



Freely available online - OPEN ACCESS

Revista Española de Nutrición Humana y Dietética

Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics

INVESTIGACIÓN – versión *post-print*

Esta es la versión revisada por pares aceptada para publicación. El artículo puede recibir modificaciones de estilo y de formato.

Índice glucémico de cañahua, quinua y de productos enzimáticamente modificados de quinua Jacha Grano

Glycemic index of cañahua, quinua and enzymatically modified products from quinoa Jacha Grano

Índice glucémico de pseudocereales andinos

Peggy Ormachea-Salcedo^a, Alejandra Navia-Coarite^a, Gabriela Tarquino-Flores^a, Lizzeth Callejas-Calle^a, Cliver Yupanqui-Machaca^a, Carolina Latorre-Rada^a, Maria Mamani-Charca^a, y Lily Salcedo-Ortiz^{a,b*}

^a Laboratorio de Bioorgánica, Instituto de Investigaciones Químicas, FCPN, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

^b Unidad de Laboratorio, Hospital de Clínicas. Av. Saavedra. La Paz, Bolivia.

* lsalcedo@fcpn.edu.bo

Recibido: 12/09/2023; Aceptado: 07/12/2023; Publicado: 13/01/2024

Editor asignado: Édgar Pérez Esteve, Instituto Universitario FoodUPV, Universitat Politècnica de València, Valencia, España.

CITE: Ormachea-Salcedo P, Navia-Coarite A, Tarquino-Flores G, Callejas-Calle L, Yupanqui-Machaca C, Latorre-Rada C, Mamani-Charca M, Salcedo-Ortiz L Índice glucémico de cañahua, quinua y de productos enzimáticamente modificados de quinua Jacha Grano. Rev Esp Nutr Hum Diet. 2024; 28(1). doi: 10.14306/renhyd.28.1.2025 [ahead of print]

La Revista Española de Nutrición Humana y Dietética se esfuerza por mantener a un sistema de publicación continua, de modo que los artículos se publiquen antes de su formato final (antes de que el número al que pertenecen se haya cerrado y/o publicado). De este modo, intentamos poner los artículos a disposición de los lectores/usuarios lo antes posible.

The Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics strives to maintain a continuous publication system, so that the articles are published before its final format (before the number to which they belong is closed and/or published). In this way, we try to put the articles available to readers/users as soon as possible.

MENSAJES CLAVE

- Los pseudocereales (quinua y cañahua) poseen índice glucémico bajo.
- Los productos obtenidos por aplicación enzimática secuencial α -amilasa/proteasa (fracción soluble e insoluble) presentan índice glucémico y carga glucémica diferente al grano de origen.
- Los productos obtenidos por aplicación enzimática, separados en dos fracciones (soluble e insoluble) poseen diferente composición química.

RESUMEN

Introducción: Los granos andinos como la quinua y la cañahua tienen cualidades nutricionales excepcionales. Los alimentos con propiedades funcionales son cada vez más requeridos por su implicación en la salud. Por ello, desarrollar alternativas nutricionales con cualidades específicas resulta de gran interés. La evaluación del índice glucémico (IG) y carga glucémica (CG) son importantes, particularmente de alimentos y suplementos cuyo índice glucémico y carga glucémica aún no han sido establecidos. El objetivo del presente trabajo fue determinar el IG de diferentes variedades de quinua, cañahua y de dos productos modificados enzimáticamente de quinua Jacha Grano propuestos como suplementos nutricionales.

Metodología: El efecto de cañahua, quinua y dos productos modificados enzimáticamente de quinua Jacha Grano sobre el índice glucémico se determinó según método ISO 26642:2010. Para obtener productos modificados enzimáticamente, se realizó una hidrólisis secuencial con α -amilasa/alcalasa de harina de quinua Jacha Grano: post hidrólisis se separó la fracción soluble de la insoluble por centrifugación de filtro, la fracción soluble se secó por aspersion y por liofilización la fracción insoluble.

Resultados: Se obtuvo el índice glucémico (IG) del producto de fracción insoluble en forma de galletas (20,2), del producto fracción soluble en forma de jugo (39,5), de quinua Real blanca (33,3), quinua Real negra (28,1), quinua Real roja (35,5), quinua Jacha Grano (35,8) y cañahua (36,3).

