

LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE QUINUA: POTENCIALES USOS EN EL MEJORAMIENTO Y AGROINDUSTRIA

Genetic diversity of quinoa: Potential uses for breeding and agroindustry

Wilfredo Rojas¹, Amalia Vargas Mena¹ y Milton Pinto Porcel¹

RESUMEN

La quinua es un cultivo estratégico para producir alimentos de calidad, con efectos beneficiosos para la nutrición y la salud. Los objetivos fueron evaluar la diversidad del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua, seleccionar y obtener variedades con características favorables para el desarrollo de productos agroindustriales en la elaboración de productos como pastas, flanes, budines, instantáneos, expandidos y mezclas con cereales y leguminosas aprovechando el carácter funcional de la quinua. Para evaluar la diversidad se revisó la información de 555 accesiones y para la selección se evaluaron 13 variedades y dos líneas de quinua. Los análisis fueron realizados en los laboratorios LAYSAA y el IIQ – UMSA. Las variables fueron proteína, grasa, fibra, ceniza, carbohidratos, energía calórica, contenido de hierro, almidón, amilosa, amilopectina y diámetro de gránulo. Los resultados de la diversidad genética del germoplasma, indican que la proteína fluctuó de 10,21 a 18,39%, el contenido de grasa de 2,05 a 10,88% y el tamaño de gránulo de almidón de 1 a 28 μ . Por otra parte, las variedades y líneas reportaron un mismo patrón de aminoácidos esenciales, donde la leucina fluctuó de 46,0 a 58,5 y la lisina de 42,0 a 53,3 mg g⁻¹ de proteína; asimismo, del total de ácidos grasos presentes, cinco de ellos en conjunto contienen de 86,60 a 91,84%, tres son insaturados (oleico, linoleico y linolénico) y dos saturados (palmítico y esteárico). El almidón fluctuó entre 39,2 a 61,5%, la amilosa de 10,5 a 21,5% y la amilopectina de 78,5 a 89,5%. Las líneas seleccionadas pueden ser una alternativa para los programas de desnutrición y lactancia materno - infantil.

Palabras clave: quinua, variedades, mejoramiento, valor nutritivo, agroindustria.

ABSTRACT

Quinoa is a strategic crop for food production and quality products, which is demonstrated by the scientific information generated on its beneficial effects on nutrition and health. The objectives of the research were to a) evaluate the diversity of the nutritional and agro-industrial value of quinoa germplasm b) select and obtain varieties with favorable traits for the development of agro-industrial products. To assess diversity, information on 555 accessions was reviewed and for the selection process, 13 varieties and 2 lines from PROINPA's breeding program were evaluated. Protein, fat, fiber, ash, carbohydrates, caloric energy, content of iron, starch, amylose, amylopectin and granule diameter were analyzed. The results from the genetic diversity of germplasm indicate that protein fluctuated from 10.21 to 18.39%, fat content from 2.05 to 10.88% and the starch granule size from 1 to 28 μ . Moreover, the varieties and lines reported the same pattern of essential amino acids, where leucine ranged from 46.0 to 58.5 and lysine from 42.0 to 53.3 mg g⁻¹ of protein. Likewise from total fatty acids present, five of them make up from 86.60 to 91.84% of the total fat content, three are unsaturated (oleic, linoleic and linolenic) and two saturated (palmitic and stearic). Linoleic (Omega 6) revealed a variation of 43.32 to 48.22%, oleic (omega 9) between 24.06 and 26.32%, linolenic from 5.67 to 9.28%. Starch ranged from 39.2 to 61.5%, amylose from 10.5 to 21.5% and amylopectin from 78.5 to 89.5%. The selected varieties could be an alternative for programs targeting breastfeeding and maternal or childhood malnutrition.

Key words: Quinoa varieties, improvement, nutritional value, agroindustry.

