

## Variabilidad genética de la colección del germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) de Bolivia

### Genetic variability of the germplasm collection Cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) of Bolivia

*Milton Pinto Porcel y Wilfredo Rojas*

**RESUMEN:**

Con el propósito de promover el uso del germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) de Bolivia, se realizó el estudio de su variabilidad genética a partir de datos de caracterización y evaluación de 744 accesiones. El trabajo se desarrolló en el Centro Quipaquipani de la Fundación PROINPA que se sitúa geográficamente a 16°40'26.5" latitud Sur, 68°18'5.76" longitud Oeste y a una altitud de 3881 msnm. Para determinar patrones naturales de variación genética, el grado de discriminación de las variables analizadas y los grupos de diferente variabilidad genética, se aplicaron dos técnicas univariadas (correlación simple, análisis de frecuencias) y cinco técnicas multivariadas (ACP, ACP no lineal, Correspondencia múltiple, agrupamiento no jerárquico K-medias y discriminante múltiple) sobre 17 variables cuantitativas y siete variables cualitativas. Los resultados indican que existe amplia variabilidad genética en cuanto a ciclo fenológico, tamaño de planta, cobertura foliar, rendimientos e índices de cosecha. Se identificaron variables agromorfológicas que son componentes del rendimiento, que facilitan los procesos de selección y mejoramiento genético. Las accesiones del germoplasma se clasificaron en tres grupos y siete subgrupos. Los subgrupos SG1, SG2 y SG3 con 445 accesiones de tipo Lasta, de ciclo tardío con buenos rendimientos de grano y broza que pueden ser utilizados en la producción de semilla y forraje; los subgrupos SG4 y SG5 con 73 accesiones de cañahua silvestre tipo Pampalasta que por su precocidad, porte bajo y amplia cobertura foliar puede utilizarse como cobertura natural en suelos degradados; y los subgrupos SG6 y SG7 con 226 accesiones de tipo Saihua, de buena altura de planta y estrecha cobertura foliar, que pueden facilitar la cosecha manual o mecanizada en parcelas de producción.

**PALABRAS CLAVE:**

Cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*), variabilidad genética, estadística multivariada.

**ABSTRACT:**

In order to promote the use of Bolivian Cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) a genetic variability study was performed including agromorphologic characterization and behavior assessment of 744 lines. This activity was developed in the Quipaquipani Research Center belonging to the PROINPA Foundation. To determine natural patterns of genetic variation, the discrimination degree from the analyzed variables and to identify groups of different genetic variability, two univariate techniques (simple correlation, frequency analysis) and five multivariate techniques were applied to 17 quantitative variables and 7 qualitative variables. Results showed a wide genetic variability for phenologic cycle, plant size, leaf cover, yields and harvest indexes. The simple correlation analysis identified agromorphological variables that are yield components and that make easier selection processes. The analysis classified cañahua entries in three groups and seven sub-groups. Subgroups SG1, SG22 and SG31 are composed by 445 entries and assembly cañahuas of the Lasta type, late cycle and good chaff and grain yields that can be used for seed and forage; Sub-groups SG4 and SG5 are composed by 73 entries of wild cañahua thanks to the early cycle, short size and wide leaf cover that can be used as natural cover in degraded soils; and Sub-groups SG6 and SG7 composed by 226 entries of Saihua cañahua type desirable for manual and mechanized harvests due to its morphologic characteristics: tall plants and narrow leaf cover.

**KEY WORDS:**

Cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*), genetic variability, multivariate analysis.

**AUTORES:**

**Milton Pinto Porcel y Wilfredo Rojas:** Coordinadores de la Fundación PROINPA, Institución Boliviana socia del proyecto LATINCROP. [m.pinto@proinpa.org](mailto:m.pinto@proinpa.org) ; [w.rojas@proinpa.org](mailto:w.rojas@proinpa.org)

**Artículo recibido: 19/07/2016. Aceptado: 17/10/2016.**

## INTRODUCCIÓN

La cañahua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) es una especie originaria del Altiplano de Bolivia y Perú. Los principales lugares de cultivo se ubican en la cuenca del lago Titicaca donde tiene importancia en la alimentación de las familias por la alta calidad de sus granos, en cuanto a proteína, aminoácidos, vitaminas, fibra y minerales. También es apreciada

por sus cualidades medicinales y por presentar tolerancia a factores adversos como sequía y heladas. Asimismo, los subproductos de la planta como la broza, jipi y rastrojos son utilizados como forraje para el ganado ovino, bovino y camélido (Pinto, 2008; Pinto *et al.*, 2008).

