

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS Y AGRONÓMICAS DE LA QUINUA SILVESTRE (*Chenopodium quinoa* spp.) DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

Evaluation of the phenological and agronomic characteristics of the wild quinoa (*Chenopodium quinoa* spp.) from the bolivian altiplano

Ximena Monica Onofre Quenta¹, Alejandro Bonifacio Flores²

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en ambientes de invernadero del Centro de Investigación Kiphakiphani dependiente de la Fundación PROINPA, el objetivo fue evaluar las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre (*Chenopodium* spp.), para generar información aprovechable en programas de mejoramiento genético y probable manejo de los parientes silvestres. El material genético estudiado consistió de variedades botánicas y especies silvestres en las cuales se evaluó los días transcurridos a las fases fenológicas, hábito de crecimiento, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panza, peso de grano caído por dehiscencia, índice de cosecha, diámetro y espesor de grano, peso hectolítico y viabilidad de semilla. Se empleó el diseño bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados muestran que existen diferencias entre variedades. La V2 (Escape 28-06-18 Orinoca) emergió en menor número de días (5.35 días), la V2 (Escape 28-06-18 Orinoca) alcanzó la ramificación a los 33.45 días, la V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) floreció a los 70.15 días transcurridas desde la siembra y la V4 llegando a la madurez en 138.25 días siendo la más precoz. La V1 (*Chenopodium* spp.) registró rebrote en 30.6 días después de la cosecha mostrando ser de ciclo plurianual o perenne. La V1 (*Chenopodium* spp.) alcanzó mayor altura con 67.05 cm, en diámetro de tallo V0 (Jacha Grano) fue superior con 0.47 cm y la mayor longitud de panza alcanzó la V5 (Ajara 12 Lloco púrpura) con 19.60 cm. La dehiscencia del grano fue mayor en V1 con 0.15 g de grano caído por planta, en índice de cosecha sobresalen la V7 (Ajara Tarachullpa verde 2018) y V9 (Ajara Ayamaya 2), en tamaño de grano fue superior la V0 (Jacha Grano) con 2.21 mm de diámetro y 1.01 mm de espesor, el peso hectolítico fue superior en V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) con 75.16 kg HI⁻¹. Finalmente, V8 (Ajara Ayamaya 1), V9 (Ajara Ayamaya 2) y V0 (Jacha Grano) registraron 100 % de germinación superando a las demás variedades botánicas de quinua. En conclusión, la quinua silvestre o ajara presenta características fenológicas y agronómicas de amplia diversidad ofreciendo opciones de aprovechamiento en el manejo de la quinua silvestre y en mejoramiento genético para la precocidad y crecimiento perenne de la quinua.

Palabras clave: Quinua silvestre (*Chenopodium quinoa* spp.), diversidad fenológica, diversidad agronómica.

ABSTRACT

The study was carried out in the greenhouse of the Kiphakiphani Research Center belonging to PROINPA Foundation, the objective was to evaluate the phenological and agronomic characteristics of wild quinoa (*Chenopodium* spp.), To generate useful information for genetic improvement of quinoa and for management options of wild relatives. The genetic material consisted of botanical varieties and wild species of quinoa. In this genetic material the number of days passed to different phenological phases, growth habit, plant height, stem diameter, panicle length, weight of grain from seed shattering, harvest index, seed diameter and thickness, volumetric seed weight and seed viability were evaluated. The randomized blocks experimental design with four repetitions was used. The results showed differences between varieties. In seedling emergency phase, V2 (Escape 06-28-18 Orinoca) emerged in fewer days (5.35 days). V2 (Escape 06-28-18 Orinoca) had fewer days (33.45 days) for ramification. Earliest flowering had V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) with 70.15 days after sowing (DAS); and V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) reached physiological maturity to 136.35 DAS, being the earliest one. V1 (*Chenopodium* spp.) exhibited regrowth in 30.6 days after harvest, showing that it had a multiannual cycle or perennial. In plant height, V1 (*Chenopodium* spp.) had the highest height with 67.05 cm. The largest stem diameter was recorded in V0 (Jacha Grano) with 0.47 cm. The V5 (Ajara 12 Lloco purple) had the longest panicle length (19.60 cm). Regarding the grain weight from shattering, V1 had a higher dehiscence with 0.15 g per plant. For the harvest index (HI), V7 (Ajara Tarachullpa verde 2018) and V9 (Ajara Ayamaya 2) were the ones with the highest HI of 0.42. V0 (Jacha Grano) had grains with larger diameter (2.21 mm). The largest grain thickness was recorded in V0 (Jacha Grano) with 1.01 mm. The highest volumetric weight was for V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) with 75.16 kg HI⁻¹. The highest germination rate (100 %) was registered for V8 (Ajara Ayamaya 1), V9 (Ajara Ayamaya 2) and V0 (Jacha Grano) and were higher than those of improved quinoa varieties. In conclusion, wild quinoa or ajara has phenological characteristics and agronomic crops of wide diversity offering options of use in the management of wild quinoa and in Genetic improvement for the earliness and perennial growth of quinoa.

Keywords: Wild quinoa (*Chenopodium quinoa* spp.), phenological stages, regrowth of wild quinoa.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. moni-g269@hotmail.com

²✉ Investigador en Cultivos Andinos, Proinpa; Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. abonifacio@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

Según Vincent et al. (2013), los parientes silvestres de los cultivos albergan caracteres de interés para contribuir al mejoramiento genético. Asimismo, Rojas y Pinto (2013), mencionan que las especies silvestres tienen genes que pueden ayudar a la adaptación del cultivo a diversos cambios del clima y elevar el valor nutricional. Las variedades de quinua silvestre se encuentran distribuidas en los países de la región andina, algunas de las especies silvestres presentan resistencia a plagas y enfermedades, es por ello el interés en las especies silvestres para el mejoramiento genético de la quinua cultivada (VMABCC-BIOVERSITY, 2009).

La quinua silvestre en la región andina recibe diferentes nombres comunes en idioma nativo (Aymara y Quechua) "aara", "ajara" o "ch'iwa". La denominación de "Ajara del Altiplano" hace referencia a la quinua silvestre de la región del altiplano de los departamentos de Oruro y Potosí (Mamani et al., 2009). De acuerdo a Mamani et al. (2013), la quinua silvestre crece con frecuencia en los campos agrícolas, en los bordes de las parcelas de quinua, haba, avena y cebada; sin embargo, en parcelas de tubérculos se encuentran en menor cantidad debido a que se realizan labores de deshierbe.

Según Mamani et al. (2009) la ajara del altiplano es de ciclo anual, llega a medir 80 cm, 15 ramas por planta como promedio, axilas pigmentadas, hoja romboidal, en la madurez la panoja se torna de un color amarillo o rosado, semillas de color café oscuro que mide de 1.5 hasta 1.7 mm, presenta pérdida de grano por dehiscencia y llega a la madurez entre 3.5 a 6.0 meses. Por su lado Miranda (2010), menciona que los granos de quinua silvestre suelen ser duros y picantes, para poder extraer la saponina se la debe lavar de tres a cuatro veces más que la quinua cultivada.