¹Coordinadores de la Fundación PROINPA, Institución Boliviana socia del proyecto LATINCROP. w.rojas@proinpa.org

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) posee características intrínsecas sobresalientes, entre ellas, su amplia variabilidad genética y sus propiedades funcionales. Su diversidad conforma un acervo genético extraordinariamente valioso y se expresa en la variabilidad de colores de la planta, inflorescencia y semilla, formas de planta, valor nutritivo, performance productivo y ciclo de cultivo. Este conocimiento e información que contempla la diversidad genética de quinua, debe ser utilizado para aprovechar aún más las bondades de la quinua en el consumo y particularmente en la agroindustria. Desde el punto de vista nutricional y alimentario, la quinua es una fuente natural de proteína vegetal de alto valor nutritivo, por la mayor proporción de aminoácidos esenciales, que le confieren un alto valor biológico superior al trigo, arroz y maíz, y comparable solo con la leche, la carne y el huevo. Como fuente de proteína vegetal, la quinua ayuda al desarrollo y crecimiento del organismo, conserva el calor y energía del cuerpo, es fácil de digerir y combinada con otros alimentos forma una dieta completa y balanceada que pueden sustituir alimentos de origen animal (Rojas *et al.*, 2010; Ayala *et al.*, 2004).

Respecto a la diversidad genética de quinua en Bolivia, las primeras iniciativas para implementar una colección de germoplasma se remontan a los años 1960, bajo la iniciativa de Humberto Gandarillas. Actualmente la colección boliviana de quinua es una de las más importantes a nivel mundial por el número de accesiones que contiene. En los más de 50 años de existencia de la colección, los trabajos de caracterización y evaluación concentraron sus esfuerzos al registro de información agromorfológica. A partir del año 2001 se iniciaron los trabajos de evaluación del valor nutritivo de la colección y a partir del año 2006 de variables agroindustriales, con el fin de orientar el uso del germoplasma en la elaboración de productos transformados a base de quinua. Por otra parte y en la misma época se inició en el país el trabajo de investigación sobre el mejoramiento genético de quinua, centrándose en la búsqueda de variedades de grano grande, de color blanco y de alto rendimiento, según la demanda de esa época. Desde los años 1980 por las expectativas generadas por los mercados de exportación, el cultivo se ha expandido notablemente, y las demandas no solo han incluido la quinua blanca sino también la roja y la negra. También los cambios en el clima han generado nuevas demandas, es el caso de la precocidad, para ajustar las siembras al retraso de las lluvias y lograr cosechas dentro del ciclo de cultivo (Rojas, Pinto y Alcocer, 2007).

Desde que el país inició las exportaciones de quinua, las empresas han volcado sus esfuerzos en la materia prima, que es lo que predomina actualmente en las ventas al exterior. Sin embargo, en la última década han iniciado la transformación y exportación de productos y derivados a base de quinua, entre 2005 y 2014, las ventas de quinua industrializada pasó de 1 al 11% del total de ventas por un importe de 10 a 12 millones de USD. Si bien se logra alcanzar productos transformados óptimos y competitivos en el mercado internacional, estos no alcanzan la misma calidad entre una y otra preparación de producto porque son elaborados con quinua mezclada (diferentes variedades). Es importante estudiar y aprovechar de manera estratégica el potencial de la diversidad genética de quinua para la selección de variedades y la elaboración de productos transformados (Rojas, Risi, Pinto y Vargas, 2014). Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron evaluar la diversidad del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua y seleccionar a fin de obtener variedades con características favorables para el desarrollo de productos agroindustriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la diversidad genética de quinua se revisó la información de 555 accesiones sobre el valor nutritivo y 260 accesiones sobre características agroindustriales que fue generada con la colección boliviana de germoplasma en los proyectos: “Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Andinos en el marco del SINARGEAA”; UNEP/GEF “Conservación complementaria ex situ – in situ de especies silvestres de quinua y cañahua”; “NUS IFAD - Especies Olvidadas y Subutilizadas”; y “Quinua un Cultivo Subutilizado de la Región Andina – McKnight”.

Para la selección y obtención de variedades, se consideró seis variedades de Quinua Real (Real Blanca, Kellu, Pandela, Mañiqueña, Kariquimeña y Qanchis), siete variedades mejoradas (Intinaira, Chucapaca, Kosuña, Jacha Grano, Blanquita, Aynoka y Kurmi), y dos líneas del programa de mejoramiento de quinua de la Fundación PROINPA (L-K Chullpi y L-118 Cf). La lista de materiales genéticos junto a sus principales características agromorfológicas se presenta en la Tabla 1.

