18: Colores de pericarpio (clp): L) Gris naranja, M) Gris púrpura, N) Negro, Ñ) Gris amarillo, O) Gris rojo, P) Naranja, Q) Rojo púrpura, R) Rojo

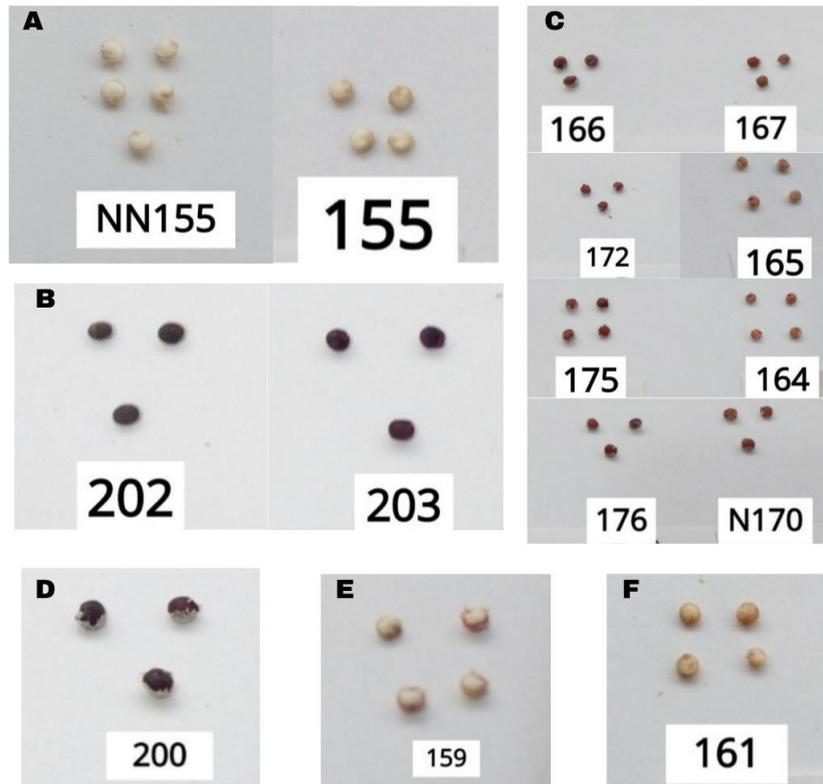


Figura 19: Colores de episperma (cde): A) Blanco, B) Negro, C) Gris naranja, D) Marrón, E) Naranja blanco, F) Gris amarillo

4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE CARACTERES AGRONÓMICOS, GRADO DE SEVERIDAD DE MILDIU Y CARACTERES DE CALIDAD

Los estadísticos descritos para las siguientes variables cuantitativas se resumen en el Tabla 9, en donde podemos observar gran dispersión en relación a la media (s^2) y alto coeficiente de variación (CV) para todas las variables a excepción del contenido de proteína del grano (%).

La altura presenta un CV de 17.03 por ciento el cual indica que los datos registrados para esta variable son heterogéneos; con una media de 153.8 cm. y un rango entre 85 a 250 cm. Mendoza (2013) informa en una evaluación de altura de planta de 17 accesiones de quinua una media de 144 cm. y el rango de 166 a 118 cm.

Para mildiu, los datos de la severidad presentaron un CV de 36.4 por ciento, una media de 40 por ciento y un rango de 10 a 80 por ciento de severidad; mostrando un rango mucho más amplio que el obtenido por Mendoza (2013) en 17 genotipos de quinua de 26.67 a 50 por ciento, la diferencia en los rangos probablemente radique en la cantidad de accesiones que se manejaron para nuestra caracterización, la cual fue mayor. Del total de accesiones sólo 61 de ellas presentaron una severidad menor de 30 por ciento.

Los datos de peso por panoja (g) dieron lugar a un CV de 65.5 por ciento, indicando así una alta heterogeneidad de los valores de esta variable, con una media de 34.2 g, y un rango de entre 1 a 159 g. En el catálogo de quinuas comerciales del Perú de Apaza *et al.* (2013) se observa que rendimiento de semillas por planta oscila entre 97 a 30.5 g, siendo los valores de nuestra investigación superiores al límite máximo; pero quedando por debajo por valores de hasta 250 g alcanzados por Rojas y Pinto (2013).

El peso de 1000 granos presentó un CV de 18.6 por ciento, con un rango de 1.17 a 5.01 g. y una media de 3.21 g, este rango incluye a los valores señalados por Rosas (2015) el cual evaluó diez variedades de quinua en Tarma, con datos en un rango de 2.37 a 3.88 g.

Para proteína de los granos, los datos determinados en las accesiones evaluadas dieron lugar a un CV de 3.01 por ciento con un rango entre 10.6 a 15.3 por ciento y una media de 13.1 por ciento es decir los valores fueron muy similares y se encuentran dentro del rango de 13.58 a 17.62 por ciento del contenido de proteínas señalado por Apaza *et al.* (2013).

Para saponina, la información colectada dio un valor de CV de 63.86 por ciento, un rango de 0 a 2.01 por ciento y una media de 0.89 por ciento. Del total evaluado 93 accesiones fueron consideradas dulces con un contenido de saponina menor o igual al 0.11 por ciento; y 372 accesiones fueron calificadas amargas con valores mayores a 0.11 por ciento (Gómez *et al.* 2014). Con respecto al rango de saponina en los granos, Mendoza (2013) indica valores de 0.10 a 1.51 por ciento en genotipos evaluados en costa central; Según Repo *et al.* (2003) varía de 0.1 a 5 por ciento, pero Borges *et. al.* (2010) han encontrado quinuas con hasta 11.3 por ciento de saponina.

Tabla 9: Estadística General de caracteres agronómicos, respuesta a mildiu (*Peronospora variabilis*) y de calidad descritos en 402 accesiones de quinua (*C. quinoa*) del banco de Germoplasma de la Universidad Agraria La Molina.

Variables (descriptorios)	Estadísticos					
	n	Media	Máx.	Min.	Desviación estándar(s ²)	CV (%)
Altura (cm)	470	153.76	250.00	85.00	26.18	17.03
Mildiu (%)	470	40.72	80.00	10.00	14.83	36.42
Peso panoja (g)	470	34.15	159.00	1.00	22.38	65.54
Peso 1000 granos (g)	470	3.21	5.01	1.17	0.60	18.61
Proteína (%)	467	13.09	15.30	10.60	0.39	3.01
Saponina (%)	465	0.89	2.01	0.00	0.57	63.86

4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

En la Tabla 10 se pueden observar las varianzas absolutas y acumuladas de los componentes; el primer componente tiene un valor propio de 2.75, el segundo valor propio de 2.00, el tercero 1.83, el cuarto 1.60, el quinto 1.27, el sexto 1.09, el séptimo 1.07, el octavo 0.96, y el noveno con 0.81. Los otros componentes tienen valores menores a 0.78. Los primeros nueve componentes explican 70.35 por ciento de la varianza total.

Tabla 10: Componentes principales con sus respectivos valores propios y su varianza absoluta y acumulada, derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Componente principal	Valor propio	Varianza	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
CP1	2.75	14.46	14.46
CP2	2.00	10.53	24.98
CP3	1.83	9.62	34.61
CP4	1.60	8.42	43.02
CP5	1.27	6.67	49.69
CP6	1.09	5.72	55.41
CP7	1.07	5.63	61.04
CP8	0.96	5.03	66.07
CP9	0.81	4.28	70.35
CP10	0.78	4.09	74.44
CP11	0.76	4.01	78.44
CP12	0.69	3.65	82.10
CP13	0.65	3.40	85.49
CP14	0.58	3.04	88.53
CP15	0.53	2.79	91.32
CP16	0.47	2.50	93.82
CP17	0.42	2.20	96.02
CP18	0.41	2.14	98.15
CP19	0.35	1.85	100.00
TOTAL	19.00	100	100.00

En la Figura 20 se presenta la gráfica de sedimentación en donde se puede observar el decrecimiento de los valores propios de los componentes principales.

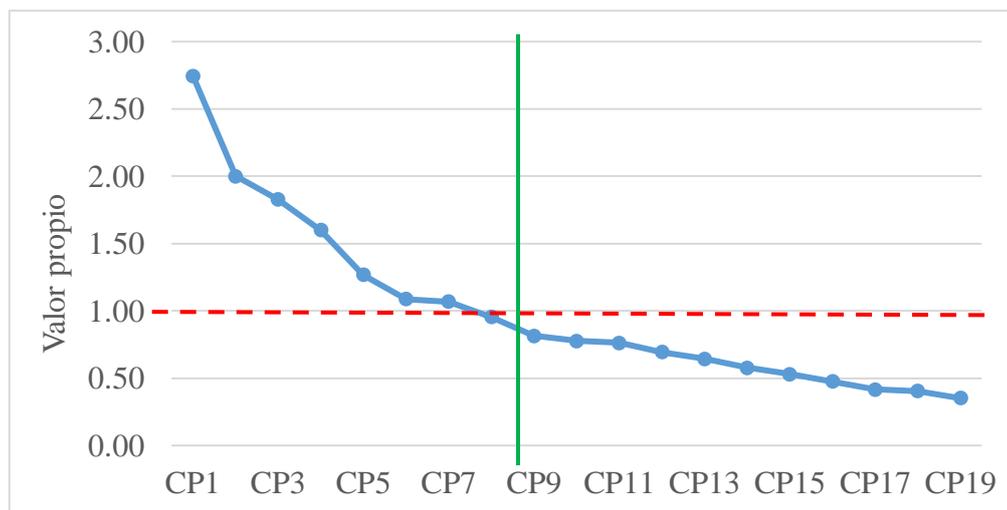


Figura 20: Gráfica de sedimentación de los componentes principales derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

El aporte de las variables a los componentes principales, en este estudio, considera los valores de correlaciones mayores a ± 0.4 como las que aportan más a la formación de los componentes (Tabla 11).