Conclusiones: Los valores de índice glucémico de diferentes variedades de quinua y cañahua corresponden a valores bajos, al igual que el producto de fracción soluble en forma de jugo, el valor más bajo lo obtuvo el producto de fracción insoluble con alto contenido de fibra y lípidos en forma de galletas. El efecto sobre el IG de los productos modificados sugiere realizar estudios posteriores en personas que necesitan nutrición especializada.

Financiación: Se obtuvo apoyo financiero del proyecto gubernamental IDH "Aplicación tecnológica enzimática para el desarrollo de aditivos nutricionales de fácil digestión a partir de quinua y granos andinos, La Paz".

Palabras clave: Alimento funcional, chenopodium pallidicaule, Chenopodium quinoa, biotecnología, valor nutritivo.

ABSTRACT

Introduction: Andean grains such as quinoa and cañahua have exceptional nutritional qualities, foods with functional properties are increasingly required due to their implication in health, developing nutritional alternatives with specific qualities is of great interest, of the qualities to value the glycemic index and glycemic load are important for a possible implementation in special diets. The objective of this work was to determine the glycemic index (GI) of two enzymatically modified products of quinoa Jacha Grano, cañahua and different varieties of quinoa.

Methods: The effect of cañahua, quinoa and two enzymatically modified products of quinoa Jacha Grano on the glycemic index was determined according to the ISO 26642:2010 method. To obtain enzymatically modified products, a sequential hydrolysis was carried out with α -amylase/alcalase of Jacha Grano quinoa flour. Post hydrolysis, the soluble fraction was separated from the insoluble fraction by filter centrifugation, the soluble fraction was dried by spraying and the insoluble fraction by lyophilization.

Results: The GI of the insoluble fraction product in the form of cookies (20.2) was obtained; of the product soluble fraction in the form of juice (39.5); the GI of white Royal quinoa (33.3); black Royal quinoa (28.1), red Royal quinoa (35.5), Jacha Grano quinoa (35.8) and Cañahua (36.3).

Conclusions: The glycemic index values of different varieties of quinoa and cañahua correspond to low levels; the product of the soluble fraction obtained by enzymatic hydrolysis from quinoa Jacha Grano in the form of juice also obtained a low value and the product of the insoluble fraction with high fiber and lipid content in the form of cookies had a very low value (20.2 ± 3.1). The effect of the products obtained could be studied in people who need specialized nutrition, generating opportunities for the food industry.

Funding: Financial support was obtained from the IDH government tender Project "Enzymatic biotechnology application for the development of easily digestible nutritional additives from quinoa and andean grains, La Paz.

Keywords: Functional food, biotechnology, *Chenopodium pallidicaule*, *Chenopodium quinoa*, biotechnology, nutritional quality.

INTRODUCTION

La cantidad y calidad de los carbohidratos presentes en los alimentos afectan a los niveles de insulina y glucosa postprandiales, desencadenantes de mecanismos fisiopatológicos involucrados en varias enfermedades crónicas no transmisibles. El índice glucémico (IG) cuantifica la respuesta glucémica e insulinémica a los hidratos de carbono ingeridos en diferentes alimentos, comparándola con la respuesta de un alimento de referencia habitual (pan blanco o solución glucosada). La carga glucémica (CG) es el producto matemático del IG por la cantidad consumida y estima el efecto glucémico total de la dieta¹. Ambos son indicadores válidos del efecto de los carbohidratos ingeridos en el nivel de glucosa plasmática.

Los valores del IG se agrupan en tres categorías: IG alto ≥ 70 , IG intermedio 56-69, IG bajo de 0-55. Un alimento con CG alta tiene un valor de 20 o más si la misma va de 11 a 19 es media y si es por debajo de 10 son bajos. Se creó para representar el efecto glucémico global de una dieta donde se toma en cuenta el tamaño habitual de la ración².