Por la importancia que tiene este cultivo andino, desde la década de los 70' se iniciaron colectas de

semillas en el Altiplano de Bolivia y Perú, y se conformó la colección boliviana de germoplasma de cañahua, la cual cuenta actualmente con 801 accesiones y forma parte del Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos (BNGA), bajo la responsabilidad del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) (Pinto, 2008; Rojas *et al.*, 2010).

El objetivo de este trabajo es contribuir al estudio de variabilidad genética de la cañahua utilizando técnicas de análisis estadístico multivariado con los cuales es posible determinar patrones naturales de variación genética, determinar el grado de discriminación de las variables e identificar grupos disímiles que ayuden a conocer mejor a la especie y a fortalecer su uso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de caracterización y evaluación del germoplasma de cañahua se realizó en el Centro Quipaquipani de la Fundación PROINPA que está ubicado a 4 km al Sur de Viacha y a 45 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente se sitúa a 16°40'26,5'' latitud Sur, 68°18'5,76'' longitud Oeste y a una altitud de 3881 msnm. Este trabajo se realizó entre las gestiones 2014-2015.

El material genético utilizado en el estudio estuvo conformado por 744 accesiones de cañahua. Para el análisis de variabilidad genética se consideraron 17 variables cuantitativas: Días a la Floración (FLO), días a Grano Lechoso (GLE), días a Grano Pastoso (GPA), días a Madurez Fisiológica (MF); Número de Dientes (ND), Longitud de Hoja (LH), Ancho de la Hoja (AH), Longitud del Pecíolo (LPE), Altura de Planta (AP), Número de Ramas (NR), Diámetro de Cobertura Foliar (DF), Diámetro del Tallo (DT), Diámetro de Grano (DIG) y Peso de 1000 Granos (PES), Rendimiento de Grano (RGR), Rendimiento de Broza (RBR) e Índice de Cosecha (IC) y; siete variables cualitativas: Hábito de Crecimiento (HC), Color de Planta (CPL), Color de Tallo (CTA), Color de Pecíolo (CPE), presencia de Axilas Pigmentadas

(AXI), Color del Perigonio (CPG) y Color de Episperma (CPR).

Los métodos de análisis estadístico utilizados fueron: a) Variables cuantitativas: estadística descriptiva, correlación simple y componentes principales (ACP); b) Variables cualitativas: frecuencias absolutas y relativas, componentes principales no lineal (PRINCAL) y correspondencias múltiples (ACM) y; c) Variables cuantitativas y cualitativas: componentes principales no lineal (PRINCAL), conglomerados no jerárquico k-medias, y discriminante múltiple (Hair *et al.*, 1992, Hidalgo 2003, Olmos & Di Renzo 2004). Para el análisis de datos se aplicó los programas estadísticos SYSTAT versión 8 y SPSS versión 11.5, STATGRAPHICS PLUS 2.0 y XLSTAT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis estadístico descriptivo

Los resultados de este análisis mostraron un amplio rango de variación para la mayoría de las variables cuantitativas, entre ellas se destacan la madurez fisiológica, altura de planta, diámetro de cobertura foliar, rendimiento de grano por planta, rendimiento de broza y el índice de cosecha. Las accesiones más precoces alcanzaron la madurez fisiológica en 104 días, mientras que las más tardías lo hicieron en 184 días, con un rango de variación de 80 días. La variación de la altura de planta osciló entre 2,80 cm en accesiones de menor altura y 73,20 cm en accesiones de máxima altura, demostrando la existencia de amplia variación en cañahuas respecto a este carácter. Se destacan por su baja altura, las accesiones de hábito Pampalasta, que crecen sobre la superficie del suelo, contrariamente, las cañahuas de hábito Lasta y Saihua fueron las más altas. El promedio del diámetro de cobertura foliar fue de  $29,84 \pm 11,28$  cm, las accesiones presentaron coberturas foliares entre los 4,1 cm para las coberturas foliares de menor tamaño y los 71,60 cm para las coberturas foliares más amplias, con un coeficiente de variación del 37,8%.