El primer componente explica un 14.46 por ciento de la varianza total, las variables que aportan a la formación de este componente son: número de dientes (-0.606), respuesta a la enfermedad de mildiu (0.574), color de estrías (0.547), altura (-0.529), densidad de panoja (0.510), forma de hoja de tallo (-0.467) y peso de 1000 granos (0.427).

El segundo componente tiene 10.53 por ciento de la varianza total, la cual es explicada por las siguientes variables: forma de panoja (-0.564), porcentaje de saponina (-0.511), altura (-0.476), peso por panoja (-0.414) y color del episperma (0.413).

Tabla 11: Correlaciones de las variables con los componentes principales seleccionados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de la colección de 402 accesiones del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Presencia de ramificación (PR)	0.267	-0.384	0.513	-0.393	0.117	-0.149	0.119	-0.035	0.131
Color del tallo (CT)	-0.346	-0.382	0.511	0.390	0.073	0.143	-0.056	0.090	-0.139
Color de estrías (CE)	0.547	0.215	-0.336	-0.127	0.327	-0.144	0.183	0.052	0.387
Color de axilas (Cax)	0.307	0.007	-0.495	-0.300	0.019	0.108	0.103	0.264	-0.482
Forma de hoja del tallo (FHT)	-0.467	-0.204	-0.263	-0.213	0.165	-0.017	0.061	0.403	0.151
Número de dientes (ND)	-0.606	-0.215	-0.482	-0.079	0.144	-0.191	0.061	-0.059	-0.059
Color de peciolo (CP)	-0.258	-0.128	0.233	0.489	0.386	0.113	0.269	-0.015	-0.225
Color de lámina foliar (CLF)	-0.157	0.374	-0.042	0.279	-0.032	-0.626	0.260	-0.302	-0.154
Color de panoja en floración (CPF)	0.321	0.002	-0.004	0.372	0.584	0.070	0.360	0.222	0.136
Forma de panoja (FP)	0.286	-0.564	-0.394	0.238	-0.006	0.002	-0.243	0.159	-0.151
Densidad de panoja (DP)	0.510	-0.164	-0.139	0.293	0.025	-0.467	-0.217	-0.017	-0.203
Altura (ALT)	-0.529	-0.476	-0.055	-0.280	0.170	-0.204	0.016	-0.048	0.060
Respuesta a la enfermedad de mildiu (Mildiu)	0.574	-0.049	0.074	0.356	-0.132	-0.018	-0.246	0.174	0.173
Peso por panoja (p_pnj)	0.358	-0.414	0.436	-0.401	0.098	-0.306	0.018	-0.035	-0.060
Peso de 1000 granos (p_1000g)	0.427	-0.269	0.007	-0.239	0.315	0.147	-0.042	-0.254	-0.255
Porcentaje de proteínas (prt)	-0.003	-0.166	0.203	0.059	-0.480	-0.289	0.343	0.544	-0.026
Porcentaje de saponinas (spn)	-0.189	-0.511	-0.282	0.306	0.015	-0.142	-0.278	-0.137	0.310
Color del pericarpo (clp)	-0.195	0.375	0.276	-0.098	0.254	-0.090	-0.532	0.233	-0.027
Color del episperma (cde)	-0.217	0.413	0.138	-0.088	0.387	-0.281	-0.291	0.270	-0.114

4.4. ANÁLISIS DE CLÚSTER

En total se tuvo 470 observaciones o unidades básicas de caracterización (UBC), por la selección de 1 a 3 individuos, adicionales, en algunas accesiones con variación marcada. La metodología empleada R Core Team (2018). Se eligió el coeficiente de distancia aproximada de 1.02 que estableció tres grupos diferentes; representado en la Figura 21.

Las características morfológicas, agronómicas y de calidad de los tres grupos de similitud encontrados en la caracterización fenotípica de las 402 accesiones de quinua son las siguientes:

El **GRUPO I** está conformado por 46 plantas:

El 56.5 por ciento de las plantas no presenta ramificaciones, mientras que el 43.5 por ciento presenta ramificaciones. El 54.3 por ciento tiene el tallo color verde claro, el 37 por ciento púrpura oscuro, 4.3 por ciento amarillo, 2.2 por ciento verde oscuro y 2.2 por ciento púrpura claro. El 63 por ciento tiene color de estrías verde oscuro, el 21.7 por ciento verde claro, 8.7 por ciento verde rosado, 4.3 por ciento púrpura oscuro, 2.3 por ciento rosado. El 69.6 por ciento tiene ausencia de coloración en las axilas, el 23.9 por ciento tiene color púrpura oscuro y el 6.5 por ciento rosado. El 52 por ciento tiene hojas romboidales y el 48 por ciento triangulares, en el tallo. El 100 por ciento de las plantas en este grupo tienen hojas lanceoladas en la panoja. El 100 por ciento presentaba borde dentado. El 80.4 por ciento tiene más de 12 dientes, mientras que el 19.6 por ciento de 3 a 12 dientes. El 63 por ciento tiene peciolo verde claro, el 26 por ciento verde rosado, 6.5 por ciento púrpura oscuro y 4.5 por ciento púrpura verde. El 80.4 por ciento tiene lámina foliar color verde oscuro y el 19.6 por ciento verde claro.

El 34.8 por ciento tiene panojas color verde oscuro, el 34.8 por ciento púrpura verde, 13 por ciento verde claro, 13 por ciento verde rosado, 2.2 por ciento púrpura claro, y 2.2 por ciento verde púrpura. El 82.6 por ciento tiene forma glomerulada, 15.2 por ciento intermedia y el 2.2 por ciento amarantiforme. El 52.2 por ciento tiene densidad laxa, el 45.7 por ciento intermedia y el 2.1 por ciento compacta.

La altura se encuentra en un rango de 250 a 145 cm, con una media de 202.7 cm.

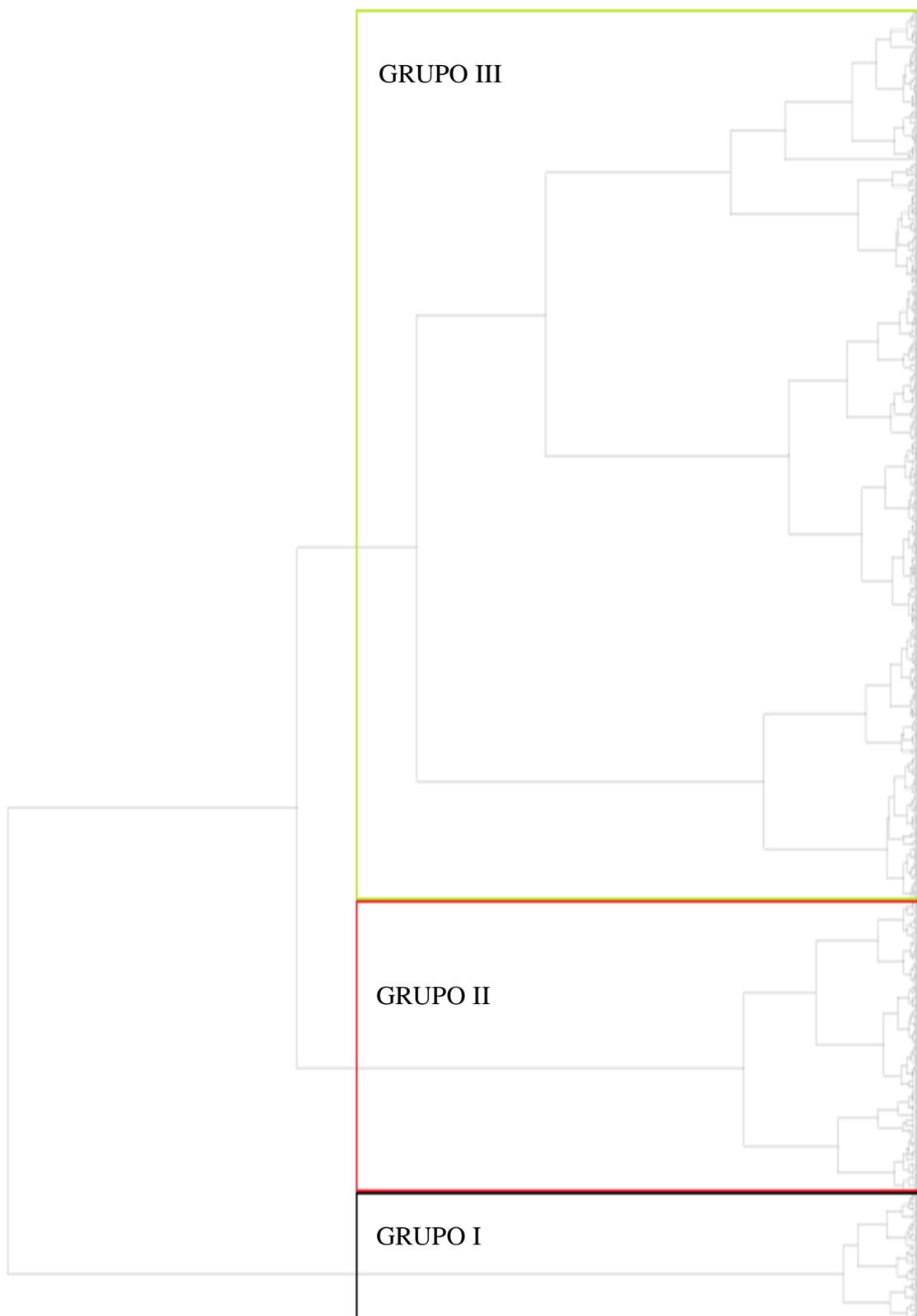


Figura 21: Grupos de similitud formados en base a la evaluación morfológica, agronómica y caracteres de calidad de 402 accesiones de quinua (Ch. quinoa).