En Bolivia se cultivan granos típicos de altura, que se caracterizan por su gran valor nutritivo y adaptabilidad ecológica a las condiciones adversas de la zona andina: principalmente, quinua (*Chenopodium quinoa*), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), amaranto (*Amaranthus caudatus*), y tarwi (*Lupinus mutabilis*)³.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), se caracteriza por tener ácidos grasos insaturados y poliinsaturados omega 3 y omega 6, minerales y vitaminas en mayor concentración que en los cereales, un alto contenido de compuestos bioactivos saludables tipo fitoesteroles, flavonoides, betalainas⁴; existen evidencias clínicas de su efectividad en la salud, recomendándose su consumo para las personas con anemia, dislipidemias e intolerancia a la lactosa, así como para celíacos, por lo que se la considera un alimento funcional⁴, también se reportó el efecto beneficioso de la quinua en el índice de masa corporal y hemoglobina glucosilada⁵, junto al IG bajo^{4,5}. Una variedad mejorada de quinua, de interés comercial, es la quinua Jacha Grano, con menor contenido de saponinas, altamente competitiva de la región del altiplano del departamento de La Paz, representa una alternativa productiva para esta región⁶.

De la Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), sobresale su capacidad antioxidante similar a la que presenta la quinua⁶, proteínas de alta calidad con una composición de aminoácidos equilibrado y alto contenido de minerales^{7,8}, las saponinas se encuentran en menor cantidad en relación a la quinua, el consumo tradicional es en forma de pito (harina tostada) o en forma de refresco natural⁸.

Por otro lado, la Biotecnología enzimática representa la aplicación de las enzimas en un amplio número de industrias en diferentes áreas; en alimentos para obtener edulcorantes, mejorar las características organolépticas, modificar carbohidratos, obtener productos modificados y compuestos bioactivos de impacto en la salud⁹.

El objetivo del presente estudio es determinar el índice glucémico de cañahua, de diferentes variedades de quinua, y de dos productos modificados por biotecnología enzimática de quinua Jacha Grano.

METODOLOGÍA

Materia prima

Las quinuas variedad Real; quinua blanca (QRB), negra (QRN), roja (QRR) y cañahua (C) variedad Ramis, fueron otorgadas por la empresa IRUPANA ANDEAN S.A., del altiplano sur del departamento de Potosí. La quinua variedad Jacha Grano (QJG) se obtuvo de la Asociación de Productores Quineros Jurisdicción Umala (ASPROQUIJU) provincia Aroma del departamento de La Paz, correspondiente a una quinua dulce, variedad mejorada del altiplano Sur.

Productos modificados enzimáticamente de quinua Jacha Grano

Los granos de quinua Jacha Grano fueron molidos en una moladora Bosch (Bosch Home, Gunzenhausen, Alemania) de 100g de capacidad por 5 min se procedió a cernir en tamices 60 mesh de acero norma ASTM 11 para obtener una harina homogénea, se preparó una suspensión acuosa de harina de quinua al 10% en un biorreactor (Yhchem, Shanghai, China) de 8 L de capacidad con agitación continua de pH y temperatura regulable. Después de 5 min. de ebullición para la gelatinización se procedió a la hidrólisis con la enzima α -amilasa termoestable (Thermamyl Sc, glucosidasa, Novozymes, Copenhagen, Dinamarca) en condiciones de pH 6.0 y temperatura de 85°C por 60 min, procedimiento reportado por

Navia-Coarite et al.¹⁰. Posteriormente, se acondiciono la temperatura a 50°C sin modificar el pH para proceder con la enzima alcalasa (proteasa de *Bacillus licheniformis*, Sigma-Aldrich, Saint Louis, USA), con una relación enzima/sustrato de 2 después de 8 h se subió la temperatura hasta ebullición por 5 min para terminar la hidrolisis residual. El hidrolizado se separó en dos fracciones por centrifugación, se utilizó una centrifugadora de filtro canasta de acero inoxidable 304 (INDSOL, La Paz, Bolivia), por 8 min a 100 rpm, se obtuvo una fracción soluble (filtrado) y sedimento o fracción insoluble. La fracción soluble se secó en un secador por aspersion (INDSOL, La Paz, Bolivia), obteniéndose el producto de fracción soluble (PFS). La fracción insoluble se secó en liofilizador (BIOBASE, Zhangqiu, China), obteniéndose el producto de fracción insoluble (PFI). Para la evaluación de IG y mejorar el sabor de los productos se realizaron los siguientes preparados: el PFS se preparó con 5 g de frutilla y 300 mL de agua en forma de jugo (JPFS), con el PFI se preparó galletas (2 claras de huevo batido con 400 g de PFI, 90 g de mantequilla, agua y polvo de hornear), se horneó a 180 °C por 30 min, obteniéndose galletas (GPFI).