### **Análisis de correlación simple**

Entre las variables fenológicas, la correlación más significativa corresponde al grano lechoso con el grano pastoso ( $r=0,94$ ), también se destacan las correlaciones correspondientes a la floración con grano lechoso ( $r=0,86$ ) y grano pastoso ( $r=0,85$ ); cabe destacar también las correlaciones formadas entre la madurez fisiológica y las variables de floración, grano lechoso y grano pastoso con un coeficiente de  $r= 0,69$ ,  $0,68$  y  $0,66$ , respectivamente. En cuanto al índice de cosecha ésta se correlacionó negativamente a todas las variables, destacándose la asociación formada con el diámetro foliar ( $r=-0,45$ ), y el rendimiento de broza ( $r=-0,43$ ), indicando una relación inversa significativa entre estas variables, es decir, que cuanto mayor sea el diámetro foliar y el rendimiento de broza sea elevado menor será el índice de cosecha debido a que las cañahuas tardías están más expuestas a las heladas tempranas de invierno. En general, las correlaciones entre las variables, indican que existen accesiones de ciclo fenológico tardío con bajos índices de cosecha; por otro lado es posible obtener mejores rendimientos con plantas altas de mayor diámetro foliar, con hojas grandes y tallos gruesos, todas estas características también pueden ser interpretadas en sentido contrario.

### **Análisis de componentes principales**

El primer componente principal aportó con más del 40% a la varianza total y las variables que más contribuyeron en la formación de este componente fueron las variables altura de planta, número de ramas, diámetro de tallo, longitud de hoja y ancho de hoja, rendimiento de broza, rendimiento de grano; madurez fisiológica y diámetro de cobertura foliar, la única variable que contribuyó en forma negativa fue el índice de cosecha. En consecuencia, el primer componente caracteriza a aquellas accesiones de ciclo fenológico tardío y que a su vez registran los más bajos índices de cosecha. Además de florecer y madurar tardíamente, estas accesiones presentan plantas altas, con tallos gruesos y hojas grandes.

El segundo componente explicó más del 16% de la varianza total, es posible advertir el aporte positivo y significativo de las floración, grano lechoso y grano pastoso, mientras que se destacan por sus contribuciones negativas y significativas, las variables de número de ramas, el diámetro de la cobertura foliar y diámetro de tallo, rendimiento de broza y rendimiento de grano. Asimismo, el índice de cosecha aporta de forma significativa y positiva a la formación de este componente. Por lo descrito, el segundo componente permitió identificar a aquellas cañahuas con fases fenológicas semitardías, con baja cobertura foliar y pocas ramas, con bajos rendimientos de grano y de broza e índices de cosecha elevados.

### **Análisis de componentes principales para datos cualitativos**

Los resultados de esta técnica indican que el primer factor contribuyó con más del 26% a la varianza total. Las variables que más aportaron a la formación del primer factor en forma positiva fueron: color del tallo (CTA), color de planta (CPL) y color del peciolo (CPE) con coeficientes de  $0,83$ ,  $0,67$ , y  $0,62$ , respectivamente. En segundo nivel de importancia se encuentran las variables presencia de axilas pigmentadas (AXI), color del perigonio (CPE), y color del episperma (CPR). El segundo factor aportó con el 24,4% a la varianza total. Las variables cualitativas que más contribuyeron en forma positiva a la formación del segundo factor fueron el hábito de crecimiento (HC) y el color de planta (CPL), con coeficientes  $0,77$  y  $0,28$ , respectivamente. También se destacan en el segundo factor, las variables color de episperma (CPR), presencia de axilas pigmentadas (AXI), color de perigonio (CPG) y color de peciolo (CPE) con coeficientes de  $-0,45$ ,  $-0,44$ ,  $-0,39$  y  $-0,30$ , respectivamente.

