

LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE QUINUA DE BOLIVIA

Wilfredo Rojas¹ y Milton Pinto¹

¹Fundación PROINPA, Regional Altiplano. La Paz, Bolivia

Contacto: w.rojas@proinpa.org

Resumen

La quinua es un cultivo estratégico que juega un rol esencial en la seguridad y soberanía alimentaria del país, contribuye fuertemente a las necesidades básicas de la población y es parte de nuestro patrimonio ancestral y cultural. La quinua posee características intrínsecas sobresalientes, entre ellas su amplia variabilidad genética cuyo pool genético es extraordinariamente valioso que se expresa en la variabilidad de colores de planta, inflorescencia y semilla, tipos de inflorescencia, duración del ciclo de cultivo, el valor nutritivo (proteína) y agroindustrial, y contenidos de saponina y betacianina en las hojas. Esta diversidad de características le da a la quinua una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, resistencia a heladas, sequía, salinidad o acidez). A pesar de que la quinua alberga una amplia variabilidad genética, no está siendo usada adecuadamente debido al desconocimiento del potencial de su diversidad y aptitudes de sus variedades y sus formas de utilización. Tanto el consumo interno como las exportaciones que se realizan corresponden a materia prima (grano que se obtiene de las cosechas) y para alcanzar los volúmenes de la demanda los agricultores y empresas acostumbra a mezclar un conjunto de variedades. Esta forma de uso del grano de quinua conduce a una verdadera subutilización del potencial genético que tiene el cultivo, más aún si consideramos que las zonas de producción de nuestro país son parte del centro de origen y diversidad de la quinua. La colección boliviana de germoplasma de quinua cuenta con más de 3100 accesiones y representa la mayor diversidad genética a nivel mundial y respecto a otros países de la región. Es una tarea de todos los bolivianos valorizar el patrimonio genético de quinua que tenemos, reconociendo que son parte de nuestra identidad cultural, sintiéndonos orgullosos de consumir y ayudar a conservar su diversidad. En consideración a lo indicado, se hace una descripción de la diversidad genética de quinua, desde los centros de diversidad que existen en el país, las características agromorfológicas, de valor nutritivo y agroindustrial que tiene la colección boliviana de germoplasma y que debemos tomar en cuenta al momento de usar el verdadero potencial de su diversidad genética y las especies silvestres que son parte de la colección de germoplasma de quinua.

Palabras clave: diversidad genética, quinua

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) fue durante miles de años el principal alimento de las culturas antiguas de los Andes y está distribuida en diferentes zonas agroecológicas de la región. En la actualidad la quinua se encuentra en franco proceso de expansión porque representa un gran potencial para mejorar las condiciones de vida de la población del país, de los Andes y del mundo moderno.

La quinua es un cultivo que posee características intrínsecas sobresalientes, entre ellas: su amplia variabilidad genética cuyo pool genético es extraordinariamente estratégico para desarrollar variedades y productos de alta calidad; su capacidad de adaptabilidad a condiciones adversas de clima y suelo donde otros cultivos no pueden desarrollarse; su calidad nutritiva representada por su composición de aminoácidos esenciales, oligoelementos, vitaminas, aceite y fibras, que le convierte en un alimento funcional e ideal para el organismo y; su diversidad de formas de utilización tradicional, no tradicional y en innovaciones industriales.

La colección boliviana de germoplasma con más de 3100 accesiones dispone de la mayor diversidad de quinua a nivel mundial y respecto a otros países de la región. Este ‘grano andino’ más que otros cultivos andinos, resulta ser un cultivo muy boliviano, fuertemente arraigado a las costumbres locales, al consumo y a la producción. Bolivia es el país no solo con la mayor diversidad genética de quinua, sino también con las mayores superficies cultivadas del mundo, con las mayores tasas de exportación; factores que muestran su importancia estratégica para el país.

Si bien la quinua alberga una amplia variabilidad genética, no está siendo usada adecuadamente debido al desconocimiento del potencial de su diversidad y aptitudes de sus variedades y sus formas de utilización. Tanto el consumo interno como las exportaciones que se realizan corresponden a materia prima (grano que se obtiene de las cosechas) y para alcanzar los volúmenes de demanda los agricultores y empresas acostumbra a mezclar un conjunto de variedades.

Si bien las empresas y/o asociaciones del país han volcado su esfuerzo a la exportación de materia prima, que es lo que predomina en las ventas al exterior y en el interior del país, varias empresas desde hace más de una década han iniciado la transformación de productos y derivados a base de quinua y en los últimos años la diversidad de productos transformados se ha incrementado y en diferentes presentaciones. Sin embargo, estos productos transformados se elaboran con quinua mezclada (diferentes variedades) y es por ello que no se puede alcanzar la misma calidad entre una y otra elaboración del producto transformado.

Este proceso que se está siguiendo en la forma de uso del grano de quinua conduce a una verdadera subutilización del potencial genético que tiene el cultivo, más aún si consideramos que la zona andina de nuestro país es parte del centro de origen y diversidad de la quinua, y se dispone de una colección de germoplasma de quinua con la mayor diversidad genética a nivel mundial.