Para el análisis estadístico se empleó el “Análisis Multivariante - Cluster”, conocido como Análisis de Conglomerados, que es una técnica que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos.

Tabla 1. Características agromorfológicas y zonas de cultivo de 15 variedades y líneas de quinua.

N°	Nombre	Tipo de variedad	Zona de cultivo	Ciclo (días)	Color de Grano	Saponina	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
1	Real Blanca	Q. Real	Altiplano Sur	180	Crema	Si	650 - 1082
2	Kellu	Q. Real	Altiplano Sur	170	Amarillo	Si	750 - 1103
3	Pandela	Q. Real	Altiplano Sur	180	Rosado	Si	750 - 1197
4	Maniqueña	Q. Real	Altiplano Sur	145	Crema	Si	650 - 1086
5	Kariquimeña	Q. Real	Altiplano Sur	145	Crema	Si	600 - 970
6	Qanchis	Q. Real	Altiplano Sur	145	Hábano	Si	550 - 991
7	Intinaira	Mejorada	Altiplano Centro	155	Amarillo	No	1100
8	Chucapaca	Mejorada	Altiplano Centro	170	Blanco	No	1100
9	Kosuña	Mejorada	Altiplano Sur	155	Blanco	No	800 - 1200
10	Jacha Grano	Mejorada	Norte, Centro, Sur	135	Crema	Si	1100 - 1600
11	Blanquita	Mejorada	A. Norte y Valles	170	Blanco	No	1300 - 1500
12	Aynoka	Mejorada	Altiplano Centro	150	Blanco	No	980 - 1200
13	Kurmi	Mejorada	A. Norte, Valles	155	Blanco	No	1200 - 1550
14	L-KChullpi	Línea	A. Norte y Centro	160	Crema V.	No	1050 - 1250
15	L-118 Cf	Línea	Altiplano Centro	150	Café	No	1200

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad genética del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua.

Un resumen de los parámetros estadísticos estimados para cada característica del valor nutritivo y agroindustrial del germoplasma de quinua se presenta en la Tabla 2, los cuales están expresados sobre base seca (Rojas *et al.*, 2010; Rojas *et al.*,

2007). Se puede observar que las accesiones de quinua muestran una amplia variabilidad para la mayoría de las características evaluadas, lo cual es un indicativo del potencial genético del germoplasma de quinua.

Tabla 2. Estadísticos simples del valor nutritivo – agroindustrial de accesiones del germoplasma de quinua (n = 555 accesiones).

Componentes	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 100g ⁻¹)	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 en 2014, Cochabamba - Bolivia.

En las accesiones del germoplasma de quinua el contenido de proteína fluctuó de 10,21 a 18,39% (Tabla 2), estos valores son más amplios 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 Figura 1 muestra la distribución de frecuencias del contenido de proteína de 555 accesiones del germoplasma de quinua. Se puede observar que en la mayor cantidad de accesiones la proteína varía de 12,1 a 16,5%, sin embargo, existe un grupo de 52 accesiones con contenidos expectables que fluctúa entre 17,1 a 18,5%, este grupo constituye una fuente importante de genes para impulsar el desarrollo de productos con altos contenidos de proteína (Rojas *et al.*, 2010).

El contenido de grasa en el germoplasma fluctuó de 2,05 a 10,88% con un promedio de 6,39% (Tabla 2). El rango superior del contenido de grasa es mayor al rango de 1,8 a 9,3% que reporta Morón (1999); citado por 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. Se espera que estos valores de quinua sean útiles para la obtención de aceites vegetales finos, para el uso culinario y para el cosmético.

