

## Evaluación del contenido mineral en el germoplasma nativo de quinua según cuatro niveles de proteína

### Evaluation of mineral content in native quinoa germplasm according to four levels of protein

José Campero<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal,  
Dirección Nacional de Innovación, Unidad de Recursos Genéticos  
Calle Batallón Colorados No. 24 Piso 16. Edificio El Cóndor.

\*Autor para correspondencia: jrcampero@hotmail.com

Recibido: 25 noviembre 2017; Publicado: 30 junio 2018

#### Resumen

En la Colección Nacional de Quinoa (CNQ), para examinar una posible relación de causalidad aceptado entre el contenido mineral [(N, P, K, Ca y Mg) y (B, Fe, Mn y Zn)] y la proteína bruta (PB) y evaluar el potencial de aquellos para cubrir la demanda mineral humana, fueron seleccionadas aleatoriamente 34 accesiones y analizadas las concentraciones de aquellos; luego, éstas fueron asignadas a cuatro grupos con niveles crecientes de PB denominados: Bajo (B=12%), Regular (R=14,2%), Alto (A=15,5%) y Muy Alto (MA=18,3%); para detectar diferencias significativas entre grupos, se aplicó mínimos cuadrados con números desiguales de repeticiones, y las diferencias entre pares de promedios fueron analizados utilizando el procedimiento de Bonferroni. Aunque, la causalidad entre el nivel de PB y los contenidos de minerales no fue claramente establecida; los resultados demostraron que, el contenido de Ca fue bajo e igual a  $62 \pm 5,5$  mg y no estuvo relacionado al contenido de PB; mientras que, el contenido de P ( $370 \pm 6$  mg) y K ( $1480 \pm 39$  mg) fueron directamente proporcionales a la PB, la concentración promedio de B, Mn y Cu tendió a aumentar a medida que la concentración de PB aumentó. El promedio en ppm para B, Mn y Cu fue de  $12,2 \pm 3,0$ ;  $4,45 \pm 2,1$ ; y  $6,5 \pm 1,8$ , respectivamente, y solo la diferencia entre MA y los otros tres niveles fue significativa ( $P < 0.05$ ); lo contrario fue cierto para Zn que promedió  $39,2 \pm 8,1$

ppm. En el dúo constituido por Fe con  $86,3 \pm 69,7$  ppm y Cu con  $39,2 \pm 8,1$  ppm, se observó que, al aumento inicial del mineral en los niveles B y R, le siguió una reducción significativa ( $P < 0.001$ ) de su concentración en A y MA. En general, en base de un consumo de  $200 \text{ gr día}^{-1}$  de quinua y tomando como referencia los requerimientos de humanos en crecimiento, la concentración mineral en las accesiones de quinua fue adecuada para un funcionamiento metabólico adecuado; el Ca fue la excepción, cuya baja concentración determinó que la relación Ca: P fuera inadecuada para una óptima nutrición del *Homo sapiens*.

**Palabras clave:** valor nutritivo, proteína y minerales

#### Abstract

In the National Quinoa Collection (CNQ) to analyze a possible cause and effect relationship between mineral concentrations [(N, P, K, S, Ca and Mg) and (B, Fe, Mn and Zn)] and protein (PB) and evaluate the potential of those to cover the human mineral demand were randomly selected 34 accessions and analyzed the concentrations of PB and mineral elements; then, these accessions were assigned to four groups with increasing levels of PB named: Low (B = 12%), Regular (R = 14.2%), High (A = 15.5%) and Very High (MA =

