

Caracterización agromorfológica de 10 accesiones y variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones del Valle Alto de Cochabamba

Carolina Alanoca^{1*}, Ever Machaca¹

¹Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Av. Blanco Galindo Km 5,5, Casilla 832, Cochabamba, Bolivia

*e-mail: carol_aqc@hotmail.com

Resumen

Con el fin de proporcionar información sobre la variación genética y la adaptación de genotipos de quinua en el Valle Alto de Cochabamba, se estudiaron 10 accesiones y variedades de diferentes regiones del país mediante la evaluación de 13 características morfológicas y agronómicas. El ensayo se desarrolló en la Estación Experimental de Toralapa del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), ubicada en la comunidad de "Cebada Jichana" (Tiraque). El análisis estadístico de componentes principales para nueve de las variables evaluadas mostró que los dos primeros componentes explican el 74% de la variación total. El dendrograma calculado a partir de los coeficientes de similitud de Gower mostró dos grupos que distinguen claramente los materiales más precoces y los que tienen mayor rendimiento de grano. Agronómicamente se destacaron las accesiones 501 y 392, pertenecientes al Banco de Germoplasma de Granos Alto Andinos del INIAF.

Palabras clave: Granos andinos, genotipos, valle alto, rendimiento, variedades de quinua.

Abstract

With the purpose of providing information about genetic variation and adaptation of quinoa genotypes in the Valle Alto of Cochabamba, 10 entries and cultivars from different regions of the country were studied by evaluating 13 morphological and agronomic characteristics. The test was developed at the Experimental Station of Toralapa of the National Institute Agricultural and Forestry Innovation (INIAF) located in the community of "Cebada Jichana" (Tiraque). Statistical analysis by principal components of nine evaluated variables showed that the first two components explain 74% of the total variation. The dendrogram calculated from Gower's similarity coefficients showed two groups that clearly distinguish the earliest materials and the ones with higher grain yield. Agronomically the entries 501 and 392 belonging to the Bank of High Andean Grain Germplasm of INIAF stood out.

Keywords: Andean grains, genotypes, high valley, yield, quinoa cultivars.

Introducción

En Bolivia se conservan más de 3.100 accesiones de quinua en el Banco de Germoplasma de Granos Alto Andinos, ubicado en la Estación Experimental de Toralapa, del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (Iquize, 2013).

La producción de quinua es afectada por diversos factores abióticos (heladas, sequías, granizadas) y bióticos (plagas y enfermedades). El germoplasma de especies silvestres y de variedades primitivas de quinua es una fuente potencial de resistencia a dichos factores (Jacobsen y Mujica, 1999).

La conservación del Banco de Germoplasma de Granos Alto Andinos, a pesar de ser una actividad esencial, no se justifica sin su utilización, por eso es necesario avanzar con la evaluación de las accesiones.

En quinua, entre las características agrícolas a estudiar están las relacionadas a la adaptación de genotipos a nuevas zonas de cultivo (Ulloa, 2006).

En Cochabamba, la producción del cultivo de quinua se distribuye principalmente en las zonas de las provincias de Quillacollo, Punata y Tiraque, con un rendimiento de 500 a 700 kg/ha (IBTA, 1987).

El presente trabajo consistió en la evaluación agronómica y la caracterización morfológica de 10 ac-

cesiones y variedades de quinua provenientes de diferentes regiones del país, con el fin de proveer información acerca de la variabilidad genética y la adaptación en el Valle Alto de Cochabamba de genotipos promisorios de quinua.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en predios de la Estación Experimental de Toralapa en la campaña agrícola 2013-2014, ubicada en Cebada Jichana, municipio de Tiraque del departamento de Cochabamba, geográficamente situada a 17° 28' 35.01" latitud S, 65° 39' 9.88" longitud O, altitud 3.526 msnm, a una distancia de 73 km de la ciudad de Cochabamba. La temperatura promedio es de 12,5 °C y con una precipitación pluvial de 519,8 mm/año (Senamhi, 2012).

Material vegetal, diseño experimental y colección de datos

Para este estudio agromorfológico se utilizaron 10 accesiones y variedades de quinua pertenecientes a la colección del Banco de Germoplasma de Granos Alto Andinos del INIAF. Estos materiales fueron seleccionados por poseer antecedentes de buen comportamiento agronómico en condiciones de valle y en otras regiones del país (cuadro 1).

Cuadro 1. Datos de pasaporte de las accesiones y variedades caracterizadas.