Análisis proximal de los granos andinos y productos

El análisis proximal se determinó de acuerdo a métodos AOAC, para humedad (934.01), ceniza (923.03), fibra (962.09), lípidos (920.30), proteínas (976.05) método Kjeldhal por el factor 6,25¹¹, los carbohidratos por determinación indirecta (diferencia matemática entre la muestra y la sumatoria de proteína, grasa, ceniza y humedad). Se cuantificó azúcares libres¹² y glucosa por el método glucosa oxidasa¹³.

Voluntarios

Fueron seleccionados 35 voluntarios (20 mujeres y 15 varones), en cada prueba participaron entre 8 y 10 participantes, comprendidos entre 19 y 25 años de edad, estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad Mayor de San Andrés. Los voluntarios cumplieron los criterios de inclusión: tener un Índice de Masa Corporal (IMC) normal acorde a recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹⁴, ausencia de enfermedades crónicas degenerativas o agudas, no tener antecedentes familiares de Diabetes, no tener actividad física intensa, tratamientos médicos, procesos infecciosos recientes, así como presentar valores bioquímicos normales.

Los datos antropométricos y bioquímicos se obtuvieron dos días antes de cada prueba de respuesta glucémica postprandial; el IMC osciló entre 19 a 25 Kg/m², a todos los voluntarios se les tomo muestra de sangre a partir de las 7:30 am con 12 h previas de ayuno, se determinó glucosa, proteínas y albumina por métodos certificados (Human, Alemania), el hematocrito por micro método¹⁵, los resultados presentaron una media (\pm DE), de glicemia 78 (\pm 6) mg/dL, proteínas 6,6 (\pm 0,5) g/dL, albumina 4,1 (\pm 0,5) g/dL y hematocrito 49 (3) %. Se les recomendó, no consumir dietas ricas en grasas y carbohidratos 48 h antes de la prueba, según normas internacionales¹⁶.

Protocolo de estudio

El protocolo fue elaborado de acuerdo a la ISO 26642:2010¹⁶, aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Mayor de San Andrés, los participantes leyeron y firmaron el consentimiento informado.

El estudio fue tipo experimental, aleatorizado, transversal, doble ciego. Cada voluntario participo en 2 pruebas, los sujetos se presentaron con ayuno de 12h: primero se les tomó la glucosa capilar, posteriormente se les proporcionó el alimento seleccionado: quinua y cañahua cocida con sal, producto de fracción soluble en forma de jugo (JPFS) y producto de fracción insoluble en forma de galleta (GPFI), el alimento de referencia solución glucosada (SG) preparada en 250 mL de agua.

Inicialmente se valoró la cantidad de carbohidratos de cada alimento para que cada voluntario consuma 50 g del mismo, se solicitó que el tiempo de consumo no exceda los 15 min; Posteriormente se realizaron las medidas de glucosa sanguínea con el glucómetro One Touch.ultra, a los 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min.

Las pruebas se realizaron en día sábado, cada 7 días en el Laboratorio del Hospital de Clínicas (La Paz), cabe resaltar que durante el período de prueba, los sujetos se encontraban en un ambiente cómodo y tranquilo.

Índice Glucémico

La determinación del IG de los granos y de dos aditivos propuestos se realizó de acuerdo a la ISO (International Organization for Standardization) method 26642:2010^{16,17}. Las valoraciones se obtuvieron según la fórmula.

$$IG = \frac{\text{Área de la muestra}}{\text{Área de control}} \times 100$$

Carga Glucémica

Es el resultado de multiplicar el valor del IG por la cantidad en gramos de los HC en una ración de alimento.

$$CG = \frac{IG \times (\text{g de CH en una ración})}{100}$$

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar (DE), los datos se trataron por análisis de varianza ANOVA unidireccional con el programa SPSS estadísticos v 24,0 en su versión de prueba a 30 días (disponible en internet), junto al test de Duncan entre los IG de cada producto y grano en relación al IG de solución glucosada.