18.3%); at this groups, in order to detect significant differences between groups, was applied the least squares analysis for groups with unequal numbers of repetitions, where the significant differences between pairs of means were analyzed using the Bonferroni procedure. Although the causality between the PB level and the mineral contents was not clearly established; the results demonstrated that the Ca content was low and equal  $62 \pm 5$  mg and was not find out any relation with the PB content; while the contents of P ( $370 \pm 6$  mg) and K ( $1,480 \pm 39$ mg) was directly proportional to PB content, the average concentration for B, Mn and Cu only tended to increase as the PB concentration raised. The average in ppm for B, Mn and Cu was  $12.2 \pm 3.0$ ;  $4.45 \pm 2.1$ ; and  $6.5 \pm 1.8$ , respectively, and only the difference between MA and the other three levels was different ( $P < 0.05$ ); the opposite was true for Zn that averaged  $39.2 \pm 8.1$  ppm. Next, in the duo constituted by Fe with  $86.3 \pm 69.7$  ppm and Cu with  $39.2 \pm 8.1$  ppm was observed that the initial increase of the mineral in levels B and R was followed by a significant reduction ( $P < 0.001$ ) of their concentration in both A and MA levels. In general, based on a consumption of 200 gr dry matter of quinoa and taking as a reference the table of mineral requirements of growing humans, the mineral concentration in the quinoa accessions of the CNQ was adequate to guarantee on its own an adequate metabolic functioning in the different stages of development; Calcium was the exception, which low concentration determined that the Ca: P ratio was inadequate for optimal nutrition of Homo sapiens.

**Keywords:** quinoa, nutritional value, protein and minerals

### Introducción

La quinua, es considerada un alimento de alto valor biológico capaz de suplir la demanda de proteína, energía, vitaminas y minerales de humanos en sus distintas etapas de crecimiento (FAO, 2013). Esta

consideración, unida a una excelente estrategia de comercialización y conquistar el mundo.

En la quinua, como en todo vegetal, aproximadamente el 96% de la materia seca (MS) está compuesta por C, O y H; y el 4% restante de la MS lo constituyen otros 16 elementos. El análisis proximal o de Wendy, desarrollado a principios del Siglo XIX, estableció que las plantas están compuestas por agua, proteínas, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos) y ceniza (minerales). Todas ellas claves en estructura y funciones de los vegetales.

Aunque las proteínas liberan energía, su importancia principal radica más bien en que son constituyentes de todas las células y éstas necesitan reemplazarse de tiempo en tiempo, y para este reemplazo es indispensable el aporte de proteínas. La proteína de la quinua contiene 16 aminoácidos, nueve de ellos son esenciales en el metabolismo de los seres humanos y otros mamíferos. Su esencialidad está dada porque los mamíferos, a diferencia de las plantas, no pueden metabólicamente sintetizarlos; significando que la única fuente de estos aminoácidos es la ingesta de ellos en la dieta.

Las plantas, además de la luz, temperatura y agua requieren de elementos minerales; el exceso o déficit de minerales origina plantas débiles susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, baja calidad de frutos y rendimientos bajos. Para determinar la esencialidad de los minerales se debe establecer una relación cuantitativa entre su concentración en el ambiente y el crecimiento de las plantas. Los minerales esenciales se clasifican según su presencia cuantitativa en los tejidos vegetales como: macronutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Cl, Mn, B, Mo).

La quinua ha sido caracterizada como un alimento de alta calidad en función del surtido de aminoácidos esenciales que contiene. Sin embargo, la calidad nutritiva de un alimento no sólo está referida al contenido y calidad de su proteína, también forman

parte del concepto de calidad la capacidad de un alimento para ofrecer energía, vitaminas y minerales a los consumidores de los eslabones superiores de la cadena trófica.

El objetivo del presente análisis fue examinar en la Colección Nacional de Quinua (CNQ) la posible relación de causa y efecto entre el contenido mineral [(P, K, Ca y Mg) y (B, Fe, Mn y Zn)] y la proteína (PB) y evaluar el potencial de aquellos para cubrir la demanda mineral humana.

### Materiales y métodos

La CNQ está compuesta de 3.340 accesiones o entradas, cada una de ellas identificadas mediante un código correlativo, que se aplica cuando aquellas presentan datos completos de pasaporte, y luego se inicia la caracterización utilizando 55 descriptores; seis (6) ligados a enfermedades, 34 para características morfológicas, 4 asociadas a características fenológicas, 3 a características de producción, 7 a características de calidad; y, 1 relacionada al estrés ambiental.

La aplicación de estos descriptores a las accesiones de la CNQ, es altamente variables, con un rango que va desde 316 accesiones caracterizadas por calidad hasta 2,753 accesiones caracterizadas por fenología. En general, en números relativos el 65 % de las accesiones están caracterizadas con 54 descriptores. La aplicación de los 55 descriptores a la colección de 3,340 accesiones de quinua tendrá un costo importante en recursos económicos y humanos.