Rojas et al. (2010) indican que los granos andinos son fuente natural de proteínas. Para Torrez et al. (2002), la Ajara (variedad silvestre) presenta un mayor porcentaje de fibra con 12.16 % en relación a otras variedades, las variedades Ajara y Real Blanca presenta un contenido aproximado del 18 %. De acuerdo a Mamani et al. (2013) los granos de quinua y hojas son utilizados desde hace miles de años atrás por los agricultores siendo utilizada para alimentación y medicina. Flores et al. (2008), mencionan que los granos son lavados y molidos para la elaboración de

cistina negra (galleta andina en idioma Aymara) que es consumida por los pobladores rurales de Oruro y Potosí. También se los puede utilizar para elaborar chicha de ajara (Miranda, 2010).

Las investigaciones de la quinua silvestre o ajara son escasos, Mujica y Jacobsen en 2006 describieron a la quinua y sus parientes silvestres incluyendo especies botánicas. Flores et al. en 2008 presentaron la ficha técnica sobre los usos de la quinua silvestre, Mamani et al. (2009 y 2013) reportaron sobre la ajara del altiplano en relación a la conservación como recurso genético. Por su parte, Fernández y Sahonero (2013) reportaron la viabilidad de la semilla de taxones de quinua silvestre, y Huacara en 2014 presentó las características agronómicas de un ecotipo de ajara. Sin embargo, la información sobre la precocidad, tamaño de grano, dehiscencia y peso hectolítico del grano, que son caracteres de interés para el manejo y mejoramiento genético de la ajara no es disponible. Por tanto, se ha planteado investigar las características fenológicas y agronómicas de la colección de trabajo de ajara con los siguientes objetivos específicos: a) evaluar el hábito de crecimiento de la quinua silvestre, b) determinar las fases fenológicas de las plantas a lo largo del ciclo productivo, c) determinar el ciclo anual o plurianual de la quinua silvestre, d) describir las características agronómicas de la quinua silvestre y e) determinar el tamaño de grano, peso hectolítico y viabilidad de semilla cosechada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El presente trabajo se realizó en la gestión 2019 en el Centro de Investigación Kiphakiphani dependiente de la fundación PROINPA, la cual está ubicada en el municipio de Viacha provincia Ingavi del departamento de La Paz, se encuentra a una altitud de 3 850 m s.n.m.

Metodología

El material genético utilizado fue la semilla de quinua de crecimiento espontáneo conocido como ajara (silvestre o semi silvestre) recolectada del Altiplano Boliviano (*Chenopodium quinoa* var. *Melanospermum*, la quinua silvestre *Chenopodium* spp.) y como testigo la variedad comercial Jacha Grano. Al considerar como factor o fuente de variación en el análisis estadístico, se denominó variedad en un sentido de variedad botánica.

Se realizaron actividades previas como ser:

Registro de quinua silvestre recolectada en el libro de campo con las siguientes especificaciones:

V0 - Jacha Grano: fue producida en el Centro de Investigación Kiphakiphani, municipio de Viacha (3 840 m s.n.m.).

V1 - *Chenopodium* spp.: fue recolectada en campo natural en el Altiplano Sur, departamento de Potosí, provincia Antonio Quijarro, municipio Uyuni, a 4 070 m s.n.m.

V2 - Escape 28-06-18 Orinoca: fue recolectada en parcelas en descanso o del Altiplano Sur, departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, municipio Santiago de Andamarca, distrito Orinoca, donde los cultivos preponderantes son papa, quinua, la localidad se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V3 - Ajara Tarachullpa rojo: fue recolectada en parcelas en descanso del Altiplano Sur, departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, distrito Orinoca, comunidad Tarachullpa, siendo el cultivo preponderante la quinua. La localidad se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V4 - Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018: fue recolectada en el Altiplano Sur, departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, distrito Orinoca, Ayllu Sullca, comunidad Tarachullpa, el cultivo preponderante es la quinua, la localidad se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V5 - Ajara 12 Lloco púrpura 2018: fue recolectada en el Altiplano Sur en el departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, distrito Orinoca, Ayllu Collana, comunidad Lloco, los cultivos preponderantes son papa, quinua, se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V6 - Ajara 13 Lloco verde 2018: fue recolectada en el Altiplano Sur en el departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, distrito Orinoca, Ayllu Collana, comunidad Lloco, los cultivos preponderantes son papa, quinua, se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V7 - Ajara Tarachullpa verde 2018: fue recolectada en el Altiplano Sur, departamento de Oruro, Provincia Sur Carangas, distrito Orinoca, Ayllu Sullca, comunidad Tarachullpa, el cultivo preponderante es la quinua, se encuentra a 3 709 m s.n.m.

V8 - Ajara Ayamaya 1: fue recolectada en el Altiplano Central, departamento de La Paz, provincia Aroma, municipio Sica Sica, comunidad Ayamaya, crece junto a especies forrajeras nativas y la quinua, se encuentra a 3 627 m s.n.m.

V9 - Ajara Ayamaya 2: fue recolectada en el Altiplano Central, departamento de La Paz, provincia Aroma, municipio Sica Sica, comunidad Ayamaya, se encuentran especies forrajeras, nativas y la quinua, se encuentra a 3 627 m s.n.m.

V10 - Orinoca 28 de junio 2018: fue recolectada en el Altiplano Sur, departamento de Oruro, provincia Sur Carangas, municipio Santiago de Andamarca, distrito Orinoca, los cultivos preponderantes son papa, quinua, se encuentra a 3 709 m s.n.m.

El material genético asignado a los tratamientos V2 al V10 provienen de parcelas en descanso y campos abandonados al ser consideradas improductivas (suelo cansado).

Se evaluó la viabilidad de las semillas de quinua silvestre mediante la prueba de germinación por el método estándar placa Petri. El registro del porcentaje de germinación fue de forma diaria durante 10 días, se encontró semilla dormante en la variedad de quinua silvestre (*Chenopodium* spp.), por lo cual se procedió con la escarificación química sumergiendo la semilla de quinua silvestre (*Chenopodium* spp.) en solución de hipoclorito a dosis de 3 cc en 100 ml de agua por 20 minutos.

El experimento se estableció en invernadero ocupando cuatro platabandas donde se pusieron 220 bolsas-macetas distribuidas según el croquis experimental, el sustrato utilizado fue el de jardinería con proporciones iguales de tierra y turba. Cada bolsa-maceta se regó hasta llegar a la capacidad de campo previo a la siembra. En el caso de la semilla de *Chenopodium* spp. con evidencias de dormancia, se empleó semilla pregerminada en placa Petri hasta el estado de emisión de la radícula y luego se procedió a la siembra en la bolsa-maceta.

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez que presentaban las plantas de cada unidad experimental, las muestras fueron recolectadas y colocadas en sobres manila, posteriormente se acomodó para que puedan secar, luego se procedió a trillar para finalmente obtener el grano limpio.

Para la experimentación se empleó el diseño de bloques al azar (DBA) con 10 variedades silvestres y 1 variedad comercial como testigo. Se asignaron cinco bolsas-maceta por variedad y cuatro repeticiones. Para la asignación de variedades a las unidades experimentales, se sortearon al azar con la finalidad de hacer distribución aleatoria. El modelo lineal aditivo para el diseño experimental es el siguiente (Ochoa, 2009):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Dónde: Y_{ij} = una observación cualquiera; μ = media general; β_j = efecto aleatorio del j -ésimo bloque; T_i = efecto fijo del i -ésimo tratamiento; ε_{ij} = error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días de emergencia

Con los datos registrados para los días a la emergencia, se realizó el siguiente análisis de varianza que se presenta en la Tabla 1, donde se evidencia que las diferencias entre bloques no son estadísticamente significativas; en cambio las diferencias observadas

entre variedades son altamente significativas. El coeficiente de variación es de 4.65 % esto significa que hubo un buen manejo de datos obtenidas de las unidades experimentales.