El nivel de significancia para todas las pruebas estadísticas fue del 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

El análisis proximal de los granos de quinua y cañahua, junto a los productos de fracción soluble e insoluble se encuentran expresadas en la Tabla 1, los resultados se encuentran expresados con su DE; La concentración de proteínas de los granos andinos y de los productos obtenidos por aplicación enzimática con α -amilasa/alcalasa, fracción soluble (PFS) e insoluble (PFI) osciló entre 14,4 y 15,6; quedando en PFI cerca del 100% de grasas. Adicionalmente en los productos modificados se cuantifico azúcares libres como monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos, encontrándose este tipo de carbohidratos, cerca de 3 veces más en el PFS en relación al PFI. También se cuantifico la glucosa, como monosacárido de mayor relevancia, este analito se encontró en mayor concentración en el PFS en relación al PFI.

Tabla 1. Análisis proximal (g/100 g) de la materia prima y productos hidrolizados

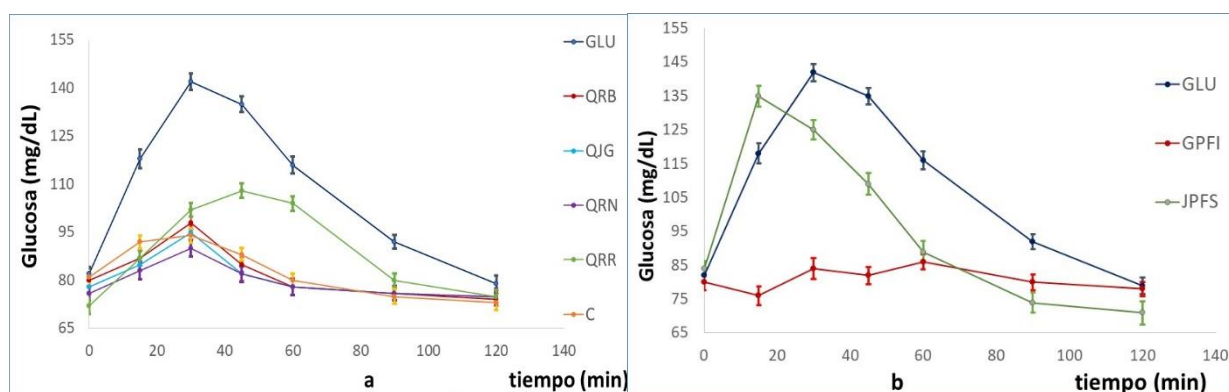
Parámetros	C	QRB	QRN	QRR	QJG	PFS	PFI
Cenizas	3,4 (0,3)	2,4(0,03)	3,3(0,3)	2,9(0,2)	2,3 (0,1)	3,14(0,2)	5,27(0,2)
Humedad	8,2(0,1)	10,7(0,8)	10,2(0,5)	11,2(0,1)	14,71(0,1)	5,21(0,2)	2,88(0,2)
Proteínas	14,4	15,0	14,6	15,4	15,2	15,2	15,6
Grasas	5,7(0,2)	5,7(0,4)	7,7(0,4)	6,3(0,4)	5,1(0,1)	0,75(0,1)	20,88(0,2)
Carbohidratos	61,06	63,06	57,97	61,20	62,84	75,9	55,98(0,2)
Fibra	7,2	3,04	6,2	3,1	3,1(0,2)	0	8,49(0,2)
Azúcares libres					1,1(0,1)	32,8(0,3)	12,65(0,2)
Glucosa					0,7(0,1)	13,8(0,2)	6,31(0,2)

Datos expresados con la media (DE), n=3

C: cañahua; QRB: quinua Real blanca; QRN: quinua Real negra; QRR: quinua Real roja; QJG: quinua Jacha Grano; PFS: Producto de fracción soluble; PFI Producto de fracción insoluble

Los resultados de la respuesta glucémica al consumo de 50 g de carbohidratos contenidos en diferentes variedades de quinua, cañahua y productos modificados con enzimas (α -amilasa/alcalasa) fueron expresados como la media (DE), no se encontraron diferencias estadísticas en las concentraciones de glucemia basales para ninguno de los tratamientos. Las curvas de respuesta postprandial a partir de las cuales se obtuvieron los IG se observan en la Figura 1; las curvas de las 4 variedades de quinua y de cañahua presentan áreas por debajo de la curva obtenida por el consumo del producto de referencia (SG); las curvas de respuesta glucémica de QRB, QRN, QJG y C son similares entre si (Figura 1 a), presentan mayor concentración de glucosa a los 30 min, la QRR presenta una curva diferente con el pico de concentración de glucosa a los 45 min. En la Figura 1 b se observa la diferencia de las curvas de respuesta postprandial de los productos obtenidos por aplicación enzimática; la curva obtenida de GPFI muestra un leve aumento de glucosa a los 30 y 60 min, el área bajo la curva fue significativamente menor en relación al área de la curva obtenida del alimento de referencia (SG) y del área de JPFS. La curva de respuesta postprandial al JPFS muestra un pico a los 15 min, bajando hasta un nivel inferior a la inicial a los 90 min, el área debajo de la curva es menor al área del alimento de referencia.