Código Accesión	Género	Especie	Nombre	Procedencia
1543	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	1543	Chuquisaca - Yamparáez
1998	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Vaca Laira	Potosí - Quijarro
392	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	0392	Cochabamba - Tiraque
501	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	0501	La Paz - Los Andes
624	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	0624	Puno Platerías
-	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Aynoca	La Paz
-	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Blanquita	La Paz
-	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Horizonte	La Paz
-	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Kellu	Oruro - Salinas de Garci Mendoza
-	<i>Chenopodium</i>	<i>quinoa</i>	Negra	Oruro - Salinas de Garci Mendoza

La siembra de accesiones y variedades de quinua se realizó bajo el siguiente diseño: Bloques Completos al Azar (BCA) con 4 repeticiones de cada tratamiento o accesión/variedad, donde la unidad experimental fue de 6 m por 4 m, con 8 surcos. En superficie total de 1.400 m². La cantidad de semilla por unidad experimental fue de 22 g, el total de semilla de quinua empleada fue de 1,12 kg.

La cosecha se realizó conforme las plantas alcanzaban la madurez fisiológica, el segado se

hizo en forma manual, por separado en dos grupos: Cinco plantas identificadas para la caracterización morfológica y el resto de las plantas para el registro del rendimiento.

La caracterización agromorfológica se realizó con base en los descriptores (cuadro 2) propuestos por Bioversity International (2013). Estos descriptores son considerados los más relevantes a la hora de describir y discriminar germoplasma de quinua.

Cuadro 2. Descriptores empleados durante el estudio.

Variables cuantitativas	Variables cualitativas
v01 Altura de planta (cm)	v10 Hábito de crecimiento
v02 Altura de panoja (cm)	v11 Presencia de axilas pigmentadas
v03 Diámetro de panoja (mm)	v12 Forma de panoja
v04 Diámetro de tallo (mm)	v13 Color de panoja
v05 Número de ramas	
v06 Días a la cosecha	
v07 Peso de grano por planta (g)	
v08 Índice de grano por planta	
v09 Rendimiento (kg/ha)	

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo de las variables cuantitativas, determinando el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos. Para estudiar la asociación de variables se realizó un análisis de correlación simple entre ellas. En cuanto al análisis de variables cualitativas se determinó la moda y su frecuencia relativa.

Las variables cuantitativas se estudiaron mediante análisis de componentes principales. Previo al análisis de agrupamiento se realizó el análisis de Procrustes generalizado, el cual determinó que existe consenso entre variables cuantitativas y cualitativas, por lo cual se utilizó el análisis de conglomerados para variables mixtas mediante los coeficientes de similitud Gower y el método de agrupamiento WARD.

Para la descripción de los grupos formados se realizó un análisis de varianza multivariado en base a las variables cuantitativas de mayor discriminación. En cuanto a las variables cualitativas se usó el análisis de correspondencia múltiple para la descripción simultánea de los grupos.

Resultados

Los valores descriptivos de los parámetros cuantitativos medidos están compilados en el cuadro 3. Los datos obtenidos revelaron que los Coeficientes de Variación (CV) oscilan alrededor de 4% (**días a la cosecha**) a 54% (**rendimiento**). El rendimiento más alto lo presentó la accesión 501 con un promedio de 1.586,5 kg/ha y el más bajo la variedad Horizonte con 53,4 kg/ha. En cuanto al peso de grano por planta el valor máximo se observó en la accesión 1.998 con 22,1 g y el

mínimo en la accesión 624 con 7,6 g. Para la variable diámetro de panoja la accesión 1.543 obtuvo el mayor diámetro con 74,8 mm y la accesión 1.998 obtuvo el menor con 29,7 mm.

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de variables cuantitativas medidas en 10 accesiones y variedades de quinua.

Variable	Media	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
v01 Altura de planta (cm)	77,4	14,6	19	63,0	109,2
v02 Altura de panoja (cm)	28,9	3,5	12	24,2	35,2
v03 Diámetro de panoja (mm)	43,2	14,3	33	29,7	74,8
v04 Diámetro de tallo (mm)	9,4	1,5	16	7,4	11,8
v05 Número de ramas	16,0	2,7	17	12,5	21,8
v06 Días a la cosecha	191,2	8,5	4	180,4	202,0
v07 Peso de grano por planta (g)	14,2	4,1	29	7,6	22,1
v08 Índice de grano por planta	48,4	6,8	14	36,7	59,3
v09 Rendimiento (kg/ha)	794,8	425,7	54	53,4	1.586,5

Las frecuencias relativas de la moda para las variables cualitativas evaluadas se presentan en el cuadro 4. Las accesiones y variedades de quinua estudiadas mostraron amplia variabilidad principalmente para el color de panoja, siendo el color

blanco el de mayor frecuencia (5 de 10 accesiones y variedades). La variable hábito de crecimiento fue casi constante para todas las accesiones y variedades (ramificado 1/3), excepto en la accesión 501 que presentó un hábito de crecimiento simple.