Tabla 1. Análisis de varianza para los días de emergencia.

	FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	0.29	0.10	1.09	0.3688 ns	
Variedad	10	112.29	11.23	124.93	<0.0001 **	
Error	30	2.70	0.09			
Total	43	115.28				

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 4.65 %; FV = fuentes de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; Fc = F calculado; ns = no significativo; ** = altamente significativo.

En la prueba Duncan al 5 % para los días a la emergencia (Figura 1), se observa la formación de seis grupos. El primer grupo lo conforma la V1 con 11.45 días y el último grupo comparten medias similares las variedades botánicas V2, V0 y V6 que se constituye en mejor grupo ya que emergió entre 5.35 y 5.85 días después de la siembra. El número de días a la emergencia de la quinua silvestre se encuentra en el rango reportado por Pinto (2015) para la quinua que varía entre 5 a 10 días.

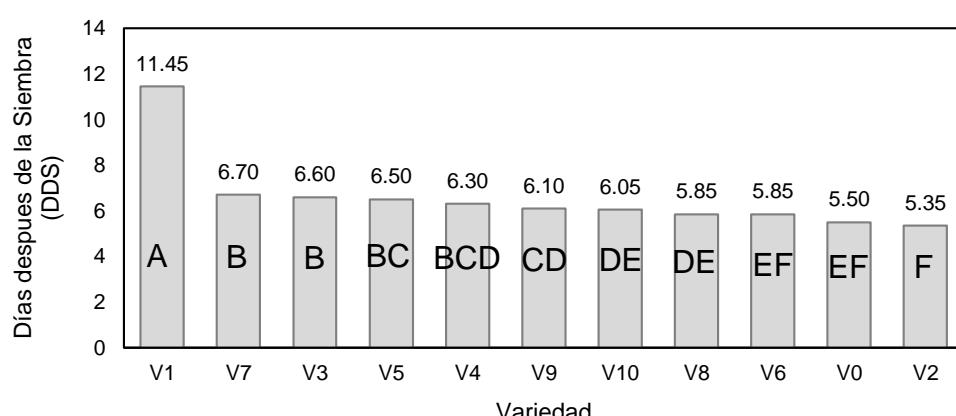


Figura 1. Prueba Duncan al 5 % para los días a la emergencia (Fuente: Onofre, 2021).

Días a la ramificación

El análisis de varianza para los días a la ramificación, muestran los resultados que se encuentran en la Tabla 2, no hay diferencia significativa entre los bloques, por el contrario, entre variedades las diferencias observadas son altamente significativas.

Tabla 2. Análisis de varianza para los días a ramificación.

	FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	0.45	0.15	1.79	0.1711 ns	
Variedad	10	558.55	55.85	658.29	<0.0001 **	
Error	30	2.55	0.08			
Total	43	561.55				

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 0.74 %.

En la Figura 2, se presenta la prueba de medias Duncan al 5 % de probabilidad para los días a la ramificación, donde se forman cinco grupos diferenciados. La V1 llega a la fase de ramificación en 45.30 DDS, siendo la variedad que más días tarda en

llegar a esta fase, y la V2 ramifica a 33.45 DDS, siendo 11.85 días la diferencia entre el mayor y menos número de días para llegar a la fase de ramificación. Según Pérez (2005), la fase de ramificación en la quinua se da en 45 días después de la siembra en campo abierto.

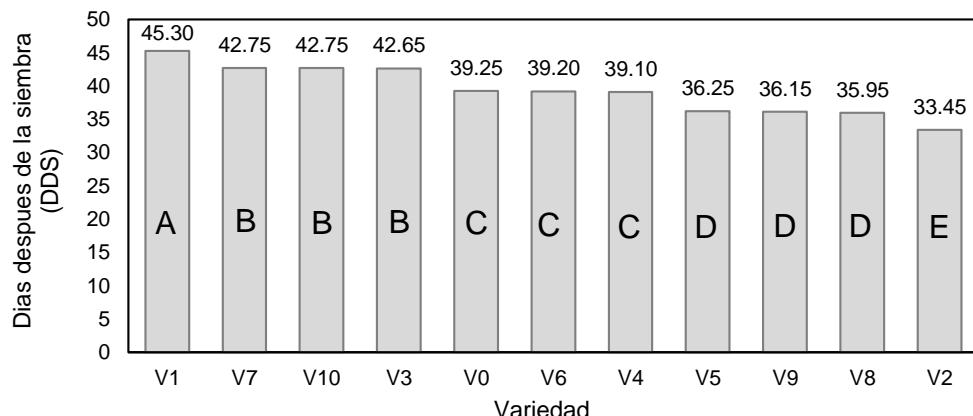


Figura 2. Prueba Duncan al 5 % para los días a la ramificación (Fuente: Onofre, 2021).

Días a la floración

El análisis de varianza para los días a la floración (Tabla 3), muestra que no hubo diferencias significativas entre bloques. Las diferencias observadas para variedades son altamente significativas, lo que se interpreta que al menos una de las variedades botánicas es diferente frente a otras evaluadas.

Tabla 3. Análisis de varianza para días a la floración.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	7.45	2.48	1.10	0.3662 ns
Variedad	10	437.05	43.70	19.27	<0.0001 **
Error	30	68.05	2.27		
Total	43	512.55			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 1.98 %.

En la prueba Duncan al 5 % de probabilidad (Figura 3), la V1 llega a la fase de floración en 80.15 DDS y la V4 en 70.15 DDS. Rojas y Pinto (2013), indican que en la quinua la fase de floración tiene lugar entre 60 días como mínimo y 145 días como máximo (datos provenientes de campo).

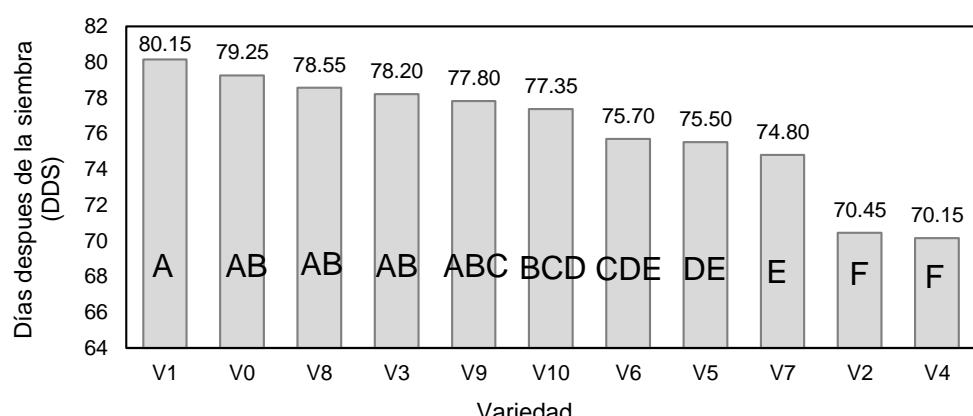


Figura 3. Prueba Duncan al 5 % para los días a la floración (Fuente: Onofre, 2021).

Días a la madurez fisiológica

El análisis de varianza (Tabla 4), muestra que no hubo diferencia significativa entre bloques; para las variedades, las diferencias observadas fueron altamente significativas.