### Análisis de componentes principales para datos cuantitativos y cualitativos (PRINCAL)

La técnica PRINCAL, al igual que el ACP estándar, permite representar las proyecciones de las variables originales sobre los dos primeros ejes principales (Figura 1). La proyección opuesta del índice de Cosecha (IC) respecto a las variables Diámetro de Cobertura Foliar (DF), Rendimiento de Broza (RBR), Rendimiento de Grano (RGR) y días al Grano

Lechoso (GLE), muestra que las plantas de cañahua con ciclos fenológicos tardíos, con mayores coberturas foliares, producirán mayor cantidad de broza respecto a la cantidad de grano, por tanto se tendrán bajos índices de cosecha, lo cual representa un patrón natural de variación. El hábito de crecimiento (HC) es importante para caracterización de la cañahua, por ello se advierte que existen asociaciones importantes con Altura de la Planta (AP), Color de Planta (CPL) y los días a la Madurez Fisiológica (MF).

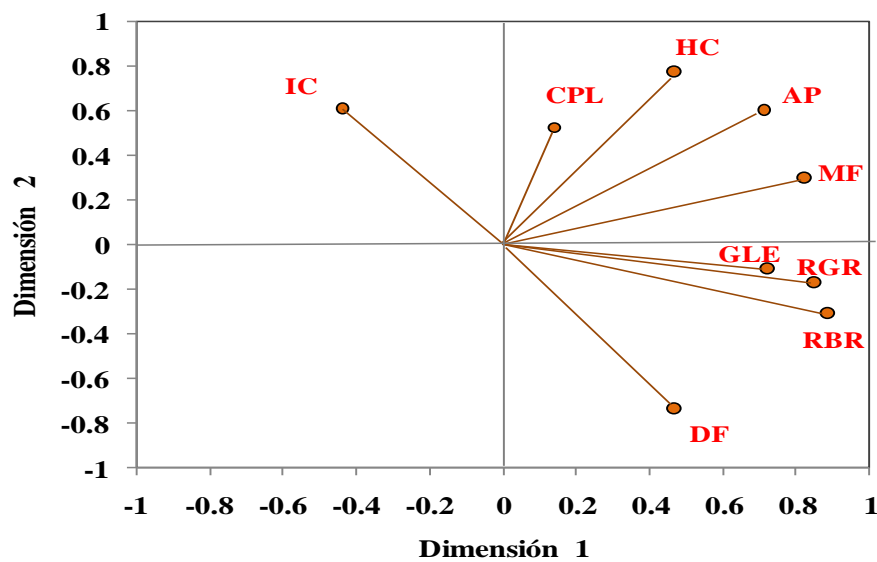


Figura 1. Círculo de correlaciones de variables cuantitativas y cualitativas más discriminantes en el germoplasma de cañahua.

También la Figura 1, revela que las plantas de cañahua de ciclos fenológicos tardíos, desarrollan mayor altura de planta, con amplia variabilidad de colores de planta y pertenecen a hábitos Lasta y Saihua. Contrariamente las plantas más bajas, que representan a hábitos de crecimiento Pampalasta son de ciclos fenológicos precoces y menor variabilidad de colores de planta.

### Análisis de correspondencia múltiple

Este análisis permitió identificar importantes asociaciones proyectadas en el plano bifuncional. Se advierte una agrupación de estados de variables situados en el segundo cuadrante, muy cercanos al

origen de coordenadas, entre las que se encuentran HC-2 (hábito Lasta), AP-3 (Mayor altura de planta), GLE-2, GLE3 y MF3 (máximos valores fenológicos), IC-2 (regulares índices de cosecha), DF-2 (regulares diámetros de cobertura foliar), LH-3 (hojas grandes), DIG-3 (máximos diámetros de granos); RGR-2 y RGR-3 (mayores rendimientos de grano); y RBR-2, RBR-3 y RBR-4 (regulares a mayores rendimientos de broza) (Figura 2). Este grupo de estados describe muy bien accesiones de cañahua con un hábito de crecimiento Lasta, que presentan hojas y granos grandes, de cobertura foliar intermedia, y que consecuentemente presentan buenos rendimientos de grano y broza. Asimismo, debajo del origen de



Tabla 1. Perfil de siete subgrupos identificados en el germoplasma de cañahua.