El porcentaje de área foliar afectada por mildiu se encuentra en el rango de 40 a 10 por ciento, con una media de 20.2 por ciento.

El peso por panoja se encuentra en un rango de 115 a 1 g y una media de 24 g. El peso de 1000 granos se encuentra en un rango de 4 a 1.2 g y una media de 2.8 g. El porcentaje de proteína se encuentra en un rango de 13.8 a 12.1 por ciento y una media de 13 por ciento. El porcentaje de saponina se encuentra en un rango de 1.8 a 0 por ciento y una media de 1.2 por ciento.

El 28.3 por ciento tiene pericarpo color gris amarillo, 21.7 por ciento amarillo naranja, 11 por ciento amarillo blanco, 8.7 por ciento gris naranja, 6.5 por ciento naranja blanco, 4.3 por ciento gris marrón, 4.3 por ciento gris púrpura, 4.3 por ciento rojo, 2.7 por ciento amarillo, 2.7 por ciento blanco, 2.7 por ciento marrón y 2.7 por ciento naranja rojo. El 63 por ciento tiene episperma color blanco, 17.4 por ciento naranja blanco, 15.2 por ciento amarillo blanco, 2.2 por ciento gris amarillo y el 2.2 por ciento negro.

GRUPO II conformado por 105 plantas:

El 66.7 por ciento de las plantas seleccionadas presentan ramificaciones, ausentándose en el 33.3 por ciento. El 41.9 por ciento tiene color de tallo púrpura oscuro, el 33.3 por ciento púrpura claro, 8.6 por ciento verde claro, 6.7 por ciento rosado, 5.7 por ciento amarillo, 2.9 por ciento verde rosado y el 0.9 por ciento verde púrpura. El 75.2 por ciento tiene color de estrías verde claro, el 16.2 por ciento verde oscuro, 2.9 por ciento verde púrpura, 1.9 por ciento púrpura oscuro, 1.9 por ciento verde rosado, 0.95 por ciento púrpura claro y 0.95 por ciento púrpura verde. El 80 por ciento tiene ausencia de coloración en las axilas, el 17.1 por ciento tiene color púrpura oscuro, el 1.9 por ciento púrpura claro y el 1 por ciento rosado. El 99 por ciento tiene hojas romboidales y el 1 por ciento triangulares, en el tallo. El 100 por ciento de las plantas en este grupo tienen hojas lanceoladas en la panoja. El 100 por ciento presentaba borde dentado. El 60 por ciento tiene de 0 a 3 dientes, el 38 por ciento de 3 a 12 dientes y el 2 por ciento más de 12 dientes. El 28.6 por ciento tiene peciolo verde rosado, el 27.6 por ciento verde claro, el 17.1 por ciento púrpura verde, 13.3 por ciento púrpura oscuro, 8.6 por ciento verde púrpura y el 4.8 por ciento púrpura claro. El 76 por ciento de hojas tiene lámina foliar color verde oscuro y el 24 por ciento verde claro.

El 52.4 por ciento presenta panojas color púrpura verde, el 19 por ciento verde rosado, el 13.3 por ciento verde púrpura, 5.7 por ciento púrpura oscuro, 3.8 por ciento verde oscuro, 2.9 por ciento rojo verde, 1.9 por ciento verde rojo y 1 por ciento púrpura claro. El 61 por ciento tiene forma glomerulada, 21 por ciento intermedia y 18 por ciento amarantiforme. El 82 por ciento tiene densidad intermedia, 12.4 por ciento compacta y 5.6 por ciento laxa.

La altura se encuentra en un rango de 195 a 105 cm, con una media de 152 cm.

El porcentaje de área foliar afectada por mildiu se encuentra en el rango de 80 a 10 por ciento, con una media de 46 por ciento.

El peso por panoja se encuentra en un rango de 134 a 7 g y una media de 38.3 g. El peso de 1000 granos se encuentra en un rango de 5 a 2.1 g y una media de 3.2 g. El porcentaje de proteína se encuentra en un rango de 15.3 a 12.4 por ciento y una media de 13.2 por ciento. El porcentaje de saponina se encuentra en un rango de 1.8 a 0 por ciento y una media de 1 por ciento.

El 35.2 por ciento tiene pericarpio color amarillo naranja, 15.2 por ciento gris naranja, el 14.3 por ciento amarillo, 11.4 por ciento amarillo blanco, 4.8 por ciento gris púrpura, 4.8 por ciento naranja blanco, 3.8 por ciento rojo púrpura, 2.9 por ciento gris marrón, 2.9 por ciento naranja, 2.9 por ciento rojo, 0.9 por ciento gris blanco y 0.9 por ciento gris rojo. El 83.8 por ciento tiene episperma color blanco, 7.6 por ciento gris naranja, 2.9 por ciento amarillo blanco, 1.9 por ciento naranja blanco, 1.9 por ciento negro, 0.95 por ciento gris amarillo y 0.95 por ciento marrón.

GRUPO III conformado por 319 plantas:

El 53 por ciento de las plantas seleccionadas presentan ramificaciones, ausentándose en el 47 por ciento. El 72.7 por ciento presenta el tallo color amarillo, 23.8 por ciento verde claro, 0.9 por ciento verde oscuro, 0.9 por ciento púrpura claro y 1.7 por ciento púrpura oscuro. El 43.7 por ciento tiene estrías verde-rosado, 28 por ciento verde oscuro, 12.5 por ciento verde púrpura, 11 por ciento verde claro, 1.9 por ciento púrpura verde, 1.6 por ciento púrpura oscuro y 1.3 por ciento púrpura claro. El 30.5 por ciento presenta axilas color rosado, el 28.5 por ciento tiene ausencia de coloración, el 26 por ciento púrpura oscuro y el 15 por ciento púrpura claro. El 98.7 por ciento tiene hojas romboidales en el tallo y solo el 1.3 por ciento triangulares. El 100 por ciento de las plantas en este grupo tienen hojas lanceoladas en la

panoja. El 100 por ciento presentaba borde dentado. El 50.3 por ciento presenta de 0 a 3 dientes, el 48.3 por ciento de 3 a 12 dientes y solo el 1.5 por ciento más de 12 dientes. El 88.7 por ciento presenta el peciolo de color verde claro, 7.5 por ciento verde rosado, 1.6 por ciento púrpura verde, 1.6 por ciento púrpura oscuro y 0.6 por ciento verde oscuro. El 75.5 por ciento tiene hojas con lámina foliar de color verde oscuro, el 24.2 por ciento verde claro y el 0.3 por ciento verde púrpura.

El 34.2 por ciento tiene panojas color verde rosado, el 33.9 por ciento verde oscuro, el 15.7 por ciento púrpura verde, el 10.7 por ciento verde púrpura, el 3.1 por ciento verde claro, 0.9 por ciento verde rojo, el 0.6 por ciento púrpura oscuro, el 0.6 por ciento lila verde y el 0.3 por ciento rojo verde. El 62.1 por ciento tiene forma glomerulada, el 19.4 por ciento intermedia y 18.5 por ciento amarantiforme. El 77.7 por ciento tiene una densidad de panoja intermedia, el 15.4 por ciento compacta y el 6.9 por ciento laxa.

La altura se encuentra en un rango de 220 a 85 cm, con una media de 147 cm.

El porcentaje de área foliar afectada por mildiu se encuentra en el rango de 70 a 10 por ciento, con una media de 42 por ciento.

El peso por panoja se encuentra en un rango de 159 a 3 g y una media de 43.2 g. El peso de 1000 granos se encuentra en un rango de 4.9 a 1.5 g y una media de 3.3 g. El porcentaje de proteína se encuentra en un rango de 15 a 10.6 por ciento y una media de 13.1 por ciento. El porcentaje de saponina se encuentra en un rango de 2 a 0 por ciento y una media de 0.8 por ciento.