Para examinar en la CNQ la posible relación de causa y efecto entre el contenido mineral [(P, K, Ca y Mg) y (B, Fe, Mn y Zn)] y la proteína (PB) y evaluar el potencial de aquellos para cubrir la demanda humana de minerales, fueron seleccionadas aleatoriamente 34 accesiones que representa el 1% del total de accesiones de la CNQ.

En el Laboratorio de Calidad de Trigo del INIAF se determinó el contenido de materia seca, proteína bruta (PB), macro (P, K, Ca, Mg) y micro nutrientes (B, Fe, Mn y Zn) para las 34 muestras de quinua en análisis; y, la concentración mineral determinada se comparó con las necesidades nutricionales establecidas por la FAO/OMS/UNU (2004) para niños, escolares, adolescentes, adultos y mayores.

El contenido de nitrógeno en el grano seco y finamente molido de quinua se determinó utilizando un Micro-Kjeldahl, que implicó la conversión del N presente en la muestra a sulfato de amonio por digestión con ácido sulfúrico, la alcalinización con hidróxido de sodio y la destilación del amoniaco liberado en solución ácida; para la conversión a proteína se multiplicó el contenido de nitrógeno del destilado por 6.25.

La humedad se determinó pesando 20 gramos de grano e incubando a 80°C durante 24 horas, hasta obtener peso constante, la determinación de ceniza se hizo por duplicado, por incineración de la muestra a una temperatura de 550 °C en un horno mufla.

El contenido de Ca, K, Mg, B, Fe, Mn y Zn se determinó por espectrometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno por aspiración directa, utilizando lámparas y longitudes de onda apropiados. La concentración de P fue determinada por calorimetría utilizando un espectrofotómetro de luz visible con cubetas de paso de luz de 10 nanómetro (nm=10<sup>-9</sup>). Todos los análisis fueron realizados de acuerdo a los procedimientos recomendados por la AOAC (2006).

Para examinar o explorar bajo un enfoque descriptivo las características y propiedades de la posible correlación entre el contenido mineral [(P, K, Ca y Mg) y (B, Fe, Mn y Zn)] y la PB se ordenó la muestra en cuatro grupos con niveles crecientes de PB denominados: Bajo (B=12%), Regular (R=14,2%), Alto (A=15,5%) y Muy Alto (MA=18,3%).

Las variables de análisis fueron los contenidos de macro y micro minerales ya mencionados; y, los efectos fijos o tratamientos constituyeron los niveles de proteína. A los datos así ordenados se aplicó el análisis de mínimos cuadrados, análisis numérico, en el que, para el conjunto de datos ordenados por, tratamientos se determinó una línea de regresión que mejor se aproxime a los datos de las variables y que minimiza la suma de cuadrados de las diferencias entre los puntos generados por la función y los datos correspondientes. Para éste análisis se aplicó el procedimiento ANOVA, considerando un número desigual de repeticiones dentro de los grupos. Para determinar diferencias

significativas, entre pares muestras a un nivel del 95%, se utilizó el procedimiento de Bonferroni, con la media armónica de 8.4000 como tamaño de la muestra.

## Resultados y discusión

En la Tabla 1 se reporta en base seca y según tratamientos o niveles de PB, el contenido medio de calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) en mg por 100 g de materia seca (MS); y, de boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) en partes por millón (ppm); todos los datos procedentes del análisis cuantitativo de 34 accesiones de la CNQ.

**Tabla 1.** Quinua: composición media de Ca, P, K y Mg en mg/100 g de MS y B, Fe, Mn y Zn en ppm según cuatro niveles de proteína cruda (PB).

Nivel PB	Ca	P	K	Mg	B	Fe	Mn	Zn
Bajo	71 <sup>a</sup>	347 <sup>a</sup>	1231 <sup>a</sup>	159 <sup>a</sup>	9,65 <sup>a</sup>	49,58 <sup>a</sup>	3,07 <sup>a</sup>	35,54 <sup>a</sup>
Regular	89 <sup>a</sup>	359 <sup>a</sup>	1369 <sup>ab</sup>	173 <sup>a</sup>	10,85 <sup>a</sup>	70,24 <sup>a</sup>	5,95 <sup>b</sup>	45,69 <sup>b</sup>
Alto	67 <sup>a</sup>	348 <sup>a</sup>	1529 <sup>ab</sup>	162 <sup>a</sup>	12,23 <sup>a</sup>	110,91 <sup>a</sup>	4,36 <sup>ab</sup>	40,86 <sup>a</sup>
Muy Alto	22 <sup>b</sup>	422 <sup>b</sup>	1748 <sup>b</sup>	172 <sup>a</sup>	15,59 <sup>b</sup>	106,40 <sup>a</sup>	4,15 <sup>ab</sup>	33,97 <sup>ac</sup>
Promedio	62	371	1483	167	12,23	86,32	4,46	39,22