Variables discriminantes		Promedios en siete subgrupos						
		G1: Lasta			G2: Pampalasta		G3: Saihua	
		SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7
Grano lechoso (días)	GLE	105	111	113	96	92	101	97
Madurez fisiológica (días)	MF	157	164	164	123	123	143	140
Longitud de la hoja (cm)	LH	2,9	3,0	2,9	1,4	2,0	2,4	2,2
Altura de planta (cm)	AP	52,7	57,5	49,0	7,3	27,8	45,4	40,8
Diámetro cobertura foliar (cm)	DF	38,7	20,9	31,8	35,5	55,3	24,5	16,7
Rendimiento de grano (g.planta <sup>-1</sup> )	RGR	25,1	11,7	15,2	2,12	11,4	10,6	5,5
Rendimiento de broza (g.planta <sup>-1</sup> )	RBR	80,8	43,2	44,0	10,6	44,3	20,4	9,6
Índice de cosecha	IC	0,24	0,21	0,26	0,16	0,21	0,33	0,36
Diámetro de grano (mm)	DIG	1,10	1,04	1,07	0,97	1,04	1,08	1,07
Hábito de crecimiento	HC	2	2	2	1	1	3	3
Color de planta	CPL	13	15	12	5	16	12	14
Color de perigonio	CPG	7	6	9	8	5	12	11
Número de accesiones		181	56	208	45	28	88	138
Porcentaje		24,3	7,5	27,9	6,1	3,8	11,8	18,5

Estos subgrupos presentan las características propias del tipo Lasta (plantas altas, con hojas grandes, con ciclo fenológico tardío, pero con los mayores rendimientos de broza y grano, sin embargo, presentan índices de cosecha regulares), pero se diferencian por el diámetro de cobertura foliar, por el rendimiento de broza y por el rendimiento de grano (Tabla 1 y Figura 3). La mayor cantidad de accesiones en estudio corresponden a estos tres subgrupos, y por las características que presentan, pueden incluirse en trabajos de selección con el propósito de usar el material genético promisorio para la producción de grano y forraje.

El grupo G2 Pampalasta, se divide en los subgrupos SG4 y SG5 conformados por 45 y 28 accesiones, respectivamente. Estos subgrupos presentan características de las accesiones de cañahua silvestre, que se diferencian por su mayor diámetro de cobertura foliar, menor altura de planta, y bajos en

rendimiento de grano, broza e índice de cosecha (Tabla 1). Se pueden utilizar como progenitores en trabajos de mejoramiento genético con el propósito de obtener variedades precoces de cañahua y también se podrían usar como cobertura natural en trabajos de recuperación suelos degradados.

El grupo G3 Saihua, contiene al subgrupo SG6 con 88 accesiones y al subgrupo SG7 con 138 accesiones. Estos subgrupos, se diferencian por el diámetro de cobertura foliar, rendimiento de grano y rendimiento de broza. El aspecto erguido de las accesiones de estos dos subgrupos son la expresión de su mayor altura de planta y menor diámetro de cobertura foliar, características que son favorables para la siembra en surcos, para la cosecha manual y mecanizada en parcelas de producción. Además son accesiones que por su aspecto compacto y erguido tienden a perder poca cantidad de grano lo que influye en un mayor índice de cosecha.