Figura 1. Respuesta postprandial de Glucemia en comparación de glucosa



- a. Después de consumir: GLU- solución glucosada; QRB - quinua Real blanca; QRR- quinua Real roja; QRN - quinua Real negra; QJG: quinua Jacha Grano; C: cañahua
b. GPFI: Galletas de productos fracción insoluble; JPFS: Jugo de producto fracción soluble, n=9

Las diferentes variedades de quinua, QRB, QRR y QJG y la cañahua mostraron similares valores de IG, la QRN obtuvo un valor de IG ligeramente menor en relación a las demás. El IG de GPFI obtuvo un valor por encima de la mitad del IG de la quinua Jacha Grano, de la cual se procesó. El IG del JPFS obtuvo un valor ligeramente más elevado que el IG del grano origen (Tabla 2). En la misma tabla, se observan los valores de CG de las diferentes variedades de quinua, cañahua y de los productos modificados por enzimas, los granos y el JPFS obtuvieron CG de valor medio, la CG de GPFI obtuvo un valor bajo.

Tabla 2. IG y CG de quinua, cañahua y productos hidrolizados

Parámetro	C	QRB	QRN	QRR	QJG	JPFS	GPFI
s							
IG	36,3(2,2) ^a	33,3(1,5) ^a	28,1(0,9) ^b	35,5(1,9) ^a	35,8(2,2) ^a	39,5(2,8) ^a	20,2(3,1) ^c
CG	18,2	16,7	13,1	18,2	18,73	11,1	9,4

Letras diferentes indican diferencias significativas < 0,05 (n=9)

IG: Índice glucémico; CG: Carga glucémica; JPFS: Jugo de producto fracción soluble;
GPFI: Galletas de producto fracción insoluble

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio, confirman una respuesta glucémica postprandial disminuida y favorable en sujetos sanos, posterior a la ingesta de cuatro variedades de quinua (QRB, QRN, QRR y QJG) y de un pseudocereal que no tiene referencias anteriores (cañahua), en relación al alimento de referencia (SG), de igual forma, la respuesta glucémica post ingesta de los productos obtenidos por aplicación enzimática de quinua Jacha Grano, GPFI y JPFS, fueron disminuidas, dando lugar a un IG de 20 para GPFI y de 39 para JPFS, ambos valores corresponden a IG bajo.

Según Fuentes y Paredes, el valor nutricional de la quinua es reconocido por su proteína rica en aminoácidos esenciales y por su contenido de carbohidratos con un índice glucémico bajo, con cualidades nutricionales y funcionales más altas que los cereales como el maíz, avena, trigo y arroz⁴. La quinua real es la más cotizada en los mercados por el tamaño de sus granos, relativamente resistente a las heladas y periodos de sequía, lo cual facilita su cultivo en las rigurosas condiciones climáticas del Altiplano¹⁸.

El análisis proximal realizado en el presente estudio de 3 variedades de quinua real, junto a la quinua Jacha Grano y cañahua, coincide con datos ya referenciados^{7,8}. El análisis proximal de los productos obtenidos por hidrólisis enzimática (α -amilasa/alcalasa), mostró una similar concentración de proteínas en ambos productos (PFS y PFI), sin diferencias se observan en la Tabla 1. Se deduce la presencia de péptidos hidrófobos en el PFI y péptidos hidrosolubles en el PFS. Post hidrólisis, los lípidos quedaron en el PFI, con cerca del 20% y 0,75% en el PFS acorde a lo esperado de carbohidratos totales; el PFI contiene cerca de 56% y el PFS con 76% con un incremento notorio de azúcares libres y glucosa libre en PFS. La fibra quedo en el PFI al igual que el incremento de minerales, lo que indica que ambos productos presentan una composición y cualidades diferenciadas. La revisión de Bastidas et al., reporta el IG de quinua entre 35 y 53, según el tiempo de cocción¹⁸, nuestro estudio obtuvo IG de tres variedades de quinua Real, que corresponde al 60% de producción nacional¹⁹, el IG encontrado oscila entre 28,1 y 35,5; la quinua Jacha Grano (QJG), (variedad mejorada) contiene mayor cantidad de lisina, de composición nutritiva similar a la quinua real, adecuada para exportación, y de alto interés para los productores del altiplano centro⁶, se obtuvo un IG de 35,8. De *chenopodium pallidicaule*