Tabla 4. Análisis de varianza para los días a la madurez fisiológica.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	15.34	5.11	2.10	0.1206 ns
Variedad	10	534.55	53.45	22.00	<0.0001 **
Error	30	72.91	2.43		
Total	43	622.80			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 1.08 %.

En la Figura 4 de la prueba Duncan al 5 % de probabilidad, se constata que la V1 es la variedad que más días tarda en llegar a la madurez (151.75 DDS). Esta variedad en relación a las demás sería tardía. La V4 es la variedad que llega a la madurez en 138.25 días siendo esta variedad que presentaría mayor precocidad en relación a las demás variedades. Fernández y Sahonero (2013), al evaluar ocho taxones de quinua silvestre en invernadero, indican que la madurez fisiológica se da entre 140 y 158 días.

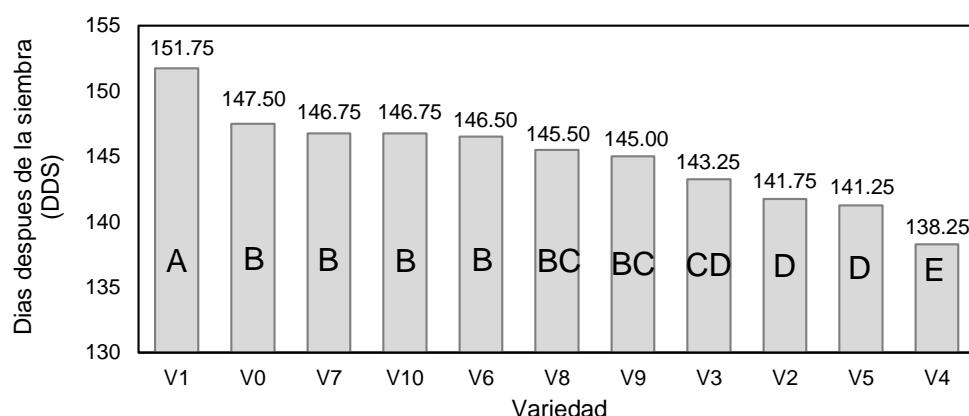


Figura 4. Prueba Duncan al 5 % para los días a la madurez fisiológica (Fuente: Onofre, 2021).

La característica del rebrote se da únicamente en la V1, registrándose el rebrote a los 30.6 días después de la cosecha. Este resultado evidencia que esta variedad posee características perennes ya que vegeta más de un ciclo productivo. Esta característica podría ser de importancia para el mejoramiento genético si el interés fuera por la perennialidad del cultivo.

La Tabla 5 presenta variación en el hábito de crecimiento entre variedades silvestres y variedad comercial de quinua, donde el 100 % de las variedades silvestres tienen un hábito de crecimiento ramificado, el 10 % del material evaluado presenta densidad de

panoja intermedio y el 90 % la densidad de panoja laxa. En cuanto al testigo que es una variedad comercial presenta un hábito de crecimiento simple y densidad de panoja compacta. En el color de tallo y panoja presentan colores variables. En el color de grano se presenta el color típico que es negro y café. Sin embargo, se observó la segregación de color negro al color amarillo que constituye información nueva en la ajara, puesto que la ajara se caracteriza por tener el grano negro. Para Mamani et al. (2013), la quinua silvestre expresa características morfológicas distintas al de la quinua cultivada.

Tabla 5. Hábito de crecimiento y fenotipo de quinua silvestre.

Nº	Variedad	Hábito de crecimiento (densidad de panoja)	Color de tallo a la madurez fisiológica	Color de panoja a la madurez fisiológica	Color de grano
V0	Jacha Grano (testigo)	Simple (compacto)	Verde	Verde	Blanco
V1	<i>Chenopodium</i> spp.	Ramificado (laxa)	Verde plomizo	Verde plomizo	Negro
V2	Escape 28-06-18 Orinoca	Ramificado (laxa)	Púrpura	Púrpura	Café - negro
V3	Ajara Tarachullpa rojo	Ramificado (laxa)	Púrpura - verde	Púrpura	Café
V4	Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018	Ramificado (laxa)	Rojo	Rojo	Negro
V5	Ajara 12 Lloco púrpura 2018	Ramificado (laxa)	Rosado - verde	Verde - rosado	Negro - café
V6	Ajara 13 Lloco verde 2018	Ramificado (laxa)	Verde	Verde	Negro
V7	Ajara Tarachullpa verde 2018	Ramificado (laxa)	Verde	Verde	Café - negro
V8	Ajara Ayamaya 1	Ramificado (intermedio)	Verde axila roja	Púrpura	Amarillo
V9	Ajara Ayamaya 2	Ramificado (intermedio)	Rosado - púrpura	Verde - púrpura	Café
V10	Orinoca 28 de junio 2018	Ramificado (laxa)	Verde	Verde	Negro

Fuente: Onofre (2021).

Altura de planta

El análisis de varianza (Tabla 6) muestra que hay diferencia entre bloques, lo que significa que influyó las condiciones en el ambiente de invernadero y entre variedades la diferencia es altamente significativa.

Tabla 6. Análisis de varianza para la altura de planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	64.80	21.60	4.15	0.0124 *
Variedad	10	1409.68	140.97	27.12	<0.0001 **
Error	30	155.95	5.20		
Total	43	1630.43			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 4.69 %;
* = significativo.

Según la prueba Duncan al 5 % de probabilidad (Figura 5), el primer grupo lo conforma la V1 con 67.05 cm alcanzando la mayor altura y el último grupo conforman la V7, V3 y V4 cuyas alturas varían entre 46.28 y 48.65 cm siendo el grupo de variedades que alcanzaron la menor altura de planta. Esto puede atribuirse a que cada variedad tiene diferentes características genéticas que pueden determinar mayor eficiencia en captación de radiación solar, nutrientes y de agua. Según Huacara (2014), en el trabajo de investigación que realizó reporta que la quinua silvestre (ajara) llega alcanzar una altura de 36.43 hasta 49.61 cm con datos registrados en campo.

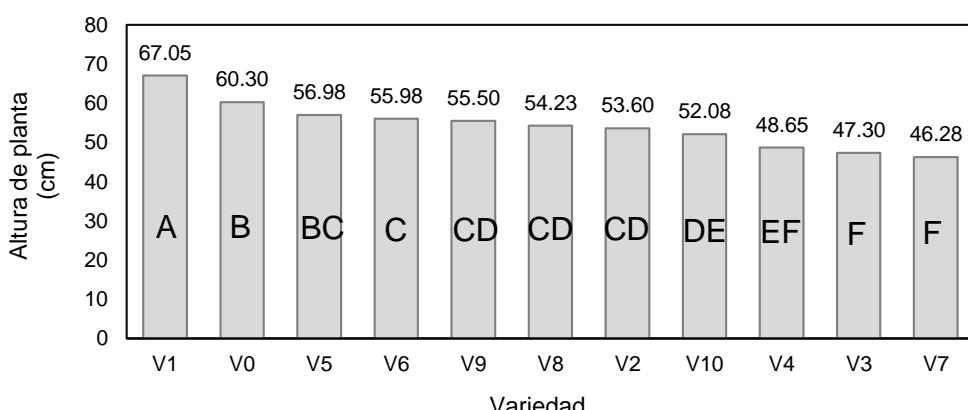


Figura 5. Prueba Duncan al 5 % para altura de planta (Fuente: Onofre, 2021).