En consideración a lo indicado, los objetivos del trabajo fueron: a) describir los centros de diversidad del cultivo de quinua en el país; b) describir la diversidad genética de la

colección boliviana de germoplasma de quinua en cuanto a las características agromorfológicas, de valor nutritivo y agroindustrial y; c) describir la clasificación taxonómica del germoplasma de quinua silvestre.

Material y Métodos

Se realizó la revisión bibliografía relacionada al cultivo y las publicaciones que fueron generadas de los trabajos llevados a cabo con la colección boliviana de germoplasma de quinua en los siguientes informes de proyectos: “Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Andinos en el marco del Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación – SINARGEAA”; proyecto UNEP/GEF “Conservación complementaria ex situ – in situ de especies silvestres de quinua y cañahua”, proyecto NUS IFAD “Especies Olvidadas y Subutilizadas”, proyecto Quinoa un Cultivo Subutilizado de la Región Andina apoyado por la Fundación McKnight, y ejecutados por la Fundación PROINPA.

Resultados y discusión

1 Centros de origen y de diversidad de la quinua

Según el científico ruso Vavilov el “centro de origen” de una planta cultivada es aquella región con la mayor diversidad de tipos, tanto de plantas cultivadas como de sus progenitores silvestres. Desde que se establecieron estos centros de origen, todos los autores que escribieron sobre el origen de la quinua coinciden al indicar que es de los Andes de Perú y Bolivia (Gandarillas 1979).

La región Andina es el lugar donde existe la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada que todavía se pueden encontrar en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos. Bajo esta consideración y según las condiciones agroecológicas donde se desarrollan las especies cultivadas, es posible encontrar subcentros de diversidad y variabilidad donde se presentan diferentes características botánicas, agronómicas y de adaptación de las especies.

Las evaluaciones de la variabilidad genética de quinua disponible en la región, permitió agrupar a las quinuas en cinco grupos mayores según sus características de adaptación y algunas morfológicas de alta heredabilidad, fácilmente detectables y capaces de mantenerse en toda el área de difusión. A continuación se describen los cinco grupos de quinua de acuerdo a Lescano (1989) y a Tapia (1990):

1. **Quinuas de nivel del mar:** Se han encontrado en las zonas de Linares y Concepción (Chile) 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). Estas quinuas guardan gran similitud con la

Chenopodium nuttalliae (Huahzontle) que se cultiva en forma aislada en México a 20° Latitud Norte.

2. **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 farinosa*). Este grupo de quinuas se cultivan normalmente en forma intercalada con maíz en 5 a 6 surcos transversales, como cultivo de bordes de otros cultivos, o en forma dispersa en el mismo campo.
3. **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.
4. **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 (> a 2,2 mm de diámetro), se las conoce como “Quinoa Real” y sus granos se caracterizan por presentar un pericarpio grueso y con alto contenido de saponina.
5. **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 1.500 y 2.200 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.

De estos cinco grupos mayores, cuatro de ellos se encuentran en Bolivia (Valles Interandinos, Altiplano, Salares y Yungas). Rojas (2003) al estudiar la variabilidad genética de la colección boliviana de germoplasma de quinua ha determinado siete sub-centros de diversidad en Bolivia: un sub-centro en los Salares de Potosí y Oruro, dos sub-centros en el Altiplano ‘Norte’ en La Paz, un sub-centro en el Altiplano ‘Centro’ en La Paz y Oruro, un sub-centro ubicado geográficamente en la transición Salares y Altiplano, y dos sub-centros en los Valles Interandinos de Cochabamba, Chuquisaca y Potosí.

Esta distribución de los sub-centros de diversidad del cultivo en Bolivia, muestran que la quinua es parte del sistema de producción no solo del Altiplano Sur, sino también del Altiplano Centro, Altiplano Norte y de los Valles interandinos, sub-centros que albergan

una amplia diversidad genética que debemos prestar atención y explotar adecuadamente el pool genético que tienen sus variedades.

Estos sub-centros del cultivo expresan su diversidad a través de la variabilidad de colores de planta, inflorescencia y semilla; tipos de inflorescencia, duración del ciclo de cultivo, el valor nutritivo (proteína) y agroindustrial, y contenidos de saponina y betacianina en las hojas. Esta diversidad de características le da a la quinua una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, resistencia a heladas, sequía, salinidad o acidez).

2 Caracterización y evaluación del germoplasma de quinua

En los más de 40 años de existencia del germoplasma de quinua de Bolivia, los trabajos de caracterización y evaluación centraron sus esfuerzos al registro de información agromorfológica. En el año 2001 se publicó el primer catálogo de la colección boliviana de germoplasma de quinua (Rojas et al. 2001). El catálogo describe la variabilidad genética de 2701 accesiones de quinua a través de 59 variables cualitativas y cuantitativas. Si bien la información fue registrada en base al ‘Descriptor de Quinua’ (IBPGR 1981), el catálogo incluye muchas más variables que fueron identificadas en los distintos trabajos de caracterización y evaluación que se realizaron desde la década de los 80’.