El 24.14 por ciento es de color amarillo naranja, 21 por ciento amarillo blanco, 19.44 por ciento amarillo, 9.09 por ciento gris naranja, 5.64 por ciento naranja blanco, 4.39 por ciento gris marrón, 2.51 por ciento gris púrpura, 2.19 por ciento blanco, 2.19 por ciento gris verde, 2.19 por ciento marrón, 1.59 por ciento rojo púrpura, 1.25 por ciento gris, 1.25 por ciento gris amarillo, 1.25 por ciento gris blanco, 0.63 por ciento naranja, 0.63 por ciento negro, 0.31 por ciento gris rojo y 0.31 por ciento rojo.

El 76.80 por ciento tiene el episperma color blanco, el 15.05 por ciento gris naranja, 3.13 por ciento amarillo blanco, 1.57 por ciento marrón, 1.57 por ciento naranja blanco, 1.25 por ciento negro y 0.63 por ciento gris amarillo.

OBJETIVO 2.-

- Identificación de accesiones valiosas para su empleo en programas de mejoramiento genético

4.5. DISTANCIAS EUCLIDIANAS

Se seleccionó 94 accesiones que representan el 20 por ciento del total de la población evaluada. En la Tabla 12 se presentan los valores de la distancia euclidiana siendo las de menor valor, con sus respectivas características cuantitativas. Este material valioso podría usarse en futuros programas de mejoramiento genético. Se seleccionaron por los valores máximo de peso por panoja, máximo peso de 1000 granos, máximo porcentaje de proteínas; y valores mínimos para altura de planta, daño por mildiu y porcentaje de saponina; considerando las características de una variedad objetivo del mejorador.

En la evaluación de 16 selecciones de quinua en Colombia (Guerrero *et al.* 2008), se adoptaron ciertos criterios para la selección del material más sobresaliente, los cuales son: rendimiento, altura de plantas y reacción a mildiu; lo cual coincide con la mitad de los criterios establecidos para la selección de nuestras accesiones más valiosas.

La distancia euclidiana ha sido empleada en varios estudios para lograr identificar las accesiones más valiosas, por medio de una selección múltiple de caracteres establecidos por el “criterio del experto”. Gómez *et al.* (2008) uso distancias euclidianas en el reconocimiento de los mejores haploides de cebada por medio de la selección múltiple de ocho caracteres agronómicos, también fue empleada en la selección de mutantes de quinua (Sánchez, 2015).

Para la selección no se incluyen las características morfológicas ya que no son consideradas en el criterio del experto, sin embargo, se discutirá la relación de dichos caracteres con las variables valiosas (variables cuantitativas).

Sañudo *et al.* (2005), propone una escala de clasificación de quinuas según su altura, la cual considera a las quinuas las quinuas mayores de 2 metros como materiales de porte alto, a los de 1.5 a 2 metros como de porte medio y menores a 1.5 metros de porte bajo; se determinó que el 65 por ciento de las plantas seleccionadas son de porte bajo y el 35 por ciento son de

porte medio. Según Costa (2014) las accesiones del altiplano (Puna) presentan menor altura (ciclo de madurez corto) que las provenientes de los valles interandinos (ciclo intermedio o tardío) que se caracterizan por presentar mayor altura; probablemente muchas de nuestras plantas seleccionadas como valiosas tengan como procedencia la zona del altiplano. Las variaciones en el porte, son de acuerdo con la época de siembra, la fertilidad del suelo y las condiciones climáticas, de lo anterior se deduce que la altura además de ser una característica propia de cada genotipo, su expresión también está condicionada por el entorno (Sañudo *et al.* 2005).

Tabla 12: Características cuantitativas y distancias euclidianas de las accesiones más valiosas para su empleo en un programa de mejoramiento genético.

Accesión	Distancia euclidiana	Altura (cm)	Peso por panoja (g)	Peso de 1000 granos (g)	Proteína (%)	Saponina (%)	Mildiu (%)
1	0.88	155	134	3.63	12.50	-	30
111	0.91	128	50	4.62	12.92	0	20
82B	0.95	170	159	3.86	13.10	0.03	50
153B	0.95	111	69	3.38	13.46	0.75	30
351	0.95	170	72	3.34	13.60	0	20
215B	0.96	130	58	3.41	13.13	0.32	20
130	0.98	140	106	4.14	12.49	0	50
135	0.98	155	99	3.64	13.28	0.11	50
124	0.99	145	69	3.62	13.04	0.59	30
17	1.00	133	56	3.86	13.20	0.67	30
213	1.00	135	63	3.25	13.13	0.32	30
68	1.01	130	53	4.56	12.30	0.00	30
336	1.01	160	77	3.22	12.94	0.00	30
149A	1.02	137	52	3.97	13.12	0.00	40
69B	1.02	145	72	3.83	12.60	0.00	40
281	1.02	151	99	2.85	13.00	0.06	40
337	1.04	165	107	3.35	12.97	0.94	30
65	1.04	125	52	4.37	14.30	0.83	50
153A	1.05	116	88	3.51	13.00	0.75	50
349	1.05	155	70	2.76	13.34	0.08	30
27A	1.05	150	67	3.95	13.40	0.86	40
24A	1.05	152	65	5.01	12.70	1.07	10
350	1.05	160	98	2.73	13.10	0	40
10	1.05	160	84	2.88	14.30	-	50
295	1.06	155	67	2.82	13.30	0.14	30
344	1.06	143	50	3.48	13.67	0.46	40
150	1.06	112	26	3.43	13.51	0.00	30
72	1.06	145	33	4.04	13.10	0.00	30
254A	1.06	139	55	2.82	13.43	0.32	30
70	1.07	164	64	2.71	15.30	0.00	40
191	1.07	140	35	4.00	12.91	0.00	30
112	1.07	150	64	3.13	13.20	0.00	40
61	1.07	143	50	3.78	13.30	0.56	40
235	1.08	107	47	4.22	12.87	0.00	50
202	1.08	133	45	3.58	13.04	0.00	40

Tabla 12: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana	Altura (cm)	Peso por panoja (g)	Peso de 1000 granos (g)	Proteína (%)	Saponina (%)	Mildiu (%)
103	1.08	140	37	3.35	12.97	0.00	20
157A	1.08	140	99	4.08	12.94	1.05	50
149B	1.08	114	38	3.62	13.04	0.00	40
193	1.08	130	39	3.22	13.13	0.08	30
194	1.09	118	34	3.32	12.97	0.00	30
137	1.09	158	34	4.33	12.91	0.00	30
36	1.09	185	76	3.66	13.40	0.86	30
203	1.09	125	34	3.62	13.23	0.06	40
326	1.10	115	16	3.63	13.47	0.00	30
205	1.10	125	39	3.31	13.18	0.00	40
56	1.10	115	27	3.88	13.10	0.00	40
108	1.11	125	34	3.61	13.07	0.00	40
159	1.11	155	48	4.42	13.90	1.05	40
358	1.12	140	43	3.96	13.65	1.13	30
109B	1.12	128	24	2.93	13.44	0.08	10
188	1.12	140	42	4.02	13.18	0.06	50
364	1.12	158	51	2.75	13.07	0.00	20
325	1.12	165	61	3.39	13.77	0.35	50
254B	1.12	158	47	3.42	13.30	0.32	40
99	1.12	144	85	3.58	12.96	0.27	60
63	1.13	140	23	3.09	14.40	0.43	30
199	1.13	130	33	3.46	13.13	0.00	40
178	1.13	154	55	3.13	13.00	0.11	40
305	1.13	152	34	3.88	12.78	0.32	30
107C	1.13	145	34	3.66	12.79	0.62	20
399	1.13	137	32	3.80	12.92	0.00	40
360A	1.14	155	21	3.49	13.77	0.19	30
83A	1.14	155	70	2.53	13.20	-	40
64	1.14	115	22	3.18	13.20	0.11	30
312	1.14	143	52	3.16	12.71	0.14	40
113	1.15	155	39	2.81	14.28	0.00	40
195	1.15	134	23	3.33	13.13	0.06	30
109A	1.15	130	28	3.82	12.42	0.08	30
192	1.15	125	16	3.68	13.00	0.00	30
276A	1.15	147	37	3.81	12.84	0.32	40
164	1.15	138	52	3.63	12.45	0.59	40
105	1.15	100	32	2.58	12.92	0.00	20

Tabla 12: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana	Altura (cm)	Peso por panoja (g)	Peso de 1000 granos (g)	Proteína (%)	Saponina (%)	Mildiu (%)
106	1.16	120	48	3.99	12.36	0.78	40
360B	1.16	164	33	3.241	13.05	0.19	20
276B	1.16	157	64	3.19	13.12	0.32	50
121	1.17	143	42	3.84	13.25	1.15	30
76A	1.17	138	67	3.25	12.99	1.26	30
26B	1.17	178	134	3.21	13.20	1.07	50
182	1.17	135	16	4.19	13.02	0.00	40
127	1.18	175	44	4.20	12.84	0.83	30
277	1.18	132	79	2.84	13.02	0.06	60
314	1.19	165	68	3.08	13.00	0.30	50
11	1.19	120	52	2.46	14.40	0.99	40
215A	1.19	130	22	3.21	12.89	0.32	30
122	1.19	140	57	3.52	13.94	0.78	60
92	1.20	145	55	3.44	12.74	0.94	40
303A	1.20	140	59	3.57	12.94	1.18	40
218	1.20	127	18	3.20	12.91	0.19	30
66	1.20	118	12	2.52	14.50	-	30
285	1.20	137	42	3.65	12.92	0.59	50
200	1.20	130	36	3.36	12.96	0.00	50
243B	1.20	170	64	3.52	12.86	1.13	30
282	1.20	136	18	3.83	12.89	0.27	40
46	1.21	163	115	3.45	13.90	1.53	50

El 79.79 por ciento de las plantas seleccionadas son ramificadas, y el 20.21 por ciento no es ramificada. Ya que la gran mayoría de plantas son ramificadas, podríamos decir que las plantas con ramificaciones presentan un rendimiento alto, ya que según Orosco (2016) 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.