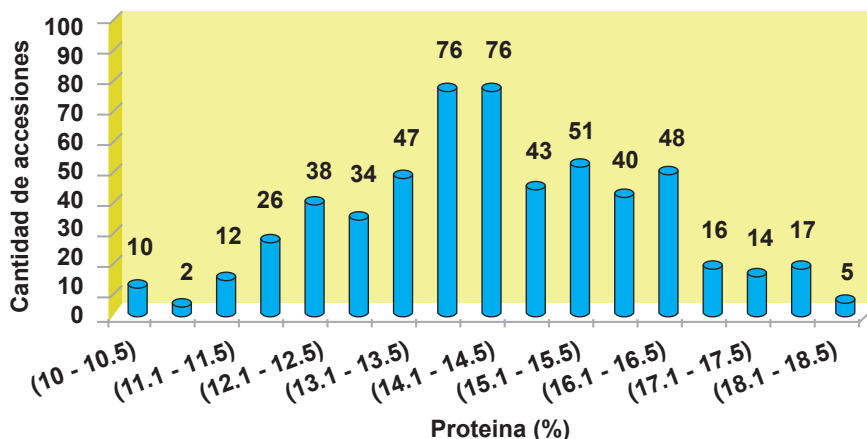


Figura 1. Variación del contenido de proteína total de 555 accesiones de quinua.

En la Tabla 2 también se observa importantes proporciones de fibra de 3,46 a 9,68%, estos contenidos están por encima del 2 al 4% que reportan Jacobsen y Sherwood (2002). En cuanto al contenido de ceniza, las accesiones de quinua reportaron una variación de 2,12 a 5,21% con un promedio de 3,59%. Estos resultados se encuentran dentro del rango de 2,22 a 9,80% que indican Jacobsen y Sherwood (2002), quienes a su vez manifiestan que la quinua contiene importantes porcentajes de Ca, Mg, K, Zn y especialmente Fe, comparado con otros cereales.

La variación genética del tamaño de gránulo de almidón fluctuó entre 1 a 28 μ (Tabla 2 y Figura 2). Es muy importante que el gránulo de almidón sea pequeño, para facilitar el proceso de texturizado y de insuflado, porque los espacios de gránulo a gránulo permiten introducir mayor cantidad de aire para el intercambio y formación de burbujas de aire (Rojas *et al.*, 2007). Esta característica de la quinua es importante para la orientación agroindustrial y realizar distintas mezclas con cereales y leguminosas aprovechando el carácter funcional de la quinua.

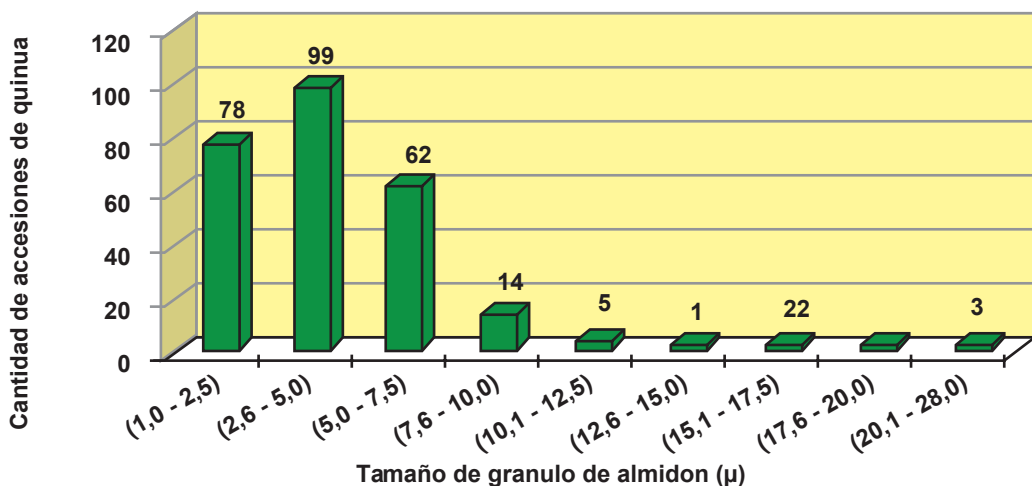


Figura 2. Variación en el tamaño de granulo de almidón en 266 accesiones de quinua.

El contenido de azúcar invertido varió de 10% a 35% (Tabla 2), 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 quinua analizadas del germoplasma cumplen esta condición y tienen aptitudes para ser usadas en mezclas con harinas para procesar panes, cereales, etc.

La variable “porcentaje de agua de empaste” muestra un rango de variación de 16 a 66% (Tabla 2). Esta variable mide la capacidad de absorción de agua del almidón para los procesos de elaboración de pastas, panificación y bollería. El valor ideal para

este parámetro en aplicación industrial (\geq a 50%). Considerando esta característica, la variabilidad que presenta la quinua se constituye en una fuente importante de genes para desarrollar estos productos.