Nivel de PB. Bajo (B) con 12.76% PB; Regular (R) hasta con 14.19% PB; Alto (A) con 15.53 % PB; y, Muy Alto (MA) con 18.20 % PB.

<sup>ab</sup> Promedios en columnas con la misma letra no difieren significativamente ( $P < 0.05$ ). Los tamaños de los grupos no son iguales y para la comparación entre pares se utiliza la media Armónica de los grupos =8.4000

### Calcio y fósforo en la nutrición mamíferos

El cuerpo humano medio contiene alrededor de 1,250 g de Ca. Más del 99% de éste, se encuentra en los huesos y dientes, donde se combina con P como fosfato de calcio, sustancia dura que le brinda rigidez a aquellos; sin embargo, aunque duro y rígido, el esqueleto es una matriz celular, donde el Ca se absorbe continuamente y es devuelto al organismo; cantidades menores de Ca se encuentra en el suero de la sangre (10 mg 100 ml<sup>-1</sup> de suero); y, cerca de 10 g de Ca está presente en los líquidos extracelulares y en los tejidos blandos del cuerpo (Gonzales y Pérez, 2014). El P, participa en la regulación de enzimas y en el almacenamiento energético en las mitocondrias a partir de carburantes metabólicos como glucosa, ácidos grasos y aminoácidos.

### Calcio

El contenido de Ca, en el material en investigación, fue bajo e igual a 62±5,5 mg por 100 g de MS<sup>-1</sup>; con promedios por tratamiento o nivel de PB que permanecieron alrededor de la media general excepto en el nivel Muy Alto (MA) de PB donde se encontró una reducción significativa ( $P = 0.049$ ) de 40 mg con relación a la media general.

La media general para contenido de Ca en la quinua, reportada en esta investigación, fue 37 % menor que el contenido de Ca (85 mg) reportado por Holle y Arbizu (1994) para las variedades de quinua blanca de Junín, Perú y fue 100 % menor al contenido cálcico de la mismas variedades blancas cultivadas en Puno, Perú (INS, 2009); pero, fue ligeramente

mayor (67 mg contra 56 mg.100 g<sup>-1</sup> MS) que el promedio general de quinuas peruanas (INS, 2009); mostrando que los factores ambientales pueden tener un alto peso en la expresión del genotipo en quinua en cuanto a Ca se refiere.

Aunque el Ca en la quinua fue 2 veces mayor que el Ca en el trigo, seis veces más que en el arroz y diez veces más que él del maíz (INS, 2009); resulta que la quinua, como única fuente de Ca no es adecuada para suplir las necesidades humanas que demandan diariamente de 400 a 1,200 mg de Ca según el estado fisiológico, el sexo y el peso (FAO, 2004).

### Fósforo (P)

La media general para el contenido de P en 34 muestras de la CNQ fue de 370.6±61.7 mg por 100 g MS<sup>-1</sup>. El contenido de P según los cuatro niveles de PB analizados mostró una tendencia a incrementos directamente proporcionales al nivel de proteína; sin embargo la única diferencia significativa (P<0.05) ocurrió entre el nivel MA y los tres otros niveles considerados.

El incremento del contenido de P en el nivel MA de PB puede estar relacionado a la naturaleza de la PB que siendo una macro molécula orgánica de elevado peso molecular, constituido por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, contienen estructuralmente azufre y fósforo, y en menor proporción hierro, cobre, magnesio, yodo. Por tanto, a mayor contenido de proteína es posible esperar un mayor contenido de los minerales estructurales anteriormente nombrados.