Cuadro 4. Frecuencias relativas (%) de la moda de variables cualitativas evaluadas en 10 accesiones y variedades de quinua

Accesión/ Variedades	Color de panoja	Forma de panoja	Hábito de crecimiento	Presencia de axilas pigmentadas				
1.543	Rojo	100	Glomerulada	75	Ramificación 1/3	75	No determinada	100
392	Blanco	100	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Presentes	100
624	Rosado	67	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	67
Blanquita	Blanco	100	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100
Kellu	Anaranjado	100	Intermedia	75	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100
Aynoca	Blanco	100	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100
Negra	Otros	100	Intermedia	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100
501	Blanco	100	Glomerulada	100	Simple	75	Presentes	100
1.998	Púrpura	67	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100
Horizonte	Blanco	51	Glomerulada	100	Ramificación 1/3	100	Ausentes	100

El cuadro 5 muestra una matriz de correlaciones de Pearson entre las variables cuantitativas estudiadas. En la parte inferior del cuadro se presentan los coeficientes de correlación y en la parte superior las respectivas probabilidades.

Cuadro 5. Correlación de variables cuantitativas evaluadas en 10 accesiones y variedades de quinua.

	ALTPL	ALTPA	DIAPA	DIATA	NUMRA	D I A - CO	PESGP	INDGP	REND
ALTPL	1,00	1,70E-06	1,10E-08	1,50E-03	1,40E-08	0,01	0,27	0,01	0,31
ALTPA	0,71**	1,00	3,40E-05	0,04	0,02	0,01	0,56	0,34	0,56
DIAPA	0,80**	0,64**	1,00	3,70E-07	1,20E-04	0,09	0,47	0,15	0,57
DIATA	0,52**	0,35*	0,74**	1,00	0,01	0,60	0,50	0,14	0,32
NUMRA	0,79**	0,38*	0,60**	0,45*	1,00	0,03	0,12	0,05	0,39
DIACO	0,43*	0,41*	0,29	0,09	0,37*	1,00	0,54	0,02	0,48
PESGP	-0,19	-0,10	-0,13	0,12	-0,27	0,11	1,00	0,31	0,36
INDGP	-0,42*	-0,17	-0,25	-0,26	-0,34	-0,39*	0,18	1,00	0,95
REND	0,18	0,10	-0,10	-0,17	0,15	0,12	-0,16	0,01	1,00

ALTPL= Altura de planta; ALTPA= Altura de panoja; DIAPA=Diámetro de panoja; DIATA=Diámetro de tallo; NUMRA=Número de ramas; DIACO=Días a la cosecha; PESGP=Peso de grano por planta; INDGP=Índice de grano por planta; REND=Rendimiento.

Entre las relaciones altamente significativas tenemos a la variable altura de planta con las variables altura de panoja, diámetro de panoja, diámetro de tallo y número de ramas; esto indica que en las accesiones evaluadas, las plantas de menor altura poseen panojas pequeñas y de menor diámetro, menor diámetro de tallo y menor número de ramas. Otra relación de importancia

se encuentra en la variable diámetro de panoja con las variables altura de panoja, diámetro de tallo y número de ramas, expresando con estas una asociación positiva; de esto se puede afirmar que en las accesiones y variedades evaluadas las plantas de mayor diámetro de panoja poseen panojas de mayor altura, tallos de mayor diámetro y un mayor número de ramas.