Valor nutritivo y agroindustrial de variedades y líneas de quinua

La Fundación PROINPA a través de su programa de mejoramiento de quinua ha priorizado la incorporación de criterios de valor nutritivo y aptitud agroindustrial para el desarrollo de variedades de quinua y que al mismo tiempo estas cumplan con parámetros de mercado, productividad y de adaptación al cambio climático. La lista de las seis variedades de Quinua Real, siete variedades mejoradas y dos líneas junto con sus principales características agromorfológicas fue descrito en la Tabla 1.

Tabla 3. Valor nutritivo y agroindustrial de variedades y líneas de quinua.

Variedades / Líneas	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	HC (%)	Almidón (%)	Amilosa (%)	Amilopectina (%)	Granulo almidón (μ)	Hierro (mg 100g ⁻¹)
Real Blanca	14,49	5,22	3,95	64,55	60,29	12,2	87,8	5,2	2,1
Kellu	12,78	7,98	4,28	62,87	52,65	13,8	86,2	2,1	2,8
Pandela	12,85	4,75	4,69	65,62	60,18	18,5	81,5	4,5	7,2
Mañiqueña	12,36	4,99	5,15	66,27	60,14	11,2	88,8	2,2	2,4
Kariquimeña	13,19	6,15	6,28	64,57	55,87	21,8	78,2	3,1	1,8
Qanchis	14,15	9,21	4,87	60,28	58,58	18,9	81,1	4,0	2,7
Kosuña	14,85	5,85	4,45	62,07	49,28	15,9	84,1	4,8	3,5
Intinaira	14,37	4,52	3,11	66,16	55,21	15,8	84,2	2,5	2,5
Chucapaca	13,78	4,25	5,25	64,23	48,65	19,1	80,9	2,1	1,1
Jacha Grano	14,21	4,85	3,78	64,73	58,26	10,5	89,5	3,6	2,1
Blanquita	13,77	4,05	4,24	64,98	39,24	16,6	83,4	1,1	1,8
Aynoka	13,65	6,85	4,25	63,36	59,28	15,1	84,9	2,8	4,5
Kurmi	16,11	4,77	4,25	62,64	61,49	15,9	84,1	2,1	1,2
Línea K-Chullpi	18,20	6,50	3,05	60,05	61,41	21,5	78,5	1,5	4,8
L-118 Cf	16,85	6,25	6,10	61,45	42,15	16,5	83,5	2,8	2,7

Análisis realizado por LAYSAA en 2014, Cochabamba, Bolivia.

En la Tabla 3 se presenta el contenido de proteína para 13 variedades y dos líneas, el cual varió de 12,36 a 18,20%, este rango es más estrecho al rango 10,21 a 18,39% determinado en el germoplasma de quinua (Rojas *et al.*, 2010). Las variedades de Quinua Real con mayor contenido de proteína fueron Real Blanca y Qanchis con 14,49 y 14,15%, respectivamente. En las variedades mejoradas la Kurmi, Kosuña, Intinaira y Jacha Grano reportaron 16,11, 14,85, 14,37 y 14,21%, respectivamente. Los valores más

altos fueron de las líneas L-K- Chullpi y L-118 Cf con 18,20 y 16,85%, respectivamente, seleccionadas por el programa de mejoramiento genético de quinua de PROINPA.

Considerando que la calidad de la proteína depende del contenido de aminoácidos esenciales (AAE), en la Tabla 4 se presenta el contenido de ocho aminoácidos esenciales para 13 variedades y una línea de quinua (Rojas *et al.*, 2014). Se observa un mismo patrón de

comportamiento, es decir, las variedades y la línea de quinua en orden de importancia contienen leucina, lisina, valina, fenilalanina, isoleucina, treonina, metionina y triptófano, lo cual confirma la excepcional calidad que tiene la proteína de quinua por la presencia de los ocho AAE. Asimismo, es importante indicar que si bien porcentualmente la distribución de AAE en los materiales de quinua tiene un mismo

patrón, este no necesariamente está relacionado con el contenido de proteína total.