Benavides y Rodríguez (2007), realizaron un estudio en Colombia reportando pesos de granos por panoja que oscilaron entre 12.18 a 28 g; los datos de peso por panoja registrados en nuestras accesiones seleccionadas son mayores al rango antes mencionado, oscilan entre 12 a 159 g.

Whali (1990), propuso una escala de clasificación del tamaño del grano según el peso de 1000 granos, de acuerdo a esto los granos con un peso mayor a 3 g son de tamaño grande, entre 2.5 y 3 g son de tamaño mediano y menores a 2.5 g son de tamaño pequeño; de acuerdo a esto el 84 por ciento de las plantas seleccionadas tienen granos grandes, el 15 por ciento granos medianos y solo el 1 por ciento granos pequeños. El rango del peso de 1000 granos está en un rango de 2.46 a 5.01 g.

Con referencia al porcentaje de saponinas, Campos (2018) emplea la siguiente escala de clasificación para la evaluación de accesiones de quinua en costa central: quinuas dulces valores ≤ 0.11 por ciento, semidulces de 0.12 a 0.5 por ciento, amargas ≥ 0.6 por ciento; para calcular la cantidad de quinuas según su contenido de saponina usaremos la escala usada por Campos (2018) la cual es más detallada, adaptaremos y consideraremos como quinuas amargas a las que tengan porcentajes de saponina > 0.5 por ciento (sin este cambio se perderían algunos datos). Entonces el 49 por ciento son quinuas dulces, el 21 por ciento son quinuas semidulces, el 30 por ciento son quinuas amargas. El contenido de saponina tiene importancia comercial ya que es un factor antinutricional de las semillas de quinua, la cual la industria elimina mediante procesos abrasivos o de lavado, por lo cual las quinuas dulces representan material con potencial para la industria por su bajo o no existente contenido de saponina y reduciría los costos del proceso de industrialización del grano ; desde el punto de vista agronómico protege a la planta como repelente de plagas y enfermedades (Jacobsen, 2002).

En el presente trabajo el porcentaje de proteínas de las plantas seleccionadas están en un rango de 12.30 a 15.30 por ciento, representa un alto contenido de proteína, ya que Mujica *et al.* (2001) considera como porcentajes altos de proteína valores de 12 a 20 por ciento.

Álvarez citado por Wahli (1990) en un experimento orientado a la selección de quinua dulce, encontró que el contenido de proteína y saponina no se encontraron asociados, por lo cual la posibilidad de obtener grano de alta proteína es similar en quinuas dulces y amargas; sucede lo contrario cuando hablamos del contenido de proteína y el rendimiento. En el experimento realizado por Campos (2018) en el que evaluó accesiones de ecotipo altiplano en condiciones de costa central, las accesiones que presentaron mayor rendimiento obtuvieron un rango de proteína de 12 a 17 por ciento. Sin embargo, una de las accesiones presentó el rendimiento más bajo y obtuvo un porcentaje de proteína de 16 por ciento. Por lo que se puede deducir

que no hay correlación directa entre el porcentaje de proteína y el rendimiento. Esto es corroborado por Quispe (2015) que demostró que la proteína muestra una correlación negativa con el rendimiento. Como ejemplo tomaremos a las accesiones 82B y 130, las cuales tienen altos rendimientos, y el contenido de proteínas es de 13.10 y 12.49 por ciento respectivamente; representando una aparente relación directa para estos dos caracteres, lo cual no es un comportamiento usual como menciona Quispe (2015) y no podríamos concluir dicha relación directa como señala Campos (2018), pero sin embargo muestra el potencial de las accesiones 82B y 130.

El porcentaje de severidad del mildiu está en un rango de 10 a 60 por ciento., similar a el rango de infección reportado por Mendoza (2013) en 17 genotipos de quinua cultivados en condiciones de costa central de 26.67 a 50 por ciento (humedad relativa de 70 a 92 por ciento y temperaturas de 16.6 a 24.3 °C).

El 77.66 por ciento de las plantas seleccionadas presento panoja glomerulada, 13.83 por ciento panoja intermedia y 8.51 por ciento panoja amarantiforme. La densidad del 79.79 por ciento de panojas es intermedia, el 13.83 por ciento compacta y solo el 6.38 por ciento es laxa.

V. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1

- Se determinó variación alta para los caracteres: número de dientes, respuesta a la enfermedad de mildiu, color de estrías, altura, densidad de panoja, forma de hoja de tallo, peso de 1000 granos, forma de panoja, porcentaje de saponina, peso por panoja, color del episperma, presencia de ramificación, color de tallo, color de axilas, color de peciolo, color de panoja en floración, color de lámina foliar, porcentaje de proteínas, color de pericarpo. Se forman tres grupos diferentes considerando todas las características morfológicas, de calidad y componentes de rendimiento evaluados.

OBJETIVO 2

- Se identificaron 94 accesiones valiosas, con caracteres deseados por el mejorador en altura de planta (100 - 185 cm.), peso por panoja (12 - 159 g.), peso de 1000 granos (2.46 - 5.01 g.), porcentaje de proteínas (12.30 - 15.30 por ciento), porcentaje de saponina (0 - 1.53 por ciento) y resistencia a la enfermedad de mildiu (10 - 60 por ciento); para su empleo en programas de mejoramiento genético.

VI.RECOMENDACIONES

- Continuar las caracterizaciones del Banco de germoplasma de quinua en diferentes ambientes.
- Realizar la caracterización: molecular o genotípica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, P. & Nieto, C. (1981). *Origen y evolución de la quinua (Chenopodium Quinoa Willd)*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D. & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 45(3), 438-469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>

Apaza, V., Cáceres, G., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/76>

Bazile, D., Bertero, D. & Nieto, C. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Recuperado de www.fao.org/3/a-i4042s.pdf

Benavides, A. & Rodríguez, M. (2007). *Evaluación y selección de 16 líneas promisorias de quinua dulce en el Municipio de Pasto, Departamento de Nariño* [Tesis de Doctorado, Universidad de Nariño].

Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF & FIDA. (2013). *Descriptorios para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*. Recuperado de <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptorios-para-quinua-chenopodium-quinoa-willd-y-sus-parientes-silvestres/>

Bogoe, E. (2009). Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias*, 92(092), 18-28. Recuperado de www.redalyc.org/pdf/644/64412119004.pdf

Bonifacio, A. (2003). *Chenopodium* sp.: genetic resources, ethnobotany, and geographic distribution. *Food Reviews International*, 19 (1-2), 1-7. doi: 10.1081/FRI-120018863

Bonifacio, A., Mujica, A., Álvarez, A. & Roca, W. (2001). *Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla*. FAO.

Borges, J., Bonomo, R., Paula, C., Oliveira, L. & Cesário, M. (2010). Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Physicochemical and nutritional characteristics and uses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Temas Agrarios*, 15(1), 9 - 23. <https://doi.org/10.21897/rta.v15i1.815>.

Campos, C. (2018). *Accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotipo altiplano en condiciones de costa central* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Cayoja, M. (1996). *Caracterización de variables continuas y discretas del grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del banco de germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya* [Tesis de Licenciamiento]. Universidad Técnica Oruro.

Costa, S. (2014). *Variabilidad genética de *Chenopodium quinoa* Willd. en el Noroeste Argentino y su relación con la dispersión de la especie* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de la Plata.

Danielsen, S., & Ames, T. (2000). *El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).

Espindola, G. (1980). *Estudio de componentes directos e indirectos del rendimiento en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)* [Tesis de Pregrado]. Universidad Mayor de San Simón.

Espindola, G. & Gandarillas, H. (1985). Study of correlated Characters and their effects on quinua yield. *Bol. Gen. Inst. Fitotec*, 13, 47-54.

Franco, T. & Hidalgo, R. (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Cali: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Freire-Fierro, A. (2004). *Botánica sistemática ecuatoriana*. Missouri Botanical Garden

Fuentes-Bazan, S., Mansion, G., & Borsch, T. (2012). Towards a species level tree of the globally diverse genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(1), 359-374. Recuperado de http://www.sci.sdsu.edu/plants/chenopodium/pdfs/Fuentes-Bazan_etal2012a-Chenopodium-Chenopodiac.pdf.

Gandarillas, H. (1979). Botánica. En Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R.,...Zanabria, E. (Ed.), *Quinoa y Kañiwa: Cultivos Andinos*. Bogotá: Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo.

Gómez, A., Iafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., & Caboni, M. (2014). Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food chemistry*, 157, 174-178. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614001976>

Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinoa*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos

Gómez, L, Jiménez, J, Eguiluz, A, Aguilar, E, Falconi, J, Ibáñez, M.,... Lorenzo, C. (2008). Field performance of new in vitro androgenesis- derived double haploids of barley. *Euphytica journal*, 166(2), 269-276.