Posteriormente se logró hacer una nueva propuesta de ‘Descriptor para Quinua’ que fue validada entre investigadores de Ecuador, Perú y Bolivia (Rojas et al. 2003). Este documento está sirviendo de base para la publicación de la nueva lista de ‘Descriptor para Quinua y sus Parientes Silvestres’ que está siendo editado a la cabeza de Bioversity International y en coordinación con diferentes instituciones que trabajan con el cultivo en todo el mundo, se presentará en julio próximo en el Congreso Mundial de Quinua.

A partir del año 2001 en el germoplasma de quinua se iniciaron los trabajos de evaluación del valor nutritivo y de variables agroindustriales, con el fin de orientar el uso del germoplasma en la elaboración de productos transformados a base de quinua.

2.1 Variables agromorfológicas

Desde la década de los 80’ se llevaron a cabo distintos trabajos de caracterización y evaluación del germoplasma de quinua de Bolivia. Producto de ello, se logró estudiar la variabilidad genética morfológica y agronómica del germoplasma de quinua que se observa fenotípicamente durante el ciclo de cultivo. Si bien esta información está publicada en los catálogos de germoplasma, se presenta a continuación los parámetros de algunas variables de interés (Rojas et al. 2001; Rojas 2003; Aroni et al. 2003; Rojas et al. 2009; Bonifacio et al. 2012):

Hábito de crecimiento.- A pesar que la ramificación y hábito de crecimiento son influenciados por la densidad de siembra, se pudo identificar en la colección de germoplasma de quinua cuatro diferentes hábitos de crecimiento claramente definidos (Figura 1).

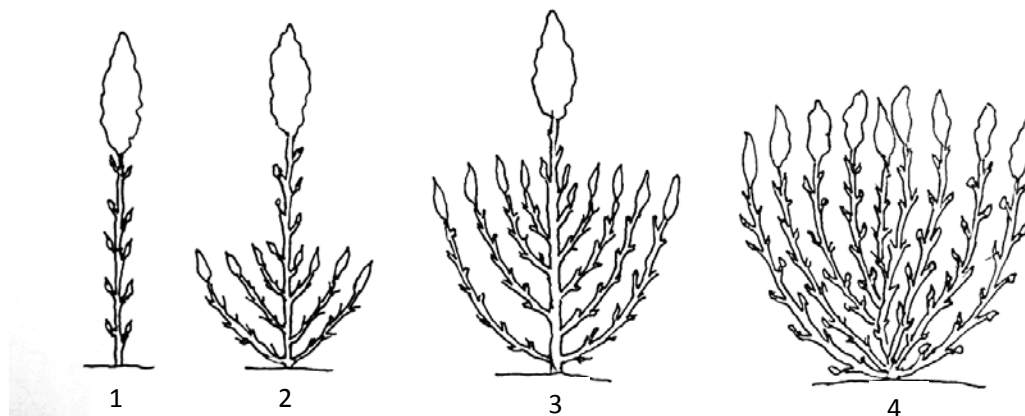


Figura 1. Hábitos de crecimiento de la quinua: 1 Simple; 2 Ramificado hasta el tercio inferior; 3 Ramificado hasta el segundo tercio y; 4 Ramificado con panoja principal no diferenciada, respectivamente.

En la quinua las arquitecturas de planta son muy variables no solo entre variedades sino también a nivel intra-poblacional y que dificultan la adaptación y/o diseño de prototipos para una futura mecanización de la cosecha y otras labores del cultivo que demanda mucha mano de obra. Por ello, es importante trabajar y seleccionar variedades tomando en cuenta el hábito de crecimiento, 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.

Forma y color de la panoja.- Es posible encontrar tres formas de panoja: ‘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’ (Figura 2).

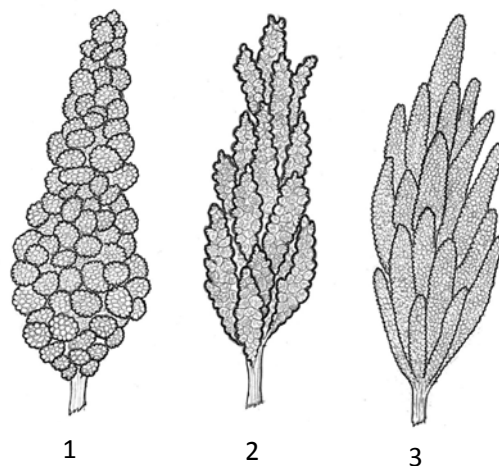


Figura 2. Forma de panoja: 1 Glomerulada; 2 Intermedia y; 3 Amarantiforme

Entre el ‘despunte de panoja’ y la ‘floración’ se expresan cuatro colores de panoja que son típicos en el cultivo de quinua: verde, púrpura, mixtura y rojo. Sin embargo, conforme van formado el grano y alcanzando la madurez fisiológica, las panojas de quinua van tornando diversos colores y combinaciones de colores: blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café, gris, negro, mixturas y verde silvestre.