Diámetro de tallo

Los resultados en el análisis de varianza (Tabla 7) muestra que las diferencias observadas entre bloques son estadísticamente significativas y para las variedades las diferencias son altamente significativas.

Tabla 7. Análisis de varianza para el diámetro de tallo.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	1.4E-03	1.1E-03	4.50	0.0101 *
Variedad	10	0.11	0.01	42.41	<0.0001 **
Error	30	0.01	2.5E.04		
Total	43	0.12			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 4.63 %.

En la Figura 6 elaborada con resultados de la prueba Duncan (5 % de probabilidad), muestra la conformación de cuatro grupos diferenciados. El primer grupo integra la V0 con un diámetro de tallo de 0.47 cm y la V4 y V7 ambos con un promedio de

0.29 cm siendo éstas últimas las variedades con menor diámetro de tallo. Según Mujica et al. (2001), el diámetro de tallo en la quinua es variable dependiendo de la variedad y condiciones del cultivo.

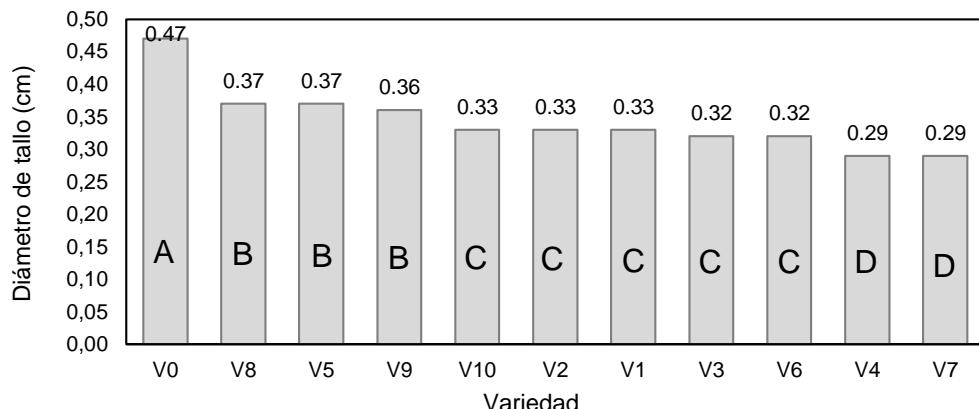


Figura 6. Prueba Duncan al 5 % para el diámetro de tallo (Fuente: Onofre, 2021).

Longitud de la panoja

En la Tabla 8 del análisis de varianza para longitud de panoja, se tiene que las diferencias entre bloques son significativas lo que se atribuye a la influencia de las condiciones ambientales del invernadero (pared lateral y techo en media agua) y las diferencias entre variedades son altamente significativas, deduciéndose que las diferencias observadas provienen de las diferencias intrínsecas del material genético.

Tabla 8 Análisis de varianza para longitud de panoja.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	12.28	4.09	4.05	0.0157 *
Variedad	10	300.05	30.00	29.72	<0.0001 **
Error	30	30.29	1.01		
Total	43	342.62			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 6.32 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la prueba Duncan al 5 % (Figura 7) se observa la formación de seis grupos. El primer grupo lo conforma la V5 y V6 con 19.60 y 19.38 cm respectivamente, siendo las variedades de mayor longitud de panoja dentro el material evaluado. El último grupo conforma la variedad V0 con 9.55 cm siendo el promedio más bajo de longitud de panoja. Cabe mencionar que la quinua silvestre presentó panoja laxa y menos concentrada los glomérulos en la panoja, lo que se refleja en la mayor longitud de panoja. Según Huacara (2014), en su trabajo de investigación con quinua silvestre en condiciones de campo registró que la longitud de panoja de la quinua silvestre varía de 16.16 a 22.04 cm.

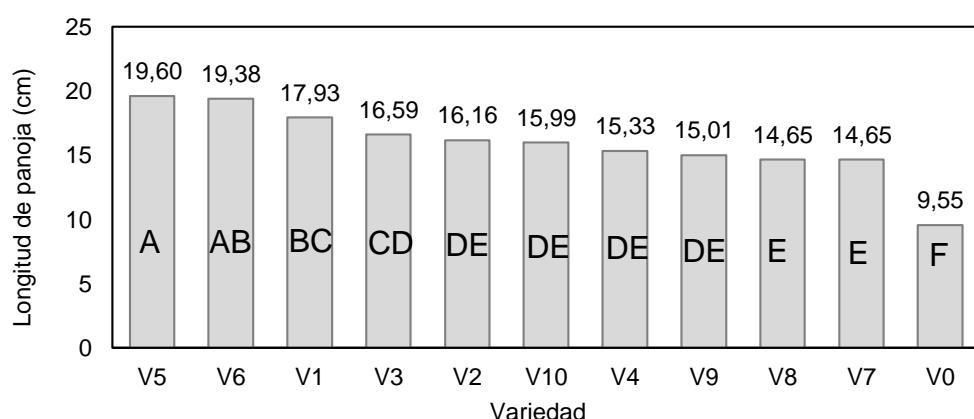


Figura 7. Prueba Duncan al 5 % para longitud de panoja (Fuente: Onofre, 2021).

Peso del grano caído por dehiscencia

En el análisis de varianza la Tabla 9, muestra que no hay diferencias significativas entre bloques, mientras que para las variedades las diferencias observadas son altamente significativas. El efecto del bloque no influye en la caída del grano, pero el peso de grano caído en las variedades es diferente, se evidencia que al interior del grupo del material evaluado hay muestras con mayor o menor caída de grano.

Tabla 9. Análisis de varianza para el peso de grano caído por dehiscencia.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	5.9E-5	2.0E-05	1.24	0.3112 ns
Variedad	10	0.03	2.6E-03	56.48	<0.0001 **
Error	30	4.7E-4	1.6E-05		
Total	43				

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 3.86 %.

En la Figura 8 que corresponde a la prueba Duncan (5 % de probabilidad), se observa que la V1 registró el mayor peso de grano caído con 0.15 g por planta, mientras que la V0 alcanzó menor pérdida de grano con 0.04 g por planta.

Para fines de selección por menor caída de grano, se podría sugerir el grupo conformado por V6, V4, V9, V8, V7 y V10. Mujica y Jacobsen (2006), indican que los frutos de las especies silvestres presentan mayor dehiscencia, siendo este carácter su mecanismo de diseminación de semilla.

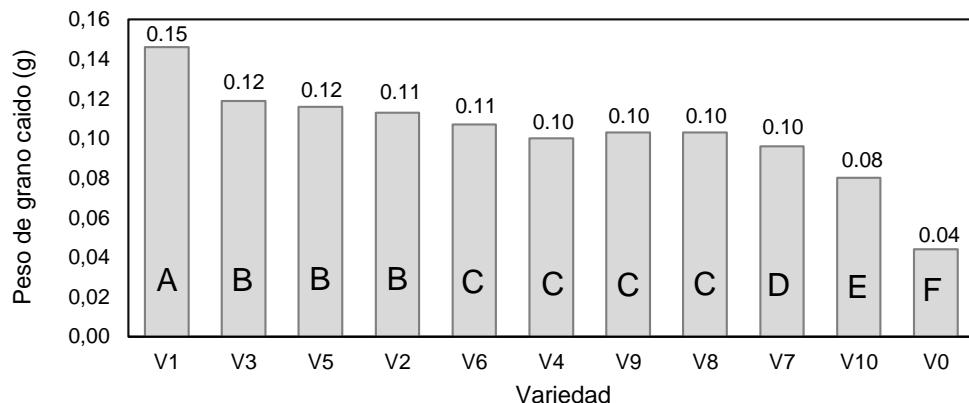


Figura 8. Prueba Duncan al 5% para peso de grano caído por dehiscencia (Onofre, 2021).