Los valores aquí documentados para P de 370.6±42.7 mg por 100 g MS<sup>-1</sup> son bajos con relación a la máxima demanda diaria de 1,250 mg establecido por la FAO/OMS/UNU (2004) para mujeres en gestación, esta demanda puede ser cubierta con un consumo diario de 338 g de MS de quinua. Pero, son mayores que los contenidos de P

de 150 mg reportados por el Instituto Nacional de Salud del Perú (INS, 2009) para quinuas blancas de Junín y Puno o de 242 mg para las diferentes variedades de quinuas peruanas (INS, 2009). El valor aquí reportado, se corresponde perfectamente con el valor de 384 mg reportado por Koziol (1992) para las variedades de quinuas peruanas.

En general, en el nivel regional el contenido de P en la quinua oscila entre 130 y 540 mg, con una media ponderada de 261 mg.100 g de MS<sup>-1</sup> del grano; la Tabla Peruana de Composición de Alimentos documenta para quinuas blancas valores medios de P del orden de 155 mg por 100 g de grano, valores mayores en el rango de 145 a 540 mg 100 g de MS<sup>-1</sup> del grano de quinua fueron reportados por Ruales y Nair (1992).

El P es esencial para todos los organismos vivos, está presente en cada célula del cuerpo y tiene más funciones que cualquier otro elemento mineral (Ternouth, 1990; NRC, 2001); pero, son sus funciones estructurales y las energéticas las más importantes del P. El cuerpo humano adulto contiene una media de 800 g de P con el 85% de éste ubicado en los huesos y dientes bajo la forma de hidroxapatita y en una relación de 1:2 con el Ca. El resto, el 25% de P, se distribuye en los músculos, hígado, intestinos, piel, el tejido nervioso y otros órganos (Jolliff y Mahan, 2013)

### Relación Ca: P en la quinua

El cociente Ca: P, fue 0.18, poniendo en evidencia un exceso de P en relación al Ca. Metabólicamente, el cociente debe fluctuar entre 1.2 y 2.0 para un adecuado desarrollo óseo. En base en que ni el Ca ni el P se sintetizan en el cuerpo de los mamíferos, dietas altas en P tienen un efecto negativo en la deposición del Ca en los huesos; este es caso de la quinua donde el contenido de P con relación al Ca fue siete veces mayor al óptimo.

El P en la dieta es habitualmente abundante y su absorción en el intestino en general no tiene limitaciones (Tomassi, 2002). Lo contrario es cierto en el caso del Ca, porque éste se encuentra mucho más limitado en la dieta y se absorbe en forma mucho menos eficiente en el intestino que el P (Peacock, 2010); por esta razón, éste raramente constituye un problema nutricional, mientras que el Ca es un nutriente con frecuente consumo deficiente. Anderson (1996) estudiando esta relación, determinó que la ingesta baja de Ca y alta de P condiciona el desarrollo deficiente de la masa ósea; esta relación sugiere que los niveles de P podrían condicionar el metabolismo del Ca.

La importancia del P en la nutrición humana es indudable, sin embargo, todo el P disponible en la dieta proviene de las plantas o de los animales que consumen esas plantas. El P es un nutriente esencial para las plantas y su efecto se observa tanto en el rendimiento como en la calidad de los alimentos consumidos por el hombre.

### Potasio (K)

El promedio general para K en la MS de grano de quinua en los cuatro grupos de accesiones estudiados fue de  $1,483 \pm 390$  mg. Entre niveles, se observó una clara tendencia a incrementar el contenido de K con el incremento del contenido de PB en el grano de quinua. Las diferencias de 140 mg entre el nivel B y el R y 300 mg entre el A y el B o la diferencia de 160 mg entre el nivel A y el R no alcanzaron significación estadística ( $P > 0.05$ ); pero, la diferencia de 520 entre el nivel MA y el nivel B de PB sí fue estadísticamente diferente ( $P = 0.048$ ).

El K es esencial en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos y probablemente esta función explique la tendencia al incremento del contenido de K en la medida que el contenido de PB aumentó.

El catión K no posee funciones estructurales, sin embargo, es el catión más común en los procesos metabólicos de las plantas. Roles esenciales del K han sido encontrados en la síntesis de proteínas, en el proceso fotosintético y en el transporte de azúcares desde las hojas a los frutos y en la producción y acumulación de aceites.