Guerrero, J, Vallejo, M., & Betancourth, C. (2008). Evaluación de 16 selecciones de quinoa dulce (*Chenopodium quinoa* Willd) en el municipio de Guaitarilla, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 25(1,2), 130-149. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305347362_EVALUACION_DE_16_SELECCIONES_DE_QUINUA_DULCE_Chenopodium_quinoa_Willd_EN_EL_MUNICIPIO_DE_GUAITARILLA_NARINO1

Henríquez, P. (2002). *Glosario de términos útiles para el manejo de los recursos filogenéticos*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B1154e/B1154e.pdf>

Hernández, J. (2015). La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus. *Revista Cubana de Endocrinología*, 26(3). Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/end/v26n3/end10315.pdf>

Herrera, A. (2000). *Clasificación numérica y su aplicación en la ecología*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=1aH3OzrIY0C&pg=PA32&dq=distancia+euclidiana&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9yZSglZPRAhXB5iYKHQRiCBAQ6AEIITAB#v=onepage&q=distancia%20euclidiana&f=false>

Husson, F., Josse, J., Le, S., & Mazet, J. (2018). *FactoMineR: Multivariate exploratory data analysis and data mining*. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) & Cooperativa Técnica Alemana (GTZ). (2000). *Manual de Producción de Quinoa de Calidad en el Ecuador*. Recuperado de <http://biblioteca.iica.int/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=31029>

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2017). Recuperado de <http://www.itis.gov>.

Jacobsen, S. (2002). *Cultivos de granos andinos en Ecuador*. Quito: Editorial Abya Yala.

Jarvis, D., Ho, Y., Lightfoot, D., Schmöckel, S., Li, B., Borm, T., & Kharbatia, N. (2017). The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature*, 542(7641), 307. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/nature21370>

Juárez, D. & Jiménez, O. (2013). *Manual práctico para el manejo de germoplasma de granos básicos*. Recuperado de www.inta.gob.ni/.../Manual%20de%20Manejo%20de%20Germoplasma%202013.pdf

Magallanes, C. (2015). La heredabilidad en las ciencias del deporte: entendidos y malentendidos. *Revista Universitaria de la Educación Física y el Deporte*, 4,13-19. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5826376>

Mendoza, V. (2013). *Comparativo de accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de costa central* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2014). *Quinua: Un futuro sembrado hace miles de años*. Recuperado de http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/cquinua/libro_año_internacional_de_la_quinua_2013.pdf

Mujica, A. (1988). *Parámetros genéticos e índices de selección en quinua (Chenopodium quinoa Willd.)* [Tesis de Doctorado]. Colegio de postgrado Montecillo de México.

Mujica, A. & Jacobsen, S. (2000). *Agrobiodiversidad de las aynokas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y la seguridad alimentaria*. Seminario Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica.

Mujica, A. & Jacobsen, S. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 32, 449-457. Recuperado de <https://docplayer.es/20799107-Angel-mujica-1-sven-e-jacobsen-2.html>

Mujica, A, Jacobsen, S, Aguilar P., Ortiz, R & Ames, T. (1999). *Cultivo de Quinua*. Puno: Centro Internacional de la Papa (CIP), Danish International Development Agency (DANIDA), Universidad Nacional del Altiplano (UNA).

Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J, & Marathee, J. (2001). *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Recuperado de <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/home03.html>

Mujica, A., Mamani, Z., Apaza, Z., Chambi, W., Cutipa, S., Tito, F,... Ramos, E. (2014). *Fenología campesina de la quinua*. Recuperado de [quinua.pe/wpcontent/uploads/2014/02/quinua.pdf](http://www.minagri.gob.pe/wpcontent/uploads/2014/02/quinua.pdf)

Núñez-Colín, C., & Escobedo-López, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(1), 1-6. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6201345.pdf>

León, H. (2003). *Cultivo de la quinua en Puno-Perú. Descripción, manejo y producción*. Universidad Nacional del Altiplano.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *Portal terminológico de la FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/faoterm/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Recuperado de www.fao.org/3/a-i3704s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2001). *Conservación in situ de recursos genéticos*. Santiago de Chile: Oficina regional de la FAO para América latina y el Caribe.

Orosco, M. (2016). Distancia adecuada de siembra mecanizada de quinua para condiciones del Altiplano Central de Bolivia. *Revista Científica de Investigación Info-Iniaf*, 1(8), 81-89. Recuperado de <http://200.87.123.100/ojs/index.php/Info-Iniaf/article/view/93>

Pierce, B. (2009). *Genética: Un enfoque conceptual*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ALR9bgLtFhYC&dq=alotetraploide+definici%C3%B3n&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Pistorale, S., Abbott, L., & Andrés, A. (2008). Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. *Ciencia e investigación agraria*, 35(3), 259-264. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202008000300003

Planella, M., López, M. & Bruno, M. (2014). La Domesticación y Distribución Prehistórica. En: Bazile, D., Bertero, H., & Nieto, C. (Ed.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Recuperado de www.fao.org/3/a-i4042s.pdf

Quiroga, C & Escalera, R. (2011). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor. *Revista Investigación & Desarrollo*, 1(10). Recuperado de <https://www.revistavirtualpro.com/download/evaluacion-de-la-calidad-nutricional-y-morfologia-del-grano-de-variedades-amargas-de-quinua-beneficiadas-en-seco-mediante-el-novedoso-empleo-de-un-reactor-de-lecho-fluidizado-de-tiposurtidor>

Quispe, L. (2015). *Evaluación de potencial de rendimiento y calidad de líneas mutantes de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) var. Pasankalla en condiciones de costa central* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Repo, R., Espinoza, C. & Jacobsen, S. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19 (1-2), 179 – 189.

Reyes, E., Ávila, D. & Guevara, J. (2006). Componente nutricional de diferentes variedades de quinua de la región Andina. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 5, 86-97. Recuperado de http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-5/r5_art10.pdf

Rojas, W. (2003). Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germoplasm. *Food Reviews International*, 19 (1-2), 9-23.

Rojas, W., & Pinto, M. (2013). La diversidad genética de quinua de Bolivia. En: Vargas, M. (Ed.). *Congreso Científico de la Quinua* (pp. 77-92).

Rojas, W., & Pinto, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 114-124. Recuperado de www.proinpa.org/VallesNorte/index.../37-quinua?...la-diversidad...quinua-de-bolivia

Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez, L., Leon-Lobos, P., Alercia, A.,... Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua. En: Bazile, D., Bertero, H., & Nieto, C. *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 65-94).

Rosas, G. (2015). *Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo dos sistemas de cultivo en La Unión-Leticia Tarma* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Sánchez, MDR. (2015). *Identificación preliminar de líneas mutantes de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) con mayor eficiencia en el uso de nitrógeno* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Sañudo, B., Arteaga, G., Betancourth, C., Zambrano, J., & Burbano, E. (2005). *Perspectivas de la quinua dulce para la región andina de Nariño*. Pasto: Unigraf.

Stevens, P. & Davis, H. (2001). Angiosperm phylogeny website. Recuperado de <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/welcome.html>

Tapia, M. (1979). *Cultivos andinos: La quinua y kañiwa*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=FfemqEmGXysC&printsec=frontcover&dq=libro+genetica+y+mejoramiento+de+cultivos+altoandinos+quinua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifKPb8uXcAhXCxFkKHVosAWMQ6AEINTAD#v=onepage&q&f=false>

Tapia, M. (1996). *Eco desarrollo en los Andes*. Lima: Fundación Friedrich Ebert.

Villacrés, E., Peralta, E., Egas, L., & Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/239>

Villardón, J. (2007). *Introducción al análisis de clúster*. Recuperado de <http://benjamindespensa.tripod.com/spss/AC.pdf>

Wahli, C. (1990). *Quinoa hacia su cultivo comercial*. Quito: Latinreco.