Recientemente, a través de una iniciativa llevada adelante conjuntamente con la Asociación de Chefs de La Paz, se han iniciado pruebas de laboratorio y de cocina para evaluar el valor nutritivo y la aptitud culinaria de formas y colores de panojas y de hojas frescas de quinua para ser usadas como verduras. Estas pruebas iniciales dieron excelentes resultados, mostrando el gran potencial alimenticio del material fresco de quinua, tal cual se utiliza la espinaca. Gracias a la creatividad de los chefs las panojas de quinua se han convertido en hermosas y sabrosas creaciones, mostrando así una nueva línea de posibilidades para la quinua. Esta forma de uso nos muestra claramente que las creaciones que se pueden hacer con la cocina le dan vida y sabor a la diversidad de quinua, usando también las inflorescencias, hojas y no solo los granos, contribuyendo de esta forma a su conservación.

Color y forma del grano.- Los granos de quinua cuando 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 el germoplasma de quinua se han caracterizado 66 colores de grano (Cayoja, 1996). En cuanto a la forma del grano de quinua, en el germoplasma se conservan cuatro formas de grano (Figura 3). Las formas cilíndrica y lenticular por el aspecto del endosperma les convierte en granos que se puede explotar adecuadamente para la elaboración de productos que dependiendo de su contenido de amilosa y amilopectina, se pueden usar adecuadamente para flanes, budines e

instantáneos, asimismo, dependiendo del diámetro de gránulo del almidón se pueden usar para la elaboración de expandidos y pipocas

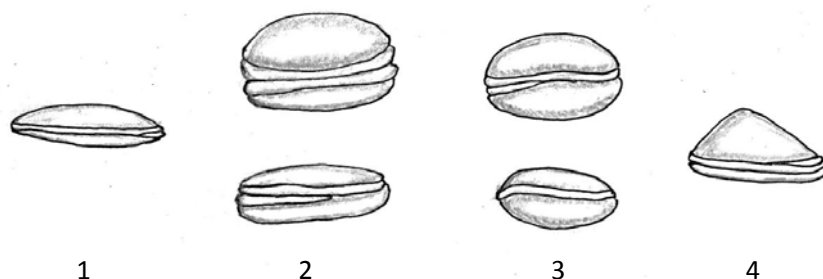


Figura 3. Formas de grano de quinua: 1 lenticular; 2 cilíndrica; 3 elipsoidal y, 4 cónica, respectivamente

En nuestro país desde la década de los 60 que se inició los trabajos de investigación sobre la mejora genética del cultivo de quinua, las actividades se centraron en la búsqueda de variedades de grano grande, de color blanco y de alto rendimiento. Sin embargo, durante este proceso de cambios favorables en el mercado de la quinua y los cambios en el comportamiento del clima han hecho que también se vayan ajustando las prioridades del mejoramiento del cultivo, sin dejar de lado la productividad, a finales de la década de los 90' se consideró el color café y color negro de los granos, conocidos en el mercado internacional como 'quinua roja' y 'quinua negra', respectivamente.

Esta situación también se ve reflejada en la forma de consumo que estamos acostumbrados en el país, cuando adquirimos la quinua como materia prima para la elaboración de una comida alcanzamos a diferenciar entre 'quinua blanca', 'quinua roja' y 'quinua negra' o un mix entre los tres colores. Sin embargo, la 'quinua blanca' que consumimos viene de una diversidad de colores y variedades de quinua que al beneficiarlas alcanzan el color blanco que observamos en su presentación, similar situación se observa con la 'quinua roja' y la 'quinua negra'. Esta forma de uso del grano de quinua conduce a una verdadera subutilización del potencial genético que tiene el cultivo.

Diámetro de grano.- El rango de variación del diámetro del grano en el germoplasma de quinua varía desde 1.03 mm a 2.66 mm (Cuadro 1), disponiéndose de suficiente variabilidad que podría ser muy bien explotada a través del mejoramiento genético (Rojas 2003). Las quinuas con granos pequeños proceden principalmente del Altiplano Norte, y también por la mayoría de las accesiones que proceden de los valles interandinos y de nivel de mar, mientras que por el contrario las accesiones de grano grande tienen como centro de origen a las áreas del intersalar de Uyuni y Coipasa que corresponde al Altiplano Sur del país.

Según el IBNORCA (2007) el grano de quinua por su diámetro se clasifica en cuatro categorías: tamaño ‘extragrande’ (mayores a 2,20 mm), tamaño ‘grande’ (1,75 a 2,20 mm), tamaño ‘mediano’ (1,35 a 1,75 mm) y tamaño ‘pequeño’ (menores a 1,35 mm). En la categoría ‘extragrande’ se encuentran la ‘Quinua Real’, cuya característica principal es el tamaño grande de sus granos siendo muy apreciada por el mercado internacional. La Quinua Real es un producto originario de nuestro país, cuya calidad, reputación se debe exclusivamente al medio geográfico en el que se produce, incluyendo los factores naturales y humanos propios del Altiplano Sur. Estas características intrínsecas de la Quinua Real favorecen para lograr su Denominación de Origen.