En 1992, Koziol reportó una media de 927 mg de K en la quinua por cada 100 g de MS de grano, esta concentración es 60% menor a la media reportada en ésta exploración cuantitativa. También fueron reportadas valores 100% menores (Muñoz, S/F) que la media de esta exploración cuantitativa, demostrando la amplia variación del grano de quinua en cuanto a contenido de K; variación que en caso de la CNQ fluctuó entre 954 y 1,993 mg en  $100\text{g MS}^{-1}$ .

De donde resulta que la CNQ no sólo es una fuente importante de proteínas sino también lo es de K, con contenidos de este elemento superiores a los propios de los frijoles que en promedio aportan 1,300 mg por  $100\text{g MS}^{-1}$ . Hace falta mayor investigación para conocer el porqué del alto contenido de K en el grano de quinua y el rol que el alto contenido de K juega en la activación enzimática, procesos de transporte a través de las membranas, la neutralización aniónica y el potencial osmótico y el mantenimiento del balance hídrico de la quinua; que al parecer son las cuatro funciones metabólicas del K.

### Magnesio (Mg)

El contenido medio de Mg en 34 muestras de accesiones de Quinua fue de  $167.1 \pm 24.8$  mg y ninguna diferencia entre tratamientos fue significativa ( $P > 0.05$ ).

El Mg es un elemento esencial en los sistemas biológicos y está presente típicamente como

Mg<sup>2+</sup>. Es un nutriente mineral esencial para la vida y está presente en todas las células de todos los organismos. Por ejemplo, el ATP (adenosin trifosfato), la principal forma de energía a nivel celular, donde el P debe estar enlazado al Mg para estar activo biológicamente, por tanto, es un activador enzimático clave en la nutrición vegetal.

Los micro elementos B, Fe, Mn y Zn entre otros son parte de sustancias claves en el crecimiento de la quinua y de las plantas en general, son absorbidos en cantidades minúsculas, y su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo.

### Boro (B)

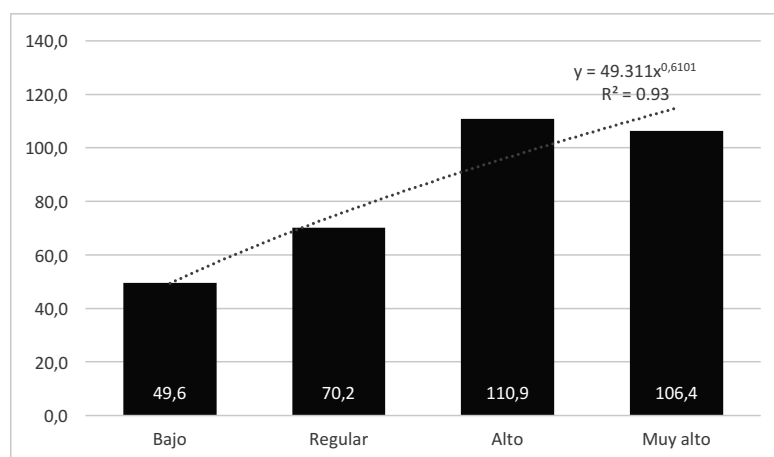
El B es esencial para el desarrollo de la quinua, participa: en el desarrollo del tubo polínico y la fertilidad del polen, en la síntesis de las proteínas y en el transporte de azúcares. El promedio general para contenido de B en el material en investigación fue en ppm de 12.2±3.0. La comparación múltiple según Bonferroni señaló como altamente significativa (P<0.001) la diferencia entre el nivel MA y los tres otros niveles, aunque las diferencia de

1.20±1.01 ppm entre los niveles R y B, de 2.58±1.01 entre el A y el B y de 1.38± 0.94 ppm entre éste y el R no resultaron significativas (P>0.05).

No existe aún estudios aplicables a la nutrición humana sobre el requerimiento diario B pero frecuentemente se recomienda el consumo diario de 0.5 a 1.0 mg. Sobre la base de esta recomendación se afirma que el contenido de B en el grano de quinua fue alto y éste en las plantas varía en función de la especie, la edad y los partes analizadas.