Índice de cosecha

El análisis de varianza para el índice de cosecha (Tabla 10) demuestra las diferencias observadas para bloques no representan significación estadística, lo que se interpreta que el efecto del ambiente bloqueado (pared lateral del invernadero) no influyó en el índice de cosecha. Sin embargo, las diferencias entre variedades botánicas de quinua silvestre, son altamente significativas. Lo anterior indica que al menos una de las variedades evaluadas presenta mayor el índice de cosecha diferente.

Tabla 10. Análisis de varianza del índice de cosecha.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	0.03	0.01	4.07	0.0154 ns
Variedad	10	0.33	0.03	15.68	<0.0001 **
Error	30	0.06	2.1E-3		
Total	43	0.42			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 12.83 %.

Los resultados de la prueba Duncan al 5 % de probabilidad (Figura 9) muestra la conformación de tres grupos, las variedades con mayor índice de cosecha conforman al menos cinco variedades botánicas (V7, V9, V10, V5, y V6) con índices de cosecha que varían entre 0.42 y 0.39. Esto significa que entre el 42 y 39 % es grano y resto es broza y hojas. La variedad con menor índice de cosecha es V1 con 0.10 esto significa que el 10 % es grano y el 90 % es broza y hoja. Cabe mencionar que el material evaluado presenta índices de cosecha bajos, lo cual se atribuye a las condiciones de invernadero donde las plantas han permanecido con hojas hasta la madurez a diferencia de campo donde las hojas caducas se desprenden; además, la dehiscencia de grano representa la pérdida de peso, los cuales pueden ser la explicación del bajo índice de cosecha.

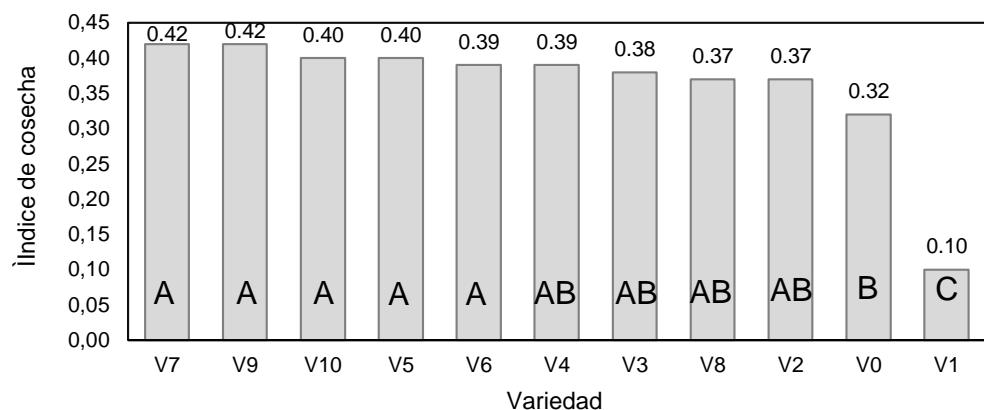


Figura 9. Prueba Duncan al 5 % para el índice de cosecha (Fuente: Onofre, 2021).

Diámetro del grano

El análisis de varianza (Tabla 11) muestra que las diferencias entre bloques no son significativas; en cambio, para las variedades las diferencias observadas en el diámetro de grano son altamente significativas, deduciéndose que al menos una de las variedades presenta el grano de diámetro diferente al resto de las variedades botánicas de quinua silvestre.

Tabla 11. Análisis de varianza del diámetro de grano.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	0.01	2.4E-03	1.16	0.3415 ns
Variedad	10	4.04		0.40 197.79	<0.0001 **
Error	30	0.06	2.0E-03		
Total	43	4.10			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 2.74 %.

En la Figura 10 de la prueba Duncan al 5 % de probabilidad para el diámetro de grano, muestra ocho grupos. En el primer grupo está la V0 con 2.21 mm (testigo), en el segundo grupo está la V9 con 2.05 mm que es la variedad que más se asemeja a V0 que es una variedad cultivada. En el último grupo se encuentra la V1 con 1.03 mm siendo la variedad con menor diámetro de grano. Bonifacio y Saravia (2006), evaluaron genotipos en función al tamaño de grano, registrando para la variedad Ayara 1.92 mm de diámetro de grano, en el presente estudio se ha registrado diámetros de grano mayores y menores al reportado por estos autores.

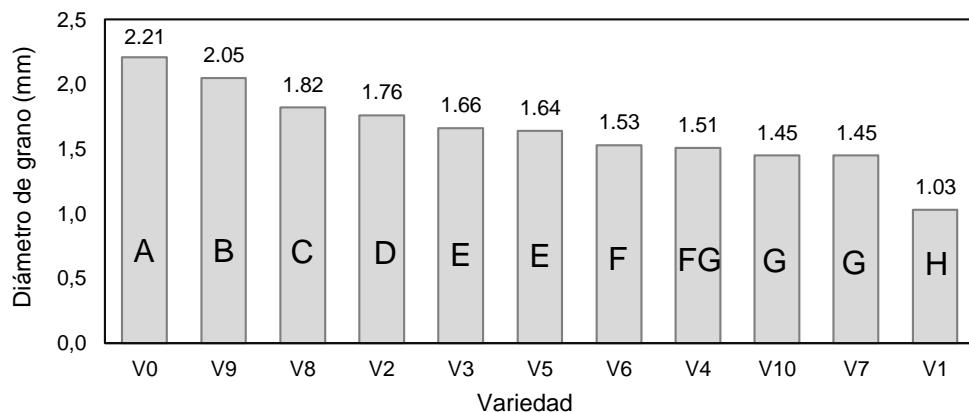


Figura 10. Prueba Duncan al 5 % para el diámetro de grano (Fuente: Onofre, 2021).

Espesor del grano

En la Tabla 12 los resultados del análisis de varianza, para la fuente de variación bloques las diferencias observadas no son significativas, en cambio, para la fuente de variación variedades las diferencias son altamente significativas.

Tabla 12. Análisis de varianza del espesor de grano.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	2.6E-03	8.6E-4	0.66	0.5860 ns
Variedad	10	0.47	0.05	36.10	<0.0001 **
Error	30	0.04	1.3E-3		
Total	43	0.51			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 4.11 %.

En los resultados obtenidos con la prueba Duncan al 5 % de probabilidad (Figura 11), observamos la formación de seis grupos. Las V0 que es el testigo es superior en espesor de grano, pero tanto la V2 como V9 comparten medias similares con el testigo, eso quiere decir que son de similar espesor. Esta característica que presentan las variedades botánicas silvestres podría ser de interés en el mejoramiento genético de la quinua cultivada ya que se puede seleccionar o incorporar el carácter mediante

hibridación. El último grupo lo conforma la V1 con 0.63 mm es la variedad con menor espesor de grano. Cabe mencionar que el diámetro de grano también fue menor en la V1, por tanto, resulta que se trata de la quinua silvestre con menor tamaño de grano. Tanto el diámetro como el espesor de grano en el material considerado silvestre, presenta variación, aproximándose en algunos casos al testigo, lo cual merece un estudio con mayor número de muestras para poder explicar el origen o la procedencia de la ajara.