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de tendencia central y dispersión para características cuantitativas del germoplasma de quinua de Bolivia

Componente	Mínimo	Máximo	Media	SD
Botón floral (días)	38	95	51,72	5,66
50% de floración (días)	60	145	93,5	12,04
Madurez fisiológica (días)	110	209	176,89	19,79
Índice de cosecha	0,06	0,87	0,4	0,12
Diámetro de tallo (mm)	10,16	26,26	17,12	2,66
Longitud de panoja (cm)	15,4	62,8	37,41	8,09
Diámetro de panoja (cm)	2,86	19,42	6,85	1,66
Altura de planta (cm)	54	174,2	110,84	17,51
Diámetro del grano (mm)	1,03	2,66	1,96	0,23
Peso de 100 granos (g)	0,12	0,6	0,27	0,08
Contenido de saponina (cc)	0	10,88	3,16	3,02

Ciclo vegetativo.- En el país es posible encontrar accesiones que alcanzan la madurez fisiológica en 110 días hasta accesiones que maduran en 209 días (Cuadro 1). Esta característica es fuertemente dependiente del genotipo. Las quinuas de los Valles Interandinos son más tardías que las del Altiplano. El amplio rango de variación del ciclo vegetativo es alentador para la adaptación del cultivo a la variabilidad de clima y cambio climático.

En los últimos años la variabilidad del clima y los cambios en el régimen de lluvias ha hecho que la fechas de siembra de la quinua se vayan moviendo a septiembre – octubre y en algunos casos en noviembre, exigiendo la disponibilidad de variedades precoces con características de grano grande, con rendimientos atractivos y que garantice la producción dentro del ciclo productivo. Bajo esta consideración, el criterio de precocidad (noventonas) es una alternativa que se puede aprovechar muy bien del germoplasma de quinua y de esta

forma ampliar la posibilidad de siembra hasta noviembre y lograr cosechas dentro del ciclo de cultivo.

Rendimiento de grano por planta.- Se registraron rendimientos por planta hasta de 250 g, esta variable también es fuertemente dependiente del genotipo y a la vez de las variables componentes de rendimiento como el diámetro del tallo, altura de planta, longitud y diámetro de la panoja, diámetro del grano, entre otras.

2.2 Variables de valor nutritivo y agroindustrial

En el año 2001 se iniciaron los trabajos de evaluación del valor nutritivo de la colección de germoplasma de quinua, y posteriormente la evaluación de variables agroindustriales, con el fin de orientar el uso del germoplasma en la elaboración de productos transformado a base de quinua. Un resumen de los parámetros estadísticos estimados para cada característica del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua se presenta en el Cuadro 2, los cuales están expresados sobre base seca (Rojas y Pinto 2006; Rojas et al. 2007; Rojas y Pinto 2008). Se puede observar que las accesiones muestran una amplia variabilidad para la mayoría de las características estudiadas, lo cual es un indicativo del potencial genético del germoplasma de quinua.

Cuadro 2. Características de valor nutritivo – agroindustrial y estadísticos simples de la germoplasma de quinua de Bolivia (n = 555)

Componente	Mínimo	Máximo	Media	SD
Proteína (%)	10,21	18,39	14,33	1,69
Grasa (%)	2,05	10,88	6,46	1,05
Fibra (%)	3,46	9,68	7,01	1,19
Ceniza (%)	2,12	5,21	3,63	0,50
Carbohidratos (%)	52,31	72,98	58,96	3,40
Energía (Kcal/100 g)	312,92	401,27	353,36	13,11
Granulo almidón (μ)*	1	28	4,47	3,25
Azúcar invertido (%)*	10	35	16,89	3,69
Agua de empaste (%)*	16	66	28,92	7,34

SD = Desviación estándar; Análisis realizado por LAYSAA; *(n=266)

En las accesiones evaluadas la cantidad de proteína fluctuó de 10.21 a 18.39% (Cuadro 2), estos valores son más amplios que al rango de 11.6 – 14.96% que reportan βo (1991) y Morón (1999) citados por Jacobsen y Sherwood (2002). Si bien la cantidad de proteína es un aspecto básico, la calidad es lo propio y depende del contenido de aminoácidos esenciales. La calidad de proteína de la quinua, es superior a las proteínas de los cereales.

La Figura 4 muestra la variación y distribución del contenido de proteína en función a la cantidad de accesiones. Se puede observar que la mayor frecuencia de accesiones de quinua tiene un contenido de proteína que varía de 12 a 16,9%, mientras que existe un grupo de 42 accesiones cuyo contenido fluctúa entre 17 a 18,9%. Este último grupo se constituye en una fuente importante de genes para impulsar el desarrollo de productos con altos contenidos de proteína. Es importante enfatizar que en comparación con la proteína de otras especies vegetales, la proteína de la quinua es altamente digestible, es decir el cuerpo humano aprovecha casi el 100% de la proteína que se ingiere.