La leucina y lisina están presentes en mayor proporción en cada material genético de quinua. Asimismo, se observa que las variedades mejoradas con mayor contenido de AAE son Jacha Grano y Aynoka, seguidos de las variedades de Quinua Real la Kariquimeña y Kellu.

Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales en 13 variedades y una línea de quinua, expresado en base seca a proteína.

Variedades / Línea	Isoleucina	Leucina	Lisina -----	Metionina Mg g ⁻¹	Fenilalanina proteína	Treonina -----	Triptófano	Valina
Real Blanca	30,0	49,0	45,0	18,1	35,0	25,0	10,0	35,0
Kellu	32,2	50,0	46,5	19,2	55,8	24,7	10,2	39,3
Pandela	29,0	48,0	44,0	18,0	34,0	24,2	9,6	34,0
Mañiqueña	28,0	46,6	42,4	17,1	32,9	23,3	9,2	33,0
Kariquimeña	33,2	55,4	50,5	20,3	39,1	27,7	11,0	39,2
Qanchis	29,6	49,3	45,0	18,1	34,8	24,7	9,8	34,9
Kosuña	27,5	46,0	42,0	16,8	32,4	23,0	9,1	32,5
Intinaira	30,9	48,8	44,4	17,9	34,4	24,4	9,7	34,5
Chucapaca	31,6	52,7	48,0	19,3	37,2	26,4	10,4	37,3
Jacha Grano	35,1	58,5	53,3	21,4	41,3	29,3	11,6	41,4
Blanquita	29,7	50,0	45,1	18,1	35,0	24,8	9,8	35,0
Aynoka	34,2	57,0	52,0	21,0	40,3	28,6	11,3	40,4
Kurmi	32,5	54,1	49,3	19,8	38,2	27,1	10,7	38,3
L- K Chullpi	32,6	54,4	49,5	20,0	38,4	27,2	10,8	38,5

Análisis realizado por IIQ - UMSA en 2014, La Paz, Bolivia.

En el caso particular de la lisina, que es el aminoácido limitante en la mayoría de los cereales, el contenido varió de 42 a 53,3 mg g⁻¹ de proteína (Tabla 4). La mayoría de estos valores son superiores a 45,8 mg g⁻¹ de proteína reportado por Gallego *et al.*, (2014). Las variedades mejoradas con mayor lisina fueron Jacha Grano y Aynoka con 53,3 y 52 mg g⁻¹ de proteína, respectivamente; en las variedades de Quinua Real se destacaron la Kariquimeña y Kellu con 50,5 y 46,5 mg g⁻¹ de proteína, respectivamente; y la línea L-KurmiChullpi reportó 53,4 mg g⁻¹ de proteína (Tabla 4).

El contenido de grasa en las 13 variedades y dos líneas de quinua fluctuó de 4,05 a 9,21% (Tabla 3). Los resultados se enmarcan en el rango de 2,05 a 10,88% determinado en el germoplasma de quinua (Rojas *et al.*, 2010). Las variedades mejoradas con mayor grasa fueron Aynoka y Kosuña con 6,85 y 5,85%, respectivamente. En las variedades de Quinua Real se destacaron la Qanchis, Kellu y Kariquimeña con 9,21, 7,98 y 6,15%, respectivamente. Las líneas

L-KurmiChullpiy L-118 Cf reportaron un contenido de 6,50 y 6,25%, respectivamente. Estos valores de quinua son importantes para la obtención de aceites vegetales de buena calidad para el uso culinario y cosmético.

De total de ácidos grasos presentes en la quinua se determinó para el material evaluado la presencia de cinco de ellos, que son los de mayor proporción (Tabla 5). Dos ácidos grasos son saturados (palmítico y esteárico) y tres insaturados (oleico, linoleico y linolénico). El contenido de los cinco ácidos grasos fue de 86,60 a 91,84% y la diferencia para llegar al 100% lo conforman los demás ácidos grasos, que están presentes en bajas cantidades (Rojas *et al.*, 2014). La suma de los insaturados fluctuó de 77,23 a 82,98% y la suma de los saturados fluctuó de 8,49 a 10,06%. Los resultados no difieren sustancialmente a los reportados por Wood *et al.*, (1993) y corroboran que la grasa de quinua tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados y por ende una buena calidad.