Ward, S. (2000). Allotetraploid segregation for single-gene morphological characters in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Euphytica*, 116(1), 11-16. Recuperado de <https://eurekamag.com/pdf/003/003355093.pdf>

Wilson, H., & Heiser Jr, C. (1979). The origin and evolutionary relationships of 'huauzontle' (*Chenopodium nuttalliae* Safford), domesticated chenopod of Mexico. *American Journal of Botany*, 66(2), 198-206. Recuperado de https://www.jstor.org/stable/2442525?seq=1#page_scan_tab_contents

VIII.ANEXOS

ANEXO 1: Código de la coloración en grano (pericarpo y episperma)

	Código	Color
	14.1	AMARILLO 8 A
	14.2	AMARILLO 8 B
	14.3	AMARILLO 9 B
	14.4	AMARILLO 10 A
	14.5	AMARILLO 10 C
	14.6	AMARILLO 10 D
	14.7	AMARILLO 11 B
14	14.8	AMARILLO 11 C
	14.9	AMARILLO 11 D
	14.10	AMARILLO 12 A
	14.11	AMARILLO 12 C
	14.12	AMARILLO 12 D
	14.13	AMARILLO 13 A
	14.14	AMARILLO 13 B
	14.15	AMARILLO 13 C
	14.16	AMARILLO 13 D
	15.1	AMARILLO BLANCO 158 A
15	15.2	AMARILLO BLANCO 158 B
	15.3	AMARILLO BLANCO 158 C
	15.4	AMARILLO BLANCO 158 D
	16.1	AMARILLO NARANJA 14 A
	16.2	AMARILLO NARANJA 14 B
	16.3	AMARILLO NARANJA 14 D
	16.4	AMARILLO NARANJA 16 C
	16.5	AMARILLO NARANJA 16 D
	16.6	AMARILLO NARANJA 17 A
	16.7	AMARILLO NARANJA 18 A
	16.8	AMARILLO NARANJA 18 B
	16.9	AMARILLO NARANJA 18 C
	16.10	AMARILLO NARANJA 18 D
16	16.11	AMARILLO NARANJA 19 A
	16.12	AMARILLO NARANJA 19 B
	16.13	AMARILLO NARANJA 19 C
	16.14	AMARILLO NARANJA 19 D
	16.15	AMARILLO NARANJA 20 A
	16.16	AMARILLO NARANJA 20 B
	16.17	AMARILLO NARANJA 20 C
	16.18	AMARILLO NARANJA 21 A
	16.19	AMARILLO NARANJA 21 B
	16.20	AMARILLO NARANJA 21 C
	16.21	AMARILLO NARANJA 22 A
	16.22	AMARILLO NARANJA 23 A

ANEXO 1: Continuación...

	Código	Color
16	16.23	AMARILLO NARANJA 23 B
	16.24	AMARILLO NARANJA 169 C
17	17.1	BLANCO 155 A
	17.2	BLANCO 155 B
	17.3	BLANCO 155 D
18	18.1	BLANCO NN155 A
	18.2	BLANCO NN155 B
	18.3	BLANCO NN155 C
19	19.1	GRIS 201 C
	19.2	GRIS 201 D
20	20.1	GRIS AMARILLO 161 A
	20.2	GRIS AMARILLO 161 C
	20.3	GRIS AMARILLO 161 D
	20.4	GRIS AMARILLO 162 A
	20.5	GRIS AMARILLO 162 B
	20.6	GRIS AMARILLO 162 C
	20.7	GRIS AMARILLO 162 D
21	21.1	GRIS BLANCO 156 A
	21.2	GRIS BLANCO 156 C
	21.3	GRIS BLANCO 159 A
	21.4	GRIS BLANCO 159 C
22	22.1	GRIS MARRÓN 199 A
	22.2	GRIS MARRÓN 199 C
	22.3	GRIS MARRÓN 199 D
23	23.1	GRIS MARRÓN N199 B
	23.2	GRIS MARRÓN N199 C
	23.3	GRIS MARRÓN N199 D
24	24.1	GRIS NARANJA 163 A
	24.2	GRIS NARANJA 163 C
	24.3	GRIS NARANJA 163 D
	24.4	GRIS NARANJA 164 A
	24.5	GRIS NARANJA 164 B
	24.6	GRIS NARANJA 164 C
	24.7	GRIS NARANJA 164 D
24	24.8	GRIS NARANJA 165 A
	24.9	GRIS NARANJA 165 B
	24.10	GRIS NARANJA 165 C
	24.11	GRIS NARANJA 165 D
	24.12	GRIS NARANJA 166 A
	24.13	GRIS NARANJA 166 B
	24.14	GRIS NARANJA 166 C
	24.15	GRIS NARANJA 166 D

ANEXO 1: Continuación...

	Código	Color
	24.16	GRIS NARANJA 167 A
	24.17	GRIS NARANJA 169 B
	24.18	GRIS NARANJA 169 C
	24.19	GRIS NARANJA 172 A
	24.20	GRIS NARANJA 172 B
	24.21	GRIS NARANJA 172 D
	24.22	GRIS NARANJA 174 B
24	24.23	GRIS NARANJA 175 A
	24.24	GRIS NARANJA 175 B
	24.25	GRIS NARANJA 175 C
	24.26	GRIS NARANJA 176 A
	24.27	GRIS NARANJA 176 C
	24.28	GRIS NARANJA 177 A
	24.29	GRIS NARANJA 177 B
	24.30	GRIS NARANJA 177 C
	24.31	GRIS NARANJA 177 D
	25.1	GRIS NARANJA N163 B
	25.2	GRIS NARANJA N163 C
25	25.3	GRIS NARANJA N167 A
	25.4	GRIS NARANJA N167 D
	25.5	GRIS NARANJA N170 A
	26.1	GRIS PÚRPURA 184 A
	26.2	GRIS PÚRPURA 184 C
26	26.3	GRIS PÚRPURA 185 A
	26.4	GRIS PÚRPURA 185 B
	26.5	GRIS PÚRPURA 186 A
	26.6	GRIS PÚRPURA 187 B
	27.1	GRIS PÚRPURA N186 A
	27.2	GRIS PÚRPURA N187 A
27	27.3	GRIS PÚRPURA N187 B
	27.4	GRIS PÚRPURA N187 D
	28.1	GRIS ROJO 178 B
28	28.2	GRIS ROJO 179 B
	29.1	GRIS VERDE 197 A
	29.2	GRIS VERDE 197 C
29	29.3	GRIS VERDE 197 D
	29.4	GRIS VERDE 198 D
	30.1	MARRÓN 200 A
30	30.2	MARRÓN 200 B
	30.3	MARRÓN 200 C
	31.1	MARRÓN N200 A
31	31.2	MARRÓN N200 B

ANEXO 1: Continuación...

	Código	Color
31	31.3	MARRÓN N200 C
	31.4	MARRÓN N200 D
32	32.1	NARANJA 24 A
	32.2	NARANJA 25 B
	32.3	NARANJA 28 B
	33.1	NARANJA BLANCO 159 A
33	33.2	NARANJA BLANCO 159 B
	33.3	NARANJA BLANCO 159 C
	33.4	NARANJA BLANCO 159 D
34	34.1	NARANJA N25 A
	34.2	NARANJA N25 B
35		NARANJA ROJO 35 A
36	36.1	NEGRO 202 A
	36.2	NEGRO 202 D
	36.3	NEGRO 203 A
	36.4	NEGRO 203 B
37	37.1	ROJO 46 A
	37.2	ROJO 48 A
	37.3	ROJO 53 B
	37.4	ROJO 53 C
	37.5	ROJO 56 D
	38.1	ROJO PÚRPURA 58 A
	38.2	ROJO PÚRPURA 60 A
38	38.3	ROJO PÚRPURA 60 B
	38.4	ROJO PÚRPURA 60 D
	38.5	ROJO PÚRPURA 61 A
	38.6	ROJO PÚRPURA 61 B
	38.7	ROJO PÚRPURA 63 B

ANEXO 2: Matriz de datos

ID	Código de plantas seleccionadas de cada accesión	CPF	Color de panoja en floración
PR	Presencia de ramificación	FP	Forma de panoja
CT	Color de tallo	DP	Densidad de panoja
CE	Color de estrías	ALT	Altura (cm)
Cax	Color de axilas.	Mildiu	Porcentaje de área foliar afectada (severidad)
FHT	Forma de hoja de tallo	p_pnj	Peso por panoja (g)
FHP	Forma de hoja de panoja	p_1000g	Peso de 1000 granos (g)
BH	Borde de hoja	prt	Porcentaje de proteínas
ND	Número de dientes	spn	Porcentaje de saponina
CP	Color de peciolo	clp	Color de pericarpo
CLF	Color de Lámina foliar	cde	Color de episperma

ANEXO 3: Lista de accesiones de quinua (*Ch. quinoa*) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el grupo I de similitud.

GRUPO	Accesión					
I	40A	54	364	372	380	388
	48A	55A	365	373	381	389
	48B	55B	366	374	382	390
	49	244B	367	375	383	391
	50A	267B	368	376	384	394
	50B	278	369	377	385	
	51	355	370	378	386	395
	53	357	371	379	387	

ANEXO 4: Lista de accesiones de quinua (*Ch. quinoa*) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el grupo II de similitud.

GRUPO		Accesión				
II	3B	58	94	156A	255	311
	4A	59	96	156B	267A	313
	4B	60	100	172	269A	316
	9	61	115A	174	269B	317
	12	62	115B	176	270	321
	24A	63	116	178	273B	330
	24B	67	122	185	275	336
	26B	70	123A	186	288	338
	32A	71	123B	202	292A	339
	32B	73	141	203	292B	341
	33A	76B	147B	208	295	361A
	33B	77	148A	217	299	361B
	34	80	148B	221	302	362
	35	83A	151	222A	303A	
	39	86	152A	222B	303B	397
	40B	90	154A	234	309B	
	45	91	154B	250	310A	402
	46	92	155	251	310B	

ANEXO 5: Lista de accesiones de quinua (*Ch. quinoa*) del Banco de germoplasma de la UNALM que conforman el III grupo de similitud.