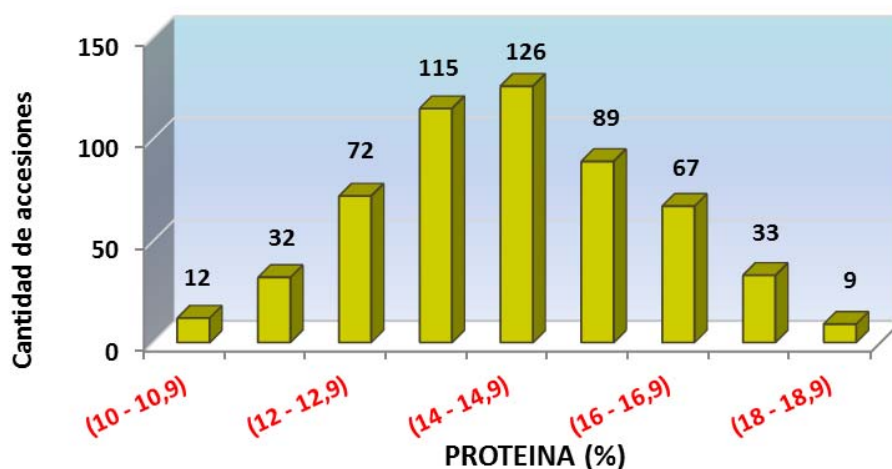


Figura 5. Variación del contenido de proteína de 555 accesiones del germoplasma de quinua

El contenido de grasa fluctuó entre 2,05 a 10,88% con un promedio de 6,39% (Cuadro 2). El rango superior de estos resultados es mayor al rango de 1.8 a 9.3% que reportan β , 1991 y Morón, 1999 (citados, Jacobsen y Sherwood, 2002), quienes indican, que el contenido de grasa de la quinua tiene un alto valor debido a su alto porcentaje de ácidos grasos no-saturados. Estos valores del germoplasma de quinua son expectables para la obtención de aceites vegetales finos para el uso culinario y cosmético.

La variación genética del tamaño de gránulo de almidón fluctuó entre 1 a 28 μ (Cuadro 2 y Figura 6), esta variable permite dar una orientación agroindustrial para realizar las distintas mezclas con cereales y leguminosas para establecer el carácter funcional de la quinua. Es muy importante que el gránulo de almidón sea pequeño, para facilitar el proceso de texturizado y es fácil de insuflar porque los espacios de gránulo a gránulo permiten introducir mayor cantidad de aire para el intercambio y formación de burbujas de aire, lo cual permite obtener pipocas de calidad (Rojas *et al.* 2007).

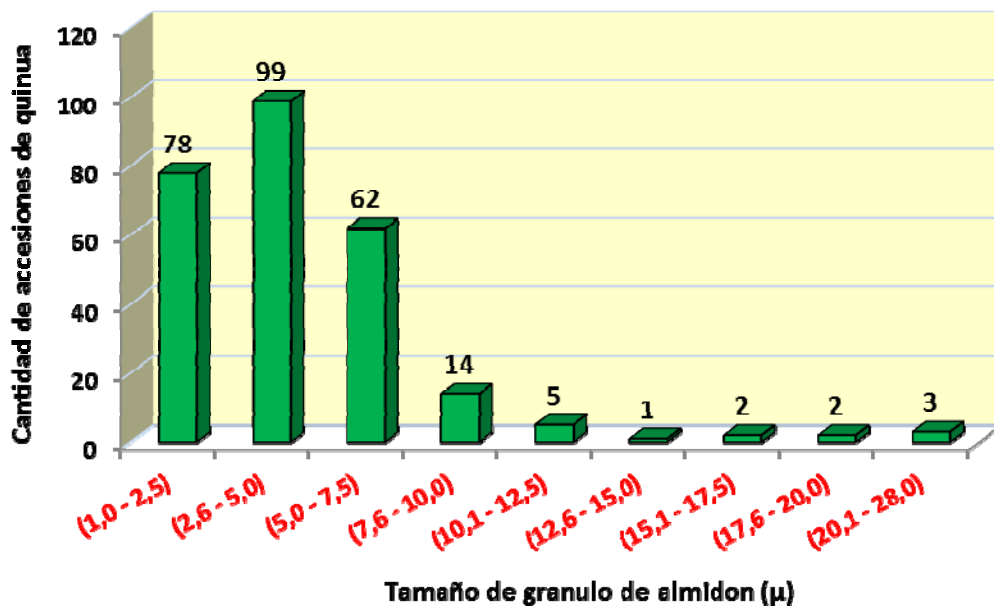


Figura 6. Variación en el tamaño de granulo de almidón en 266 accesiones del germoplasma de quinua

El contenido de azúcares invertidos varió de 10% hasta 35%, esta variable expresa la cantidad de azúcar que inicia la fermentación por el desdoblamiento o inversión, vale decir el parámetro para determinar la calidad de los carbohidratos, además que es un parámetro importante por el que se puede clasificar a la quinua como alimento apto para diabéticos. El porcentaje óptimo del contenido de ‘azúcar invertido’ es \geq a 25%. Las accesiones de la colección de germoplasma que cumplen esta condición tienen aptitudes para ser usadas en mezclas con harinas para procesar panes, cereales, etc., lo cual dejaría una sensación bucal agradable (siempre y cuando se elimine toda la saponina del exterior del grano).