### Hierro (Fe)

El contenido medio de Fe fue 86.3±69.7 ppm, con un coeficiente de variación de 80% y con valores que fluctuaron entre 21 y 111 ppm. La curva  $Y = 49.311X^{0.6101}$  ( $R^2 = 0.93$ ) describe el incremento exponencial de la concentración de Fe y la comparación múltiple señaló que ninguna de las diferencias fue significativa (P>0.05) aunque fue clara la tendencia a incrementar la concentración en aplicación del exponente 0.6101. La Figura 1 demuestra la curva exponencial de incremento de la concentración de Fe.



**Figura 1.** Contenido de Fe en ppm en 34 accesiones de quinua.

Desde la demanda nutricional humana de Fe, se afirma que este elemento en la quinua es alto y satisface plenamente el requerimiento humano en cualquier de sus estadios de desarrollo.

El Fe es el componente principal de la hemoglobina y la mioglobina y forma parte de los pigmentos y de enzimas. Las necesidades humanas dependen de la edad y el sexo y son del orden 1 a 2.8 mg día<sup>-1</sup>. Para cubrir esta demanda, será suficiente un consumo diario de quinua de 4 a 30 mg día<sup>-1</sup> con una tasa de absorción de 1 a 1.5%.

### Manganeso (Mn)

En 34 accesiones de la CNQ se encontró que el contenido medio Mn fue de 4.45±2.14 ppm. Este contenido pasó de 3.07 a 5.94 ppm cuando el contenido medio PB incrementó de 12.76 a 14.19%, descendió a 4.36 ppm cuando el contenido medio PB en la muestra incrementó en 1.43% y descendió nuevamente a 4.15±1,01 ppm cuando el contenido medio de PB en el material analizado fue de 18.20%.

En todos los casos, el contenido de Mn en las muestras analizadas fue suficiente para cubrir las necesidades nutricionales de los seis grupos etarios de humanos considerados, cuyos requerimientos nutricionales varían entre de 1 y 2 ppm y son directamente proporcionales a la edad. Estadísticamente, la única diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) fue la 2.87 ppm observada entre los niveles R y B de PB.

El Mn o el Cu son cofactores del enzima superóxido dismutasa mitocondrial, uno de los antioxidantes más potentes presentes en el organismo humano; el problema asociado a su metabolismo es que esta enzima debe llegar intacto al intestino donde se absorbe y la protección la confiere una proteína llamada gliadin (Castillo y Riverón, 2014). En consecuencia, en el proceso de valorar

nutricionalmente al grano de quinua es preciso determinar si la Gliadina está presente en la quinua. Las gliadinas, son un componente del gluten de la semilla de trigo y son las responsables del aumento de volumen de la masa de trigo durante la cocción en la elaboración de pan.

### Zinc (Zn)

El Zn es un micronutriente esencial que sirve como cofactor enzimático, con muchas funciones, es esencial, en la estabilización de la estructura proteica. En la muestra de la CNQ estudiada se encontró una media general de 39.2±8.1 ppm.

La curva polinómica de segundo orden  $Y = -4.076 X^2 + 19.20X + 21.76$  describe la dinámica de concentración de Zn en esta investigación. Al incremento inicial de la pendiente entre B y R de PB le siguió un descenso en la concentración de Zn en la MS del grano de esta especie; la diferencia de 10.15 ppm entre los grupos R y B fue significativo ( $P = 0.046$ ), así como la diferencia de 11.72 ppm entre el nivel MA y el R ( $P = 0.008$ ).

### Conclusión

Aunque la causalidad entre el nivel de PB y los contenidos de Calcio, Fósforo, Potasio, Magnesio, Boro, Hierro, Manganeso y Zinc en 34 accesiones de quinua, que representan el 1% del total de accesiones de la CNQ, no fue claramente establecida. El análisis exploratorio cuantitativo mostró la existencia correlaciones entre el contenido de fósforo, potasio, boro y manganeso con el nivel de PB Muy Alto (15.53 a 18.20%). Significando que la selección de accesiones con niveles Muy Altos (15.53 a 18.20%) de PB resulta en la selección de accesiones con niveles iguales o superiores en mg por 100 g de MS a 371 de P, 1,748 de K, 15.6 ppm de B, 4.15 ppm de Mn y 40.86 ppm de Zn.



En cambio ninguna causalidad fue probada en Mg y Fe, aunque fue evidente la tendencia a incrementar los contenidos de estos elementos de un modo directamente proporcional con el contenido de PB.