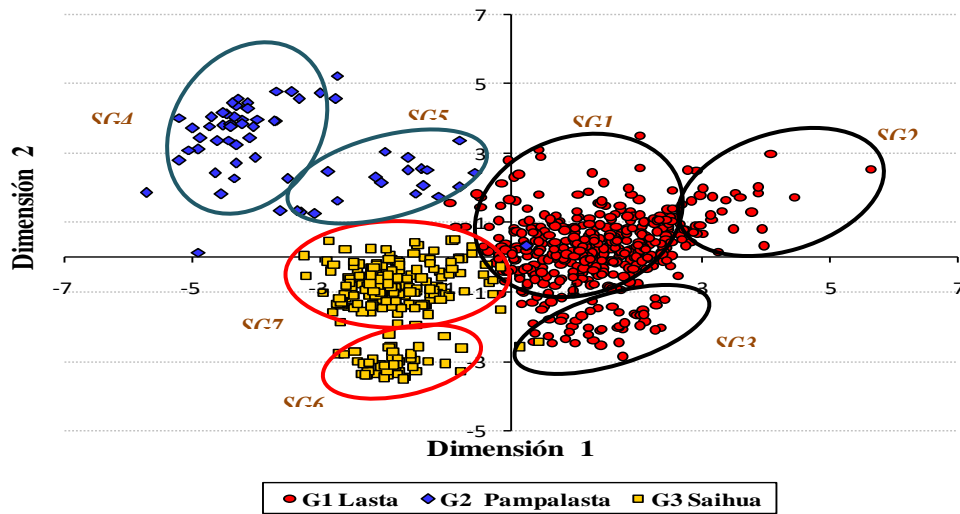


Figura 3. Distribución espacial de las accesiones de cañahua en tres grupos y siete subgrupos identificados con la técnica K-medias.

Con la aplicación del análisis discriminante múltiple se confirmó que en la colección de germoplasma de cañahua existen tres grupos y siete subgrupos de diferente variabilidad genética sobre un total de 744 accesiones analizadas. La Figura 4 muestra la distribución espacial de las accesiones clasificadas en los siete subgrupos sobre las dos primeras funciones

discriminantes. Se advierte que los subgrupos SG1, SG2, SG3, SG6 y SG7, que corresponden a los grupos G1 Lasta y G3 Saihua, agrupan a un mayor número de accesiones de cañahua cultivada, las que debido a esta característica, se encuentran próximos entre sí, cercanas al origen.

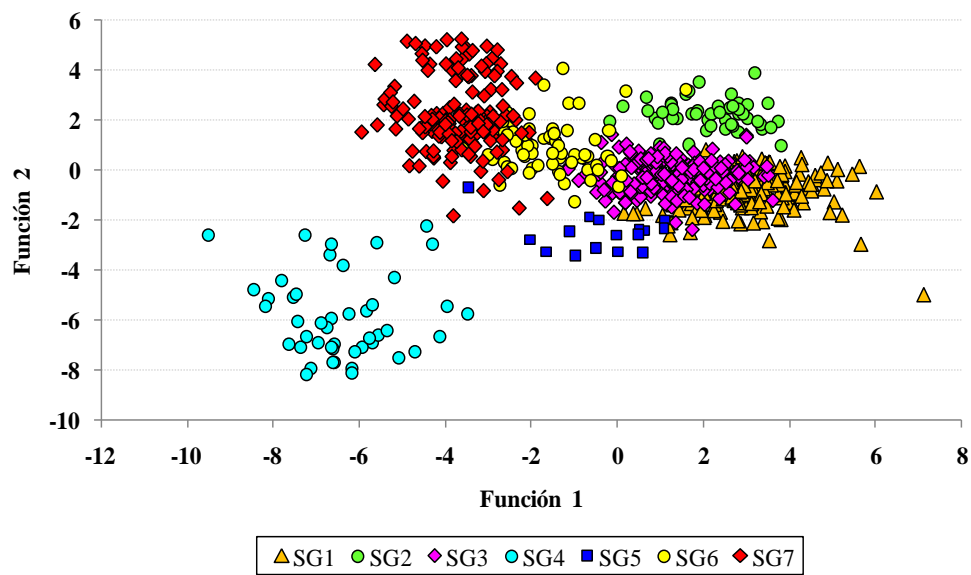


Figura 4. Distribución espacial de siete subgrupos identificados en la colección de germoplasma de cañahua por la técnica del análisis discriminante múltiple.