La variable ‘porcentaje de agua de empaste’ muestra un rango de variación de 16 a 66%. Esta variable mide la capacidad de absorción de agua del almidón para los procesos de pastificio, panificación y bollería. El valor ideal para este parámetro en aplicación industrial es \geq a 50%. Considerando esta característica, el germoplasma de quinua también se constituye en una fuente importante de genes para desarrollar este tipo de productos.

El incorporar el concepto de ‘diversidad genética’ en la elaboración de productos transformados permitirá usar en forma apropiada el potencial genético que tiene la quinua. En resumen es posible seleccionar y obtener variedades de quinua: con porcentajes de proteína más altos (\geq 18%) y lograr productos más atractivos; con diámetros de gránulo de almidón pequeños (\leq a 3 μ) para obtener pipocas esplendidas y homogéneas, con

porcentajes estables de amilosa y amilopectina para la elaboración de flanes, papillas gelatinizadas, cremas instantáneas, fideos, entre otros. Esta forma de aprovechar y usar la quinua va en paralelo con la conservación y uso de la diversidad genética.

3 Identificación taxonómica del germoplasma de quinua silvestre

En la colección boliviana de germoplasma existen 327 accesiones de quinua silvestre. Durante el periodo 2003 – 2008 se realizó la identificación taxonómica de las 327 accesiones de este germoplasma, el trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro Quipaquipani de PROINPA y la identificación en el Herbario Nacional de Bolivia. Fueron identificadas 8 especies (Figura 7) *Chenopodium quinoa* Willd. subsp. *milleanum* Aellen (162 accesiones); *Ch. quinoa* Willd. var. *melanospermum* Hunz. (110 accesiones) *Ch. quinoa* Willd. var. *quinoa* (38 accesiones) *Ch. hircinum* subsp. *eu-hircinum* Aellen (7 accesiones); *Ch. hircinum* var. *catamarcensis* Aellen (4 accesiones); *Ch. hircinum* Schrad. (3 accesiones); *Ch. hircinum* var. *andinum* Aellen (2 accesiones) y *Ch. album* L. (1 accesión). Las especies identificadas forman parte del grupo de especies que son consideradas los ancestros de la quinua cultivable y representa una riqueza valiosa para el país y la humanidad (Rojas et al. 2008; Pinto 2009).

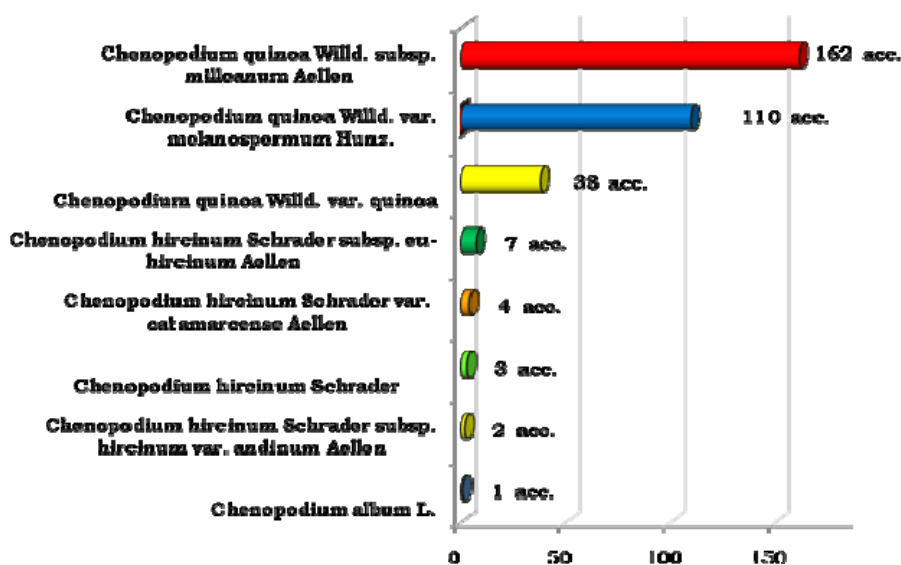


Figura 7. Especies de quinua silvestres identificadas taxonómicamente y cantidad de accesiones que se conservan en la colección boliviana de germoplasma

Las especies, subespecies y variedades silvestres de quinua se encuentran distribuidas en el altiplano, los valles interandinos y los llanos. Los pobladores del área rural del altiplano y

los valles las conocen en Aymara con los nombres comunes de ‘ajara’, ‘aara’, ‘chiwa’ y ‘ayara’. Estas especies silvestres poseen genes valiosos para ayudar a adaptar al cultivo ante la variabilidad del clima y cambio climático, mejorar los rendimientos, elevar el valor nutricional y conferir buen sabor a los alimentos. Las quinuas silvestres son un complemento alimentario y son apreciadas para el consumo sobretodo en años de sequía, cuando los otros cultivos no prosperan.

Conclusiones

Los recursos fitogenéticos son esenciales para la seguridad y soberanía alimentaria de los pueblos y contribuyen fuertemente a las necesidades básicas de la humanidad y son parte del patrimonio ancestral y cultural de los países. La tarea de su conservación y uso es una responsabilidad que debe asumir la sociedad en su conjunto a la cabeza del Estado. Debemos empezar por la valorización del patrimonio genético, reconociendo que son parte de nuestra identidad cultural, sintiéndonos orgullosos de consumir la diversidad que disponemos, enseñando a nuestros niños a través de las diferentes currículas de formación, el valor y rol que juegan los recursos genéticos en beneficio de las sociedades.