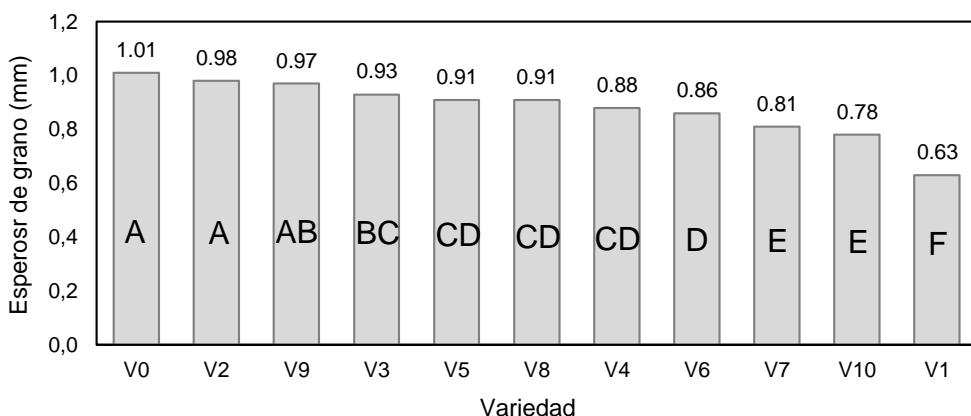


Figura 11. Prueba Duncan 5 % para espesor de grano (Fuente: Onofre, 2021).

Peso hectolítrico

Los resultados del análisis de varianza que se presenta en la Tabla 13, se puede observar que entre bloques las diferencias no son significativas y entre variedades las diferencias son altamente significativas.

Tabla 13. Análisis de varianza para el peso hectolítrico.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	0.98	0.33	0.80	0.5056 ns
Variedad	10	43.73	4.37	0.69	<0.0001 **
Error	30	12.27	0.41		
Total	43	56.98			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 0.86 %.

En la Figura 12 de la prueba Duncan al 5 % de probabilidad, se observa cuatro grupos. La V4 con 75.16 kg HI^{-1} representa el valor más alto para el peso hectolítrico, seguido del V9 con 74.74 kg HI^{-1} , el último grupo lo conforma la V1 con 71.25 kg HI^{-1} siendo la variedad que presenta el peso hectolítrico más bajo. Entre los valores de peso hectolítrico de la quinua silvestre se encuentran superiores e inferiores al de la quinua cultivada (V0), por tanto, podría ser de interés para fines de selección por mayor peso hectolítrico del grano. Huacara (2014) al evaluar la ajara con fertilización orgánica obtuvo 63.09 kg HI^{-1} cuando aplicó 4 t ha^{-1} de estiércol vacuno.

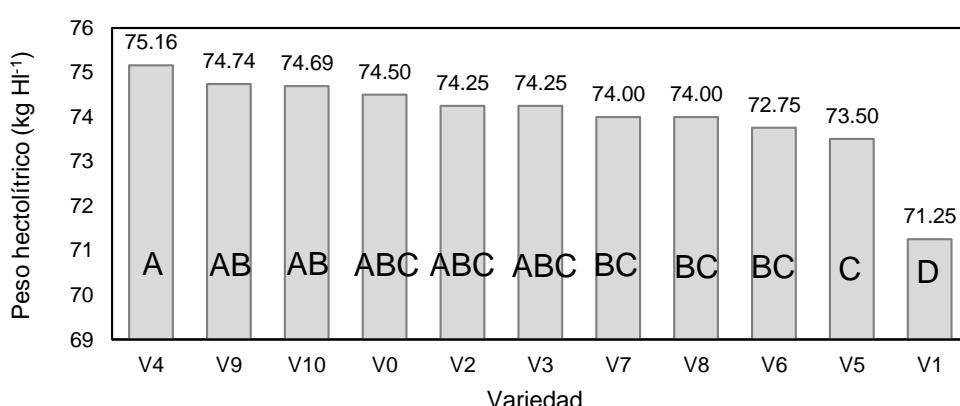


Figura 12. Prueba Duncan al 5 % para el peso hectolítrico (Fuente: Onofre, 2021).

Viabilidad de semilla

De acuerdo al análisis de varianza efectuado para el porcentaje de germinación de la semilla (Tabla 14), se puede observar que no existe diferencias significativas entre bloques, en cambio, para las variedades la diferencias observadas son altamente significativas. De lo anterior se puede deducir que existe variación en el porcentaje de germinación al interior el material estudiado.

Tabla 14. Análisis de varianza de la viabilidad de semilla.

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor
Bloques	3	104.00	34.67	1.03	0.3952 ns
Variedad	10	61 556.91	6 155.69	182.12	<0.0001 **
Error	30	1 014.00	33.80		
Total	43	62 674.91			

Fuente: Onofre (2021); Coeficiente de variación = 12.25 %.

En la prueba Duncan al 5 % de probabilidad (Figura 13) muestra la formación de seis grupos de medias similares. El primer grupo lo forman las V8, V9 y V0

todos con el 100 % de germinación en los siete días de observación. En el último grupo se encuentra la V1 con el 2 % de germinación. Cabe mencionar que el 2 % de germinación proviene del laboratorio, si consideramos la situación de campo, probablemente la semilla no germina, lo cual representa la dormancia de semilla propia de las especies silvestres. Por otra parte, algunas muestras presentan porcentajes de germinación superiores al 50 % e inclusive alcanzan el 100 %, lo cual requiere un análisis minucioso sobre el grado de dormancia de la semilla, la que a su vez estaría relacionado con la condición silvestre o semi silvestre del material investigado. La variabilidad en el porcentaje de germinación puede conducir a proponer la selección del grano con menor dormancia para fines de aprovechamiento en planes de mejoramiento. Pinto y Rojas (2013), menciona que de acuerdo con las pruebas de germinación de la gestión 1999- 2000 obtuvieron resultados donde la quinua silvestre en diferentes accesiones registra un porcentaje de germinación del 65 %.

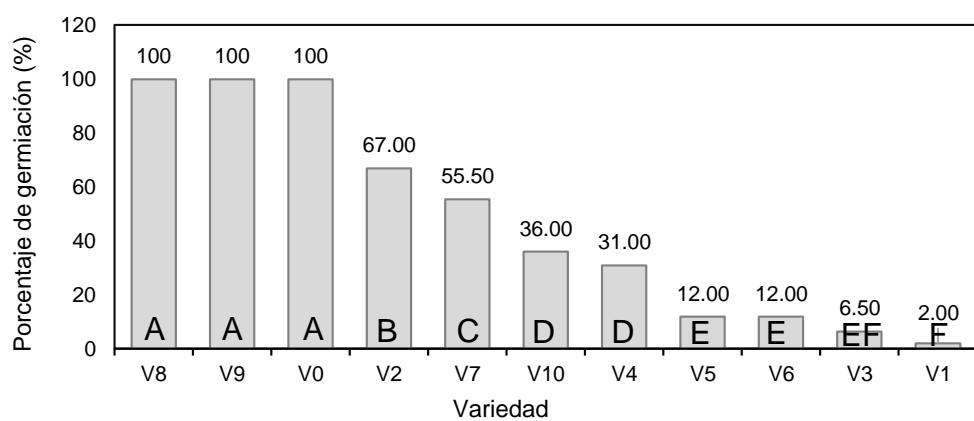


Figura 13. Prueba Duncan al 5 % para la viabilidad de la semilla (Fuente: Onofre, 2021).