Estos resultados corroboran lo descrito en el Análisis de Correspondencia Múltiple donde se mostró que los estados de las variables de las variedades del tipo Pampalasta se encuentran también muy alejados del origen, lo que nos indica que las cañahuas silvestres son diferentes a las cañahuas cultivadas. Esto permite sugerir que podrían no corresponder a la especie *Ch. pallidicaule*, y probablemente se trate de otra especie del género *Chenopodium*. Para llegar a una conclusión definitiva sobre estos resultados preliminares, es necesario profundizar estudios de tipo etnobotánico en áreas de distribución y comunidades productoras, estudios taxonómicos, citológicos y moleculares que permitan rechazar o aceptar esta hipótesis.

## CONCLUSIONES

El análisis descriptivo evidenció una amplia variabilidad genética en cuanto a ciclo fenológico, tamaño de planta, cobertura foliar, rendimientos e índices de cosecha. Las correlaciones establecidas, permitieron identificar las variables agromorfológicas que son componentes del rendimiento y que facilitan los procesos de selección.

Con los análisis de componentes principales y componentes principales no lineal se estableció que las variables más discriminantes fueron grano lechoso, grano pastoso, rendimiento de broza, ancho de hoja, longitud de hoja, floración, altura de planta, diámetro de tallo, madurez fisiológica, rendimiento de grano, diámetro de cobertura foliar, número de ramas y longitud de peciolo, color de perigonio, color de tallo, color de planta y hábito de crecimiento.

El análisis de correspondencia múltiple, de agrupamiento y discriminante múltiple permitió diferenciar y ratificar las características propias de accesiones de cañahua cultivada (Lasta y Saihua) y de cañahua silvestre (Pampalasta).

La variabilidad genética de la colección de cañahua está distribuida en tres grupos y siete subgrupos. Los subgrupos SG1, SG2 y SG31 con 445 accesiones de tipo Lasta, de ciclo tardío con buenos rendimientos de grano y broza que pueden ser utilizados en la producción de semilla y forraje; los subgrupos SG4 y SG5 con 73 accesiones de cañahua silvestre que por su precocidad, porte bajo y amplia cobertura foliar pueden utilizarse como cobertura natural en suelos degradados; y los subgrupos SG6 y SG7 con 226 accesiones de tipo Saihua, de buena altura de planta y estrecha cobertura foliar y pueden facilitar la cosecha manual o mecanizada en parcelas de producción.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio de la variabilidad genética de la colección de germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), fue apoyado por el Área de Recursos Genéticos de la Fundación PROINPA y por los Proyectos “Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Altoandinos, en el marco del SINARGEAA”, “NUS/IFAD – Especies Olvidadas y Subutilizadas”, “Quinoa un Cultivo Subutilizado de la Región Andina – Fundación McKnight” y por el Proyecto “LATINCROP Estrategia integrada para la conservación y uso de la agrobiodiversidad latinoamericana subutilizada”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black Wc, 1992. Multivariate data analysis. Macmillan Publishing Company. New York, United States.
- Hidalgo R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Franco L., e Hidalgo (eds.). Análisis estadístico de datos. IPGRI. Roma, Italia. pp. 2-27.



Olmos S, Di Renzo M. 2004. Métodos de análisis de la variabilidad, consideraciones estadísticas y biológicas para estimar variabilidad Genética. En: Gabriela Levitus, Viviana Echenique, Clara Rubinstein, Esteban Hopp, Luis Mroginski (eds.). Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Buenos Aires Argentina. pp 187 – 197.

Pinto M, Rojas W, Soto J.L. 2008. Ficha técnica de la variedad de cañahua Illimani, Fundación PROINPA Regional Altiplano. La Paz, Bolivia.

Pinto M. 2008. Mapas de distribución potencial y de riesgos climáticos de las colecciones de germoplasma de quinua y cañahua. En: Rojas, W. (ed.). Informe Anual 2008, Proyecto: Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Altoandinos, en el marco del SINARGEAA. La Paz, Bolivia. pp 4-45.

Pinto M. 2011. Estudio de la variabilidad genética de la colección de germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de Bolivia. Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

Rojas W, Pinto M., Bonifacio A., Gandarillas A. 2010. Banco de germoplasma de granos andinos. En: Rojas W, Soto JL, Pinto M, JagerM, Padulosi (eds.). Granos Andinos Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity Internacional, Roma, Italia. pp 177.