La conservación de los recursos fitogenéticos requiere apoyo institucional a través de estructuras sólidas. No se debe escatimar ningún esfuerzo al momento de asignar los presupuestos anuales porque se trata de recursos tan valiosos que deben ir pasando de generación en generación para el respaldo de nuestra propia existencia como especie humana.

La experiencia de manejo de la colección boliviana de germoplasma de quinua, permitió pasar por diferentes situaciones técnicas, sociales y financieras, donde la vocación y entrega al trabajo fueron los elementos fundamentales para lograr posicionar al banco de germoplasma de quinua como el más importante, con mayor diversidad y número de accesiones a nivel mundial (FAO 2010). Todo este proceso deja muchas enseñanzas que debe motivar para continuar generando conocimiento en favor de las especies vegetales y en particular de las especies subutilizadas, como es el caso de la quinua, cañahua, amaranto, tarwi y otras similares.

Bibliografía

- Aroni, J.C., G. Aroni, R. Quispe y A. Bonifacio. 2003. Catálogo de Quinua Real. Fundación PROINPA. 51 p.
- Bonifacio, A., G. Aroni y M. Villca. 2012. Catálogo Etnobotánico de la Quinua Real. Cochabamba, Bolivia. 123 p.

- Cayoja, M.R. 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 Lic. en Agronomía. Oruro, Bolivia, Universidad Técnica Oruro, Facultad de Agronomía. 129 p.
- FAO. 2010. The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome, Italy. 370 p.
- Gandarillas, H. 1979. Genética y origen. In: M. Tapia (ed). Quinua y Kañiwa, cultivos andinos. Bogotá, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina. pp 45-64.
- IBNORCA. 2007. Granos Andinos – Quinua en grano – Clasificación y requisitos. NB 312004. Norma Boliviana. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA. Julio, 2007.
- IBPGR. 1981. Descriptores de Quinua. Roma: International Board for Plant Genetic Resources. 18p.
- Jacobsen, S.E. y S. Sherwood. 2002. Cultivo de Granos Andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro Internacional de la Papa (CIP) y Catholic Relief Services (CRS). Quito, Ecuador. 89 p.
- Lescano, J.L. 1989. Avances sobre los recursos fitogenéticos altoandinos. En: Curso: "Cultivos altoandinos". Potosí, Bolivia. 17 - 21 de abril de 1989. pp 19-35.
- Pinto, M. (ed.) 2009. Conservación complementaria ex situ – in situ de especies silvestres de quinua y cañahua. Informe de Fase 2005 – 2008, Proyecto UNEP/GEF. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. 140 p.
- Rojas, W., M. Pinto y E. Mamani. 2009. Logros e impactos del Subsistema Granos Altoandinos, periodo 2003 – 2008. En Encuentro Nacional de Innovación Tecnológica, Agropecuaria y Forestal. INIAF. Cochabamba, 29 y 30 de junio de 2009. pp 58-65.
- Rojas, W., E. Mamani, M. Pinto, C. Alanoca y T. Ortuño. 2008. Identificación taxonómica de parientes silvestres de quinua del Banco de Germoplasma de Granos Altoandinos. Revista de Agricultura – Año 60, Nro. 44. Cochabamba, Bolivia, Diciembre 2008. pp 56-65.
- Rojas, W. y M. Pinto. 2008. Evaluación del valor nutritivo de accesiones de quinua y cañahua silvestre. En: M. Pinto (ed.) Proyecto Implementation of the UNEP-GEF project, "In situ conservation of crop wild relatives through enhanced information

- management and field application.” Informe de Fase 2005-2008. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. pp 54-60.
- Rojas, W., M. Pinto y E. Alcocer. 2007. Diversidad genética del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua. Revista de Agricultura – Año 59 Nro. 41. Cochabamba, diciembre de 2007. pp 33-37.
- Rojas, W. y M. Pinto. 2006. Evaluación del valor nutritivo y agroindustrial de accesiones de quinua y cañahua. En: W. Rojas (ed.) Proyecto Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Altoandinos, en el marco del SINARGEAA. Informe Final 2005-2006. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. pp 32-42.
- Rojas W., M. Pinto y A. Camargo, 2003. Estandarización de listas de descriptores de quinua y cañahua. En: Informe Técnico Anual 2002 - 2003. Año 2. Proyecto IPGRI-FAD “Eleva la contribución que hacen las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos”. Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia. pp 59-94.
- Rojas, W. 2003. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Food Reviews International. Vol. 19 (1-2): 9-23.
- Rojas, W., M. Cayoja y G. Espindola. 2001. Catálogo de colección de quinua conservada en el Banco Nacional de Granos Altoandinos. Fundación PROINPA, MAGDER, PPD-PNUD, SIBTA-UCEPSA, IPGRI, IFAD. La Paz, Bolivia. 129 p.
- Tapia, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.