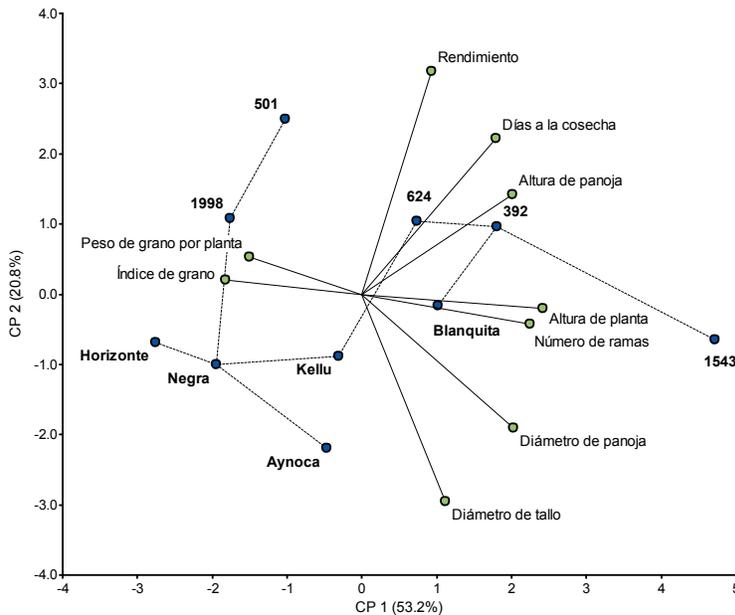


Figura 1. Distribución de 10 genotipos de quinua y de nueve variables sobre los dos primeros componentes principales.

El análisis de componentes principales agrupó a las nueve variables cuantitativas en varios componentes, con los primeros dos componentes explicando el 74% de la variación total (figura 1). El componente principal 1 (CP 1) se asocia positivamente con altura de planta, altura de panoja, diámetro de panoja, número de ramas y días a la cosecha; se asocia negativamente con peso de grano por planta e índice de grano. El CP 1 distingue a las accesiones 1.543 y 392 de las variedades Horizonte, Negra y la accesión 1.998, al estar estas últimas en la parte izquierda del Biplot (figura 1), lo que indica que estas accesiones y variedades poseen plantas de menor altura, de panojas pequeñas y ligeramente más precoces que las que se encuentran al lado derecho del Biplot. El componente principal 2 (CP 2) se asocia positivamente con rendimiento y negativamente con diámetro de Tallo. El CP 2 distingue a la accesión 501 de alto rendimiento de la va-

riedad Aynoca de menor rendimiento pero con el mayor diámetro de tallo. Las variedades Kellu, Blanquita y la accesión 624 pueden considerarse con valores promedios para la mayoría de las variables, al encontrarse cerca del origen de ambas componentes. De todas las variables, altura de planta, número de ramas y rendimiento fueron los parámetros más discriminativos para diferenciar accesiones y variedades.

Un dendrograma (figura 2) fue construido con base en los coeficientes de similitud Gower y al algoritmo Ward utilizando las 13 variables estudiadas (9 cuantitativas y 4 cualitativas) con un coeficiente cofenético de 0,67 que indica una apropiada representación de la matriz de similitud entre accesiones y variedades. Realizando un corte en el dendrograma a un valor de similitud de 0,8 se conformaron 2 grupos de accesiones y variedades.

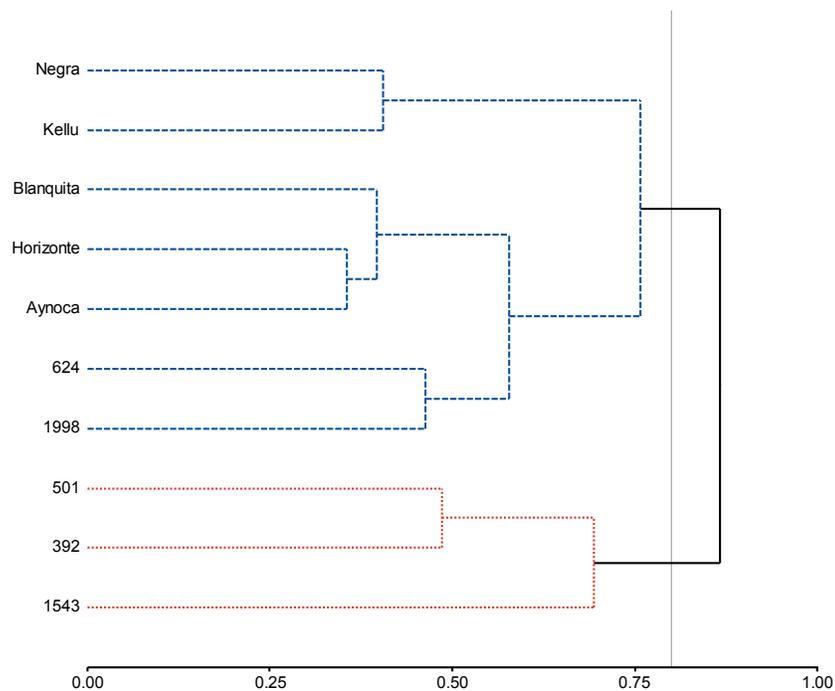


Figura 2. Dendrograma mostrando la relación entre 10 accesiones y variedades de quinua usando la metodología WARD.