Desde el análisis de la composición mineral de 34 accesiones de la CNQ concluimos que el valor nutricional de la quinua es alto, ofertando al metabolismo humano proteína y minerales en condiciones compatibles para el buen funcionamiento fisiológico de la maquinaria humana. Son excepciones a esta conclusión general el bajo contenido de Ca y la relación Ca: P inadecuada para una óptima nutrición de mamíferos en particular de la especie *Homo sapiens*.

En regiones áridas y semiáridas del altiplano con alternativas agrícolas escasas, la nutrición mineral ligada al desarrollo óseo y las funciones energéticas de la población humana constituyen una preocupación mayor; pues los productos derivados del monocultivo de quinua integrada o no a la cría de camélidos no resuelve la deficiencia de Ca ni la ineficiente utilización del P, pues la relación Ca: P es baja e igual a 0.27. Para mejorar la nutrición de los grupos humanos, en particular de aquellos que habitan el Altiplano Sur de Bolivia se requiere del desarrollo de variedades quinua con concentraciones 6 veces mayores a los actuales contenidos de Ca en la quinua en la CNQ o incrementar el actual consumo de carne o considerar la incorporación de otras fuentes de Ca en los sistemas de producción como por ejemplo la leche con rumiantes menores (ovinos o caprinos).

En suelos superficiales de textura arenosa, pobre en materia orgánica, de reacción neutra a ligeramente salina, con 9 horas de radiación solar que acelera la fotosíntesis, la quinua mostró su capacidad para producir granos de alta calidad desde el punto de vista del contenido de PB y minerales, excepto Ca.

La concentración mineral descrita en esta investigación para 34 accesiones del CNQ es posible que sea la expresión de su genotipo potenciada por la presencia de salares ricos Zn, B, Cl, MG y Ca y K y fuertes vientos que las diseminan haciéndolas disponibles al cultivo. Pero, esta condición no explica la baja concentración de Ca en el grano lo cual sugiere que su bajo contenido esté ligado al genotipo del cultivo.

### Referencias

- Anderson, J.J. (1996). Calcium, phosphorus and human development. *J. Nutr.*, 1153-1158.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- Castillo, Y.C., y Riverón, G.F. (2014). Superóxido dismutasa citosólica y enfermedades genéticas. *Revista Cubana Genética Comunitaria*, 8 (1), pág. 5-11
- Christensen, K. (2011). *Genética de poblaciones*. Segunda Edición en español.
- FAO/OMS/UNU. (2004). *Human energy requirements*. Technical Paper Series, No. 1. Rome.
- FAO. (2013). Año Internacional de la Quinua 2013. Un futuro sembrado hace miles de años. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- González, M. y Pérez J.L. (2014). Regulación endocrina del metabolismo energético a través del hueso. *Revista de osteoporosis y metabolismo mineral*. Recuperado de: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1889-836X2014000200005&script=sci\\_arttext](http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1889-836X2014000200005&script=sci_arttext)
- Jolliff, JS, DC Mahan. (2013). Effect of dietary calcium and phosphorus levels on the total tract digestibility of innate and supplemental organic and inorganic microminerals in a corn-soybean meal based diet of grower pigs. *J. Anim. Sci.* 91:1285-1294.

- Koziol, M. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5, 35-68.
- Muñoz, M.T. (s/f). *Monografía de la quinua y comparación con el amaranto. Asociación Argentina de Fitomedicina*. Disponible en <https://int.search.myway.com/search/GGmain.jhtml?searchfor>
- National Research Council. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001. Washington, DC: *The National Academies Press*. Disponible en. <https://doi.org/10.17226/9825>
- Peacock, M. (2010). Calcium metabolism in health and disease. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol*, 5(1), 23-30.
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E. and d'Andria, R. (2012). Yield and Quality Characteristics of Quinoa Grown in Open Field Under Different Saline and Non-Saline Irrigation Regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198 (4): 254-263
- Ruales, J., y Nair, B.M. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 42, 1-11.
- Tomassi, G. (2002). Phosphorus an esencial nutriment for human diet. *IMPHOS. Newsletter*, 16, 1-3.
- Holle, M. y Arbizu C. (1994). *Conservación ex situ de los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos*. En: Resúmenes de trabajos presentados en el VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Universidad Austral de Chile, Valdivia.