GRUPO		Accesión				
III	1	76A	137	195	249A	315
	2	78	138	196	249B	318
	3A	79	139	197	252	319A
	5	81A	140	198	253A	319B
	6A	81B	142	199	253B	320
	6B	82A	143A	200	254A	322
	7	82B	143B	201	254B	323
	8	83B	144	204	256	324
	10	84	145	205	257	325
	11	85	146A	206	258	326

ANEXO 5: Continuación

GRUPO	Accesión						
	13	66	121	170	224	268	329
	14A	68	124	171	225A	271	331
	14B	69A	125	173	225B	272	332
	15	69B	126	175	226A	273A	333
	16A	72	127	177	226B	274	334
	16B	74	128	179	227	276A	335
	17	75	129	180	228	276B	337
	18	87	130	181A	229	277	340
	19	88	131	181B	230	279	342
	20	89	132	182	231	280	343
	21	93	133	183	232	281	344
	22A	95	134	184	233	282	345
	22B	97	135	187A	235	283	346
	23	98	136	187B	236	284	347
	25	99	146B	188	237	285	348
	26A	101	147A	189	238	286	349
	27A	102	149A	190	239	287	350
	27B	103	149B	191	240	289	351
III	28	104	150	192	241	290	352
	29A	105	152B	193	242	291	353
	29B	106	153A	194	243A	293	354
	30	107A	153B	207	243B	294	356
	31	107B	157A	209	244A	296	358
	36	107C	157B	210A	245	297	359
	37	108	158	210B	246A	298	360A
	38	109A	159	211	246B	300	360B
	41	109B	160A	212	247	301	363
	42	110	160B	213	248	304	392A
	43A	111	161	214	259	305	392B
	43B	112	162	215A	260	306	393
	44	113	163	215B	261	307	396
	47	114A	164	216	262	308	398
	52	114B	165	218	263	309A	399
	56	117	166	219	264	312	400A
	57	118	167	220	265	314	400B
	64	119	168	223A	266A	327	401A
	65	120	169	223B	266B	328	401B

ANEXO 6: Distancias euclidianas de las 402 accesiones (de menor a mayor distancia)

Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana
1	0.88	149B	1.08	276B	1.16
111	0.91	193	1.08	121	1.17
82B	0.95	194	1.09	76A	1.17
153B	0.95	137	1.09	26B	1.17
351	0.95	36	1.09	182	1.17
215B	0.96	203	1.09	127	1.18
130	0.98	326	1.10	277	1.18
135	0.98	205	1.10	314	1.19
124	0.99	56	1.10	11	1.19
17	1.00	108	1.11	215A	1.19
213	1.00	159	1.11	122	1.19
68	1.01	358	1.12	92	1.20
336	1.01	109B	1.12	303A	1.20
149A	1.02	188	1.12	218	1.20
69B	1.02	364	1.12	66	1.20
281	1.02	325	1.12	285	1.20
337	1.04	254B	1.12	200	1.20
65	1.04	99	1.12	243B	1.20
153A	1.05	63	1.13	282	1.20
349	1.05	199	1.13	46	1.21
27A	1.05	178	1.13	284	1.21
24A	1.05	305	1.13	216	1.21
350	1.05	107C	1.13	189	1.21
10	1.05	399	1.13	110	1.21
295	1.06	360A	1.14	300	1.21
344	1.06	83A	1.14	139	1.21
150	1.06	64	1.14	102	1.21
72	1.06	312	1.14	198	1.21
254A	1.06	113	1.15	133	1.21
70	1.07	195	1.15	9	1.21
191	1.07	109A	1.15	55B	1.21
112	1.07	192	1.15	12	1.21
61	1.07	276A	1.15	265	1.22
235	1.08	164	1.15	335	1.22
202	1.08	105	1.15	260	1.22
103	1.08	106	1.16	152A	1.22
157A	1.08	360B	1.16	62	1.22

ANEXO 6: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana
125	1.22	69A	1.27	315	1.30
58	1.22	347	1.27	268	1.30
88	1.22	151	1.27	227	1.30
269A	1.22	269B	1.27	27B	1.30
120	1.22	15	1.27	244B	1.30
57	1.22	6A	1.27	77	1.30
181A	1.22	157B	1.27	142	1.30
255	1.23	345	1.27	30	1.31
59	1.23	219	1.27	40B	1.31
82A	1.23	128	1.27	76B	1.31
348	1.23	272	1.28	136	1.31
233	1.23	377	1.28	3A	1.31
220	1.23	73	1.28	273B	1.31
181B	1.24	97	1.28	175	1.31
397	1.24	3B	1.28	293	1.31
204	1.24	393	1.28	129	1.31
212	1.24	19	1.28	44	1.32
138	1.24	107B	1.28	309A	1.32
270	1.24	317	1.28	104	1.32
42	1.24	240	1.28	4B	1.32
196	1.24	134	1.28	156B	1.32
190	1.24	329	1.29	143B	1.32
237	1.24	359	1.29	119	1.32
52	1.25	6B	1.29	91	1.32
41	1.25	28	1.29	247	1.32
327	1.25	50A	1.29	292A	1.33
398	1.26	84	1.29	241	1.33
341	1.26	43A	1.29	263	1.33
343	1.26	20	1.29	71	1.33
361B	1.26	107A	1.29	342	1.33
279	1.26	296	1.29	283	1.33
154A	1.26	115A	1.30	294	1.33
290	1.26	144	1.30	318	1.33
340	1.26	14B	1.30	23	1.33
50B	1.26	47	1.30	79	1.33
330	1.27	328	1.30	346	1.34
197	1.27	298	1.30	252	1.34

ANEXO 6: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana
101	1.34	67	1.37	266A	1.40
8	1.34	352	1.37	225A	1.40
302	1.34	266B	1.37	5	1.40
316	1.34	40A	1.38	222A	1.40
286	1.34	232	1.38	381	1.41
278	1.34	304	1.38	242	1.41
201	1.34	172	1.38	253B	1.41
244A	1.35	179	1.38	332	1.41
37	1.35	256	1.38	80	1.41
267B	1.35	89	1.38	160A	1.41
146A	1.35	297	1.38	238	1.41
141	1.35	169	1.38	39	1.41
7	1.35	32A	1.38	180	1.41
301	1.35	38	1.38	145	1.41
307	1.35	83B	1.38	253A	1.41
185	1.35	331	1.38	306	1.41
292B	1.35	323	1.38	2	1.41
214	1.35	32B	1.38	85	1.42
264	1.36	262	1.39	35	1.42
291	1.36	357	1.39	86	1.42
45	1.36	26A	1.39	248	1.42
132	1.36	60	1.39	148A	1.42
230	1.36	117	1.39	400A	1.42
251	1.36	245	1.39	223B	1.42
131	1.36	288	1.39	221	1.42
163	1.36	367	1.39	287	1.42
165	1.36	223A	1.39	29A	1.42
140	1.36	363	1.39	94	1.42
246B	1.36	22B	1.39	395	1.42
311	1.36	257	1.39	224	1.43
258	1.37	236	1.39	239	1.43
362	1.37	95	1.40	313	1.43
303B	1.37	396	1.40	123A	1.43
229	1.37	123B	1.40	261	1.43
176	1.37	174	1.40	4A	1.43
273A	1.37	308	1.40	310B	1.43
226A	1.37	143A	1.40	333	1.43

ANEXO 6: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana	Accesión	Distancia euclidiana
375	1.43	379	1.47	96	1.51
147B	1.43	186	1.47	401B	1.52
246A	1.43	383	1.47	206	1.52
184	1.43	166	1.47	365	1.52
148B	1.43	384	1.48	392A	1.52
338	1.44	14A	1.48	211	1.52
156A	1.44	187A	1.48	324	1.53
243A	1.44	334	1.48	22A	1.53
354	1.44	100	1.48	249B	1.54
21	1.44	267A	1.48	271	1.54
400B	1.44	155	1.48	319A	1.54
24B	1.44	126	1.48	210A	1.55
154B	1.44	158	1.48	387	1.55
234	1.44	116	1.48	322	1.55
390	1.44	391	1.48	207	1.55
402	1.45	29B	1.48	187B	1.56
13	1.45	319B	1.48	339	1.56
74	1.45	87	1.48	209	1.56
55A	1.45	280	1.49	118	1.56
93	1.45	356	1.49	289	1.56
310A	1.45	320	1.49	376	1.56
43B	1.45	49	1.49	16B	1.57
392B	1.46	162	1.49	226B	1.57
171	1.46	355	1.50	114A	1.57
170	1.46	231	1.50	369	1.57
259	1.46	371	1.50	368	1.57
146B	1.46	81B	1.50	210B	1.57
78	1.46	33B	1.50	401A	1.57
353	1.46	250	1.50	152B	1.57
16A	1.46	173	1.50	249A	1.58
309B	1.46	177	1.51	374	1.58
147A	1.46	160B	1.51	81A	1.59
90	1.47	167	1.51	168	1.59
378	1.47	25	1.51	161	1.59
208	1.47	274	1.51	48B	1.59
394	1.47	361A	1.51	33A	1.59
98	1.47	217	1.51	115B	1.60

ANEXO 6: Continuación

Accesión	Distancia euclidiana
373	1.60
51	1.60
31	1.60
18	1.60
299	1.60
228	1.60
370	1.61
275	1.62
114B	1.62
385	1.63
75	1.64
54	1.64
183	1.65
366	1.67
34	1.68
321	1.69
380	1.69
389	1.70
225B	1.71
386	1.71
382	1.74
388	1.76
222B	1.77
48A	1.80
372	1.82
53	1.86