Los dos grupos obtenidos presentaron características diferentes (cuadro 6). El Grupo 1 está formado por las accesiones 1.543, 392 y 501, en este grupo se encuentran las accesiones de mayor

rendimiento en el estudio, con un promedio de 1.166,3 kg/ha y están caracterizadas por poseer plantas con panojas grandes con un promedio de 33,1 cm de altura y de 52,2 mm de diámetro.

Cuadro 6. Prueba de medias multivariado de Hotelling para dos grupos de accesiones de quinua

Grupo	REND	DIACO	ALTPA	DIATA	DIAPA	PESGP	n	
1	1.166,3	198,7	33,1	9,1	52,2	13,0	3	A
2	635,6	188,0	27,1	9,5	39,4	14,6	7	B

REND=Rendimiento; DIACO=Días a la cosecha; ALTPA= Altura de panoja; DIATA=Diámetro de tallo; DIAPA=Diámetro de panoja; PESGP=Peso de grano por planta. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El Grupo 2 aglomera a las variedades Negra, Kellu, Blanquita, Horizonte y Aynoca, y a las accesiones 624 y 1.998. Las variedades y accesiones de este grupo se caracterizan por haber presentado rendimientos menores a los del Grupo 1 con un promedio de 635,6 kg/ha, las plantas de este grupo poseen panojas más pequeñas que las del Grupo 1, principalmente en el diámetro de tallo con un promedio de 39,4 mm. Para la variable altura de panoja la diferencia es menos acentuada con un promedio de 27,1 cm. Las variedades y accesiones del Grupo 2 presentan un mayor

peso de grano por planta con un promedio de 14,6 g. En cuanto al diámetro de tallo este resultó ser ligeramente superior a los del Grupo 1, con un promedio de 9,5 mm. Cabe destacar de este grupo que también presenta un menor promedio para días a la cosecha con 188 días.

En la figura 3 se presenta el Biplot resultante del Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM), donde los dos primeros factores explican el 51,9% de la deviance sobre las variables cualitativas estudiadas. El ACM caracteriza los

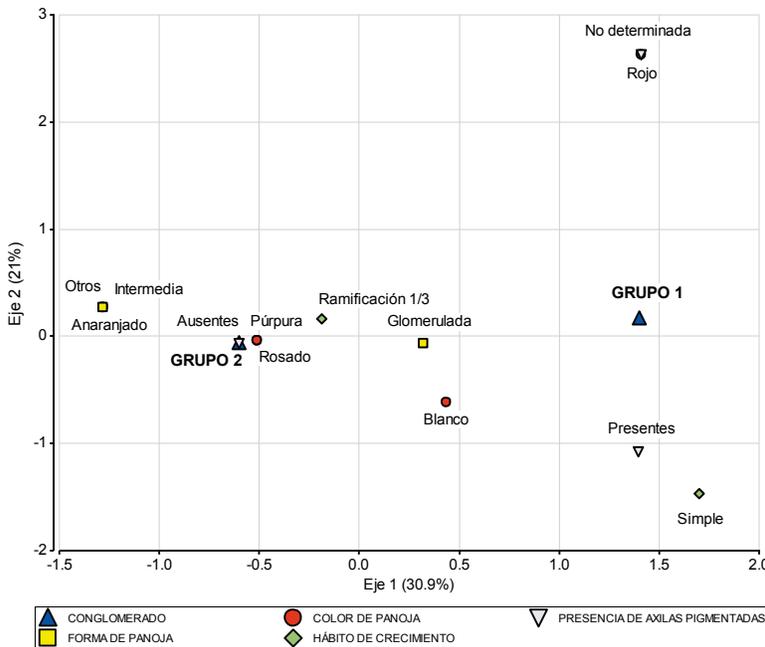


Figura 3. Distribución de dos grupos de accesiones y variedades de quinua y de cuatro variables cualitativas sobre los dos primeros factores.