Según la Tabla 5, el ácido graso insaturado con mayor porcentaje es el linoleico (Omega 6) con un rango de 43,32% a 48,22%; seguido del ácido oleico (Omega 9), con un rango de 24,06% a 26,32; mientras que el de ácido linolénico fluctuó entre 5,67% y 9,28% (Rojas *et al.*, 2014). Estos resultados tampoco difieren sustancialmente a los reportados por Wood *et al.*, (1993). Las variedades mejoradas con mayor contenido de ácidos grasos insaturados fueron Aynoka y Jacha Grano con 82,98 y 80,89%, respectivamente; en las variedades de Quinua Real, sobresalieron Karaquimeña y Mañiqueña con 82,11 y 81,50%, respectivamente y; la línea L-Kurmi Chullpi reportó 79,4%.

Realizando una comparación de las variables de valor nutritivo y agroindustriales entre las variedades

y líneas, en la Tabla 3 se puede observar que la variedad Kurmi reportó 16,11% de “proteína”, aplicando el trabajo de selección a partir de esta variedad está en proceso de obtención la Línea K-Chullpi que incrementó su contenido de proteína a 18,20%, al mismo tiempo la Línea K-Chullpi mejoró su característica de ‘diámetro de gránulo de almidón’ al disminuir su diámetro de 2,1 μ a 1,5 μ y ofrecer excelentes aptitudes para la elaboración de productos expandidos y pipocas. Asimismo, el contenido de “hierro” se incrementó notablemente en la Línea K-Chullpillegando a 4,8 mg 100g⁻¹, respecto a los 12 mg 100g⁻¹ de materia seca de la variedad Kurmi. Variedades de quinua con estas características pueden ser una alternativa para los programas de desnutrición y lactancia materno - infantil que se lleva a cabo en Bolivia y otros países.

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos en 13 variedades y una línea de quinua, expresado en por ciento del total de ácidos grasos.

Variedades y línea	Palmítico C16: 0	Estearico C18: 0	Oleico C18: 1w	Linoleico C18: 2w	Linolénico C18: 3w	Total (%) saturados e instaurados	Total (%) instaurados
Real Blanca	7,92	0,87	24,77	45,70	8,30	87,56	78,77
Kellu	8,70	0,67	25,67	45,89	5,67	86,60	77,23
Pandela	8,83	0,71	25,02	47,23	8,10	89,89	80,35
Mañiqueña	8,63	0,75	24,97	48,22	8,31	90,88	81,50
Kariquimeña	8,00	0,73	26,32	46,81	8,98	90,84	82,11
Qanchis	8,40	0,95	25,20	45,53	9,03	89,11	79,76
Kosuña	8,32	0,77	24,93	46,66	8,36	89,04	79,95
Intinaira	9,13	0,93	24,47	43,32	9,23	87,08	77,02
Chucapaca	8,76	0,71	24,06	47,70	8,28	89,51	80,04
Jacha Grano	8,12	0,82	25,70	46,20	8,99	89,83	80,89
Blanquita	7,73	0,76	25,13	46,55	8,90	89,07	80,58
Aynoka	7,93	0,93	25,88	47,96	9,14	91,84	82,98
Kurmi	8,55	0,84	24,39	46,89	9,28	89,95	80,56
L- K Chullpi	8,36	0,66	26,11	44,23	9,07	88,43	79,41

Análisis realizado por IIQ - UMSA en 2014, La Paz, Bolivia.

Por otra parte, la Línea-118Cf proviene de la variedad Aynoka, si bien hay un incremento de su contenido de “proteína” de 13,65 a 16,85% y de “fibra” de 4,25 a 6,10%, el “diámetro de gránulo de almidón” se mantiene en 2,8 μ , lo cual significa que ambas son expectables sus aptitudes para la elaboración de productos expandidos y pipocas; sin embargo el contenido de “hierro” bajo de 4,5 a 2,7 mg 100g⁻¹ de materia seca. En el caso particular de la variedad Real Blanca reportó un contenido expectable de “proteína” de 14,49% (Tabla 3), sin embargo por su valor de 5,2 μ en el “diámetro de gránulo de almidón” no es una variedad para la elaboración de productos expandidos y pipocas.