CONCLUSIONES

En el hábito de crecimiento, el 100 % de las variedades de quinua silvestre presentó un hábito de crecimiento ramificado, el 90 % presenta panoja laxa y el 10 % intermedio, en cuanto al testigo que es una variedad cultivada presenta el hábito de crecimiento simple y la densidad de panoja es compacta. Se observó diferencias en el número de días transcurridos para las fases fenológicas, algunas de ciclo similar a la quinua cultivada y otras más precoz que la quinua, siendo este último carácter una fuente de genes para precocidad muy útil para el mejoramiento de la quinua hacia la obtención de variedades tempranas.

La altura de planta en la quinua silvestre presenta variación, con alturas que superan a la quinua cultivada como es el caso de la V1 (*Chenopodium* spp.), pero también alturas mucho menores que la quinua.

El mayor diámetro de tallo corresponde a la variedad cultivada V0 (Jacha Grano) y la mayor longitud de panoja lo presenta la variedad silvestre anual V5 (Ajara 12 Lloco púrpura 2018), la mayor pérdida de grano por dehiscencia presenta la variedad perenne V1 (*Chenopodium* spp.) que confirma la condición silvestre.

El índice de cosecha fue relativamente bajo frente a lo

que se obtiene en campo, esto se atribuye a las condiciones del invernadero donde las plantas conservaron sus hojas hasta la madurez, lo cual influyó en el índice de cosecha.

La característica del rebrote se dio únicamente en la muestra V1 (*Chenopodium* spp.) que es evidencia del ciclo de vida perenne por primera vez reportada en la investigación, lo cual podría ser una fuente de genes para la perennidad de la quinua cultivada.

En el color de grano se pudo observar el color negro que es típico de la quinua silvestre, sin embargo, se ha registrado grano de color café y amarillo, lo cual constituye información nueva que podría dar lugar a la selección y otros trabajos de investigación. Para el diámetro y espesor de grano se observó una amplia variación registrándose valores similares a la quinua cultivada y valores bajos en la variedad perenne (*Chenopodium* spp.).

La variedad V4 (Ajara 36 Tarachullpa Orinoca 2018) es el que presenta mayor peso hectolítico, lo que representa granos más pesados que podría ser de interés por la agroindustria. En la viabilidad de semilla cosechado de la quinua silvestre presenta variabilidad con valores similares a la quinua cultivada V0 (Jacha Grano), pero también se registró grados variables de dormancia, siendo la de muy baja viabilidad la muestra perenne V1 (*Chenopodium* spp.) que presenta semilla dormante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Fundación McKnight por el apoyo a la investigación y a la Fundación PROINPA por las facilidades ofrecidas en el Centro de Investigación Kiphakiphani.

BIBLIOGRAFÍA

Bonifacio, A; Saravia, R. 2006. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), un cultivo multipropósito para usos agroindustriales en los países andinos. In: Mujica, A. et al. (eds.). Informe Final Proyecto Quinua: Cultivo Multipropósito para los países andinos Lima-Perú.

Fernández, M; Sahonero, R. 2013. Estudio de la morfología y viabilidad de semilla de 8 taxones de quinua silvestre de Bolivia. In: Vargas, M. (eds.). Congreso Científico de la Quinua (Memoria). La Paz, Bolivia. pp. 31-41.

- Flores, J; Mamani, E; Pinto, M; Rojas, W. 2008. La quinua silvestre: Usos y potencialidades. Ficha Técnica 1. VBRFMA-PROINPA, La Paz. 4 p.
- Huacara, G. 2014. Evaluación agronómica de la ajara (*Chenopodium* sp.) con la aplicación de abono orgánico en la comunidad Chuca provincia Pacajes-Altiplano central. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 118 p.
- Mamani, E; Pinto, M; Rojas, W. 2009. Ajara del Altiplano. En: VMABCC-BIOVERSITY. 2009. Libro Rojo de Parientes de Cultivos de Bolivia. Plural editores. La Paz. 344 p.
- Mamani, E; Flores, J; Pinto, M; Rojas, W. 2013. Estado de la conservación in situ de la quinua silvestre en el área circundante al Lago Titicaca, Bolivia. In: Vargas, M. (eds.). Congreso Científico de la Quinua (Memoria). La Paz, Bolivia. pp. 55-64.
- Miranda, R. 2010. Quinua Bolivia. APQC (Asociación de los ayllus de Productores de Quinua y Camélidos) (en línea). Consultado 29 oct. 2018. Disponible en <http://laquinua.blogspot.com/2010/10/?m=1>
- Mujica, A; Canahua, A; Saravia, R. 2001. Origen y descripción de la quinua; Agronomía del cultivo de la quinua (en línea). En: Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. Santiago, Chile. s.p. Consultado 25 feb. 2020. Disponible en www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalam/prodveg/cdrom/contenido/libro03/home03.htm
- Mujica, A; Jacobsen, S. 2006. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. In: Moraes, M. et al. (eds.). Botánica Económica de los Andes Centrales. pp. 449-457.
- Ochoa, R. 2009. Diseños Experimentales. La Paz, Bolivia. 387 p.
- Onofre, XM. 2021. Evaluación de las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre (*Chenopodium quinoa* spp.) del altiplano boliviano. Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 90 p.
- Pinto, M; Rojas, W. 2013. Descenso de la germinación de la semilla por grupos diferenciados en la colección de germoplasma de quinua de Bolivia. In: Vargas, M. (eds.). Congreso Científico de la Quinua (Memoria).IICA. La Paz, Bolivia. pp. 65-76.
- Pinto, CM. 2015. Aspectos de la fisiología del cultivo de la quínoa. Cap. 3. In: Matus T, I. (eds.). El cultivo de la quínoa en Chile. Boletín N° 362. Instituto de

- Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo. Chile. pp. 33-45.
- Perez, A. 2005. Manejo del cultivo de quinua en la Sierra Central. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria. Serie Manual N°1-05. Lima, Perú. 41 p.
- Rojas, W; Pinto, M; Soto, Jl; Alcocer, E. 2010. Valor nutricional, agroindustrial y funcional de los granos andinos. In: Rojas, W. et al. (eds.). *Granos Andinos Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Bioversity International, Roma, Italia. pp. 151-154.
- Rojas, W; Pinto, M. 2013. La diversidad genética de quinua de Bolivia. In: Vargas, M. (eds.). *Congreso Científico de la Quinua (Memoria)*. La Paz, Bolivia. pp. 77-91.
- Torrez, MO; Guzman, AA; Carvajal, R. 2002. Valor nutricional de 10 variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) del Altiplano Boliviano (en línea). La Paz, Bolivia. BIOFARBO; X: 55-60. Consultado 10 nov. 2018.
- Disponible en
<http://www.ops.org.bo/textocompleto/rnbiofa20021010.pdf>
- Vincent, H; Wiersema, J; Kell, S; Fielder, H; Dobbie, S; Castañeda-Alvarez, Np; Guarino, L; Eastwood, R; León, B; Maxted, N. 2013. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security (en línea). *Biological Conservation* 167:265–275. Consultado 10 nov. 2018. Disponible en
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320713002851>
- VMABCC-BIOVERSITY. 2009. *Libro Rojo de Parientes Silvestres de Cultivos de Bolivia*. PLURAL Editores. La Paz. 344 p.

Artículo recibido en: 09 de octubre 2021

Aceptado en: 10 de diciembre 2021