2 grupos formados con base en las categorías de las variables, como se observa en la figura 3, en ambos grupos dominan el hábito de crecimiento de Ramificación 1/3, la forma de panoja glomerulada y el color de panoja blanco. La variable cualitativa que distingue a ambos grupos es la presencia de axilas pigmentadas, mientras que en el Grupo 1 las accesiones se definen como presentes o no determinadas, en el Grupo 2 en todas las variedades y accesiones se registran como ausentes. Cabe destacar que en el Grupo 1 la accesión 501 es la única que presenta el hábito de crecimiento simple.

Discusión

La variable rendimiento no presentó correlación significativa con ninguna de las variables estudiadas. Gabriel *et al.* (2013) reporta una correlación significativa del rendimiento con las variables altura de planta, diámetro de panoja y diámetro de tallo, en una evaluación de 36 variedades de quinua. Esto puede deberse a que en el ensayo se expuso a los genotipos a las condiciones agroambientales de la zona, donde la presencia de heladas durante el periodo de floración produjo serias pérdidas, mayormente en los genotipos más precoces (Grupo 2).

A pesar de los problemas señalados, el Grupo 1 obtuvo un rendimiento promedio superior al promedio nacional de 600 kg/ha (MDRyT, 2012) y la accesión 501 tuvo un rendimiento superior a los 1.500 kg/ha, el cual se considera óptimo en condiciones de secano en los valles interandinos (Mujica *et al.*, 2004).

Las accesiones 501 y 392 del Grupo 1 poseen el color de panoja blanco y en sus datos de pasaporte se indica que el color de grano de estas accesiones también es blanco (Iquize, 2013), lo cual es una característica de preferencia de los agricultores por su valor en el mercado (Camacho, 2015).

Las accesiones del Grupo 1 entran en la categoría de promisorias para la obtención de nuevas variedades adaptadas al Valle Alto, pero se deberá continuar con un programa de mejoramiento genético que busque estabilizar los caracteres de interés en estos genotipos.

Conclusiones

Las accesiones y variedades caracterizadas mostraron amplia variabilidad genética en cuanto al color y al diámetro de panoja.

Con los resultados del presente trabajo se encontraron diferencias importantes en cuanto a rendimiento de grano y duración del ciclo del cultivo entre las accesiones y variedades introducidas al Valle Alto de Cochabamba.

Es posible que en zonas similares a la estudiada en este ensayo se puedan adaptar algunos de los genotipos más sobresalientes de la prueba, como por ejemplo las accesiones 501 y 392 pertenecientes al Banco de Germoplasma de Granos Alto Andinos del INIAF. Sin embargo, es necesario realizar estudios más detallados sobre época de siembra y resistencia a condiciones climáticas adversas como heladas y sequías.

Referencias citadas

- Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA. 2013. Descriptores para quinua. (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Bioversity International, Roma, Italia; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Roma, Italia.
- Camacho, Z. 2015. “Identifican tres variedades de quinua para el valle”. En: periódico Opinión. Cochabamba, Bolivia. Mayo. Economía.
- Gabriel, J., Luna, N., Vargas A., Magne, J., Angulo, A., La Torre, J. y Bonifacio A. 2013. Quinua de valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): Fuente valiosa de resistencia genética al Mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.). En: Congreso Científico de la Quinua (Memorias). La Paz, Bolivia. 682 p.
- IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria). 1987. Curso de Cultivos. Programa Andes Altos – IICA. IBTA / DNS. Catálogo de variedades mejoradas de quinua y uso de Semilla certificada. IBTA, Regional LP / DNS, oficina y laboratorio de semilla, La Paz, Bolivia. 20 p.
- Iquize, E. y Alanoca, C. 2013. Catálogo de 274 accesiones del Banco de Germoplasma de Quinua de Bolivia. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. 330 p.
- Jacobsen, SE. y Mujica, A. 1999. Resistencia de la quinua a la sequía y otros factores abióticos adversos, y su mejoramiento. En: I Curso Internacional sobre: Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). CIP. Lima – Perú. pp. 71 – 78.
- MDRyT. 2012. Compendio agropecuario. Observatorio Agroambiental y Productivo. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Bolivia. 528 p.
- Mujica, A., Cahahua, A. y Saravia, R. 2004. Agronomía de la quinua. En: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe. Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 26-59.
- SENAMHI (2012) <http://www.senamhi.gob.bo/> (Revisado: Diciembre 12, 2012).
- Ulloa, C. 2006. Aromas y sabores andinos. Pp. 313-328. En: Moraes R., M., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.) Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, Plural Editores, La Paz.