Respecto al contenido de almidón, las variedades y líneas de quinua reportaron una variación de 39,24 a 61,49%, mientras más alto es su contenido será mejor su aporte en calorías para el consumo humano. El contenido de almidón revela la calidad del grano para orientar su uso en la industria para espesantes, estabilizantes y gelificantes. El almidón químicamente está compuesto por amilosa y amilopectina, su contenido y propiedades influyen en la textura y adaptabilidad de los alimentos a los diferentes procesos industriales de transformación de la quinua.

La variación del contenido de amilosa fluctuó de 10,5 a 21,8% y el contenido de amilopectina fluctuó de 78,2 a 89,5% (Tabla 3). Para la elaboración de flanes, budines y cremas instantáneas se requiere un mayor contenido de amilopectina, bajo esta consideración las variedades Jacha Grano, Mañiqueña, Real Blanca y Kellu por su contenido de 89,5, 88,8, 87,8 y 86,2% son idóneas para la elaboración de estos productos. Mientras que para la elaboración de pastas y extrusados se requiere un mayor contenido de amilosa, donde la variedad Kariquimeña con 21,8% y la Línea K-Chullpi con 21,5% son las mejores para este tipo de productos agroindustriales.

CONCLUSIONES

La diversidad genética natural de la quinua permitiría generar productos de calidad para las empresas agroindustriales con diversas formas de preparación y presentación.

Es importante también que las variedades y líneas de quinua potenciales para la agroindustria cumplan con parámetros que hagan de una mayor productividad en ciclos precoces para adaptar su cultivo a la variabilidad climática.

Para la mayoría de las variables evaluadas de valor nutritivo y agroindustrial se determinó amplios rangos de variación, lo cual ofrece una oportunidad para mejorar la calidad del producto, seleccionar y obtener variedades de quinua con características favorables para el desarrollo de productos agroindustriales.

La diversidad genética de la quinua ofrece un gran potencial para ser usado adecuadamente en diversos campos de aplicación, la agroindustria es una de ellas, que debe valorar la importancia de los tres colores de grano blanco, café y negro.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de diversidad genética de quinua y sus potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria, bajo el criterio de Especies Olvidadas y Subutilizadas, fue realizado con el apoyo de los Proyectos “Estrategia Integrada para la Conservación y Uso de la Agrobiodiversidad Latinoamericana Subutilizada LATINCROP-Unión Europea”; “Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Altoandinos, SINARGEAA”, “UNEP/GEF: Conservación *In situ* de Parientes Silvestres de Cultivos a través del Fortalecimiento del Manejo de Información y su Aplicación en el Campo – Componente Bolivia”, “NUS/IFAD - Especies

Olvidadas y Subutilizadas, y Quinua un Cultivo Subutilizado de la Región Andina – Fundación McKnight”.

BIBLIOGRAFÍA

Ayala, G., L. Ortega y C. Morón. 2004. Valor nutritivo y usos de la quinua. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathe (eds). Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 215-253.

Gallego, D., L. Russo, K. Kerbab, M. Landi and L. Rastrelli. 2014. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium pallidicaule* (cañihua) and *Chenopodium quinoa* (quinoa) seeds. Emir. J. Food Agric. 2014. 26 (7): 609-615.

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. Rojas, W., J. Risi, M. Pinto y A. Vargas. 2014. Propiedades nutricionales de la quinua. Capítulo 5. En: IICA (Editor. 2014). Estudio de la producción y mercado de la quinua. Oficina del IICA en Bolivia. 29 de agosto de 2014. La Paz, Bolivia. pp 75-105.

Rojas, W., M. Pinto, JL. Soto y E. Alcocer. 2010. Valor nutritivo, agroindustrial y funcional de los granos andinos. In: W. Rojas, M. Pinto, JL. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. pp. 151- 164.

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 p. 33-37.

Wood, S., L. Lawson, D. Fairbanks, L. Robison & W. Andersen. 1993. Seed lipid content and fatty acid composition of three quinoa cultivars. Journal of Food Composition and Analysis United Nations University. 6(1) p. 41-44.

Artículo recibido en: 13 de julio del 2016

Manejado por: Comité Editorial

Aceptado en: 17 de octubre del 2016