Allen (C), no se encuentran referencias de IG ni de CG, nuestro estudio mostró el IG de 36,3 (bajo) y un comportamiento de respuesta glucémica postprandial similar a QRB y QRN (Figura 1). En Bolivia, la C se consume en forma de pitos (harina semi tostada), refrescos, y panadería, actualmente, se impulsa su producción por su alto contenido de proteínas de alta calidad, vitaminas, minerales y actividad antioxidante, similar a la quinua²⁰.

Varios estudios clínicos han constatado el efecto saludable de alimentos con bajo índice glucémico: en el sobrepeso y la obesidad^{21,22}, al contrario, los carbohidratos de IG alto contribuyen a enfermedades cardiovasculares e incluso a la mortalidad²³. Gonçalves and Dullius, demostraron que la ingesta de carbohidratos de bajo índice glucémico favorece a diabéticos²⁴, reduce la secreción de insulina y disminuye la concentración de lípidos sanguíneos²⁵.

El desarrollo de alimentos modificados por aplicación enzimática permite atribuir una cualidad, el obtener alimentos digeridos que puede ser utilizados en dietas específicas para personas que presentan deficiencias digestivas, por lo que ingresan a formar parte de alimentos funcionales, al ejercer efectos beneficiosos en la salud²⁶. La quinua está reconocida como alimento funcional, su consumo ayuda a controlar la diabetes mellitus tipo 2, al incrementar las HDL, mejorar la resistencia a la insulina; presenta efectos benéficos que se asocian con la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, fibra dietética y tipo de carbohidratos¹⁸.

Los alimentos procesados con biotecnología enzimática han aumentado, en algunos casos por que dan lugar a alimentos hipo alergénicos y con mejores propiedades nutraceuticas, como: la leche deslactosada, dirigida a personas con intolerancia a la lactosa o hipersensibilidad a proteínas de la leche²⁷, en la industria de lácteos con la producción de quesos blandos y duros, yogurt y kéfir, panificación con carbohidrasas y en productos cárnicos con proteasas²⁸.

En el presente estudio, se han obtenido dos productos por aplicación enzimática (α -amilasa/alcalasa), un producto de fracción insoluble (PFI) y otro de fracción soluble (PFS). El producto de fracción insoluble fue evaluado en forma de galletas, rico en componentes hidrofóbicos (péptidos, fibra, lípidos), mostró una respuesta glucémica muy baja, por lo que se propone a este producto beneficioso para personas que sufren de diabetes y

obesidad, también da la posibilidad de poder utilizarlo con mayor facilidad en repostería, sin tener que mezclar con otras harinas. El producto de fracción soluble, fue evaluado en forma de jugo, con una respuesta glucémica ligeramente más elevada en relación a la que presentan los granos de quinua, se caracteriza por estar constituido de compuestos hidrofílicos (péptidos, carbohidratos, vitaminas hidrosolubles y glucósidos) es propuesto como aditivo energizante. Ambos productos pueden ayudar a las personas que sufren de problemas digestivos. Futuros estudios, podrían enfocarse, en ver el efecto de los PFI y PFS en personas que sufren de diabetes tipo 2 de forma controlada. Verificar el efecto del PFS en la estimulación de la secreción de insulina y glucagón, realizar estudios de formulaciones alimentarias de ambos productos.

CONCLUSIONES

Por aplicación secuencial de enzimas α -amilasa/alcalasa en harina de quinua Jacha Grano, se obtuvieron dos productos hidrolizados, el producto de fracción soluble se evaluó en forma de jugo (JPFS), con una respuesta glucémica baja, un IG de 39,5, el producto de fracción insoluble se evaluó en forma de galleta (GPFI) con una respuesta glucémica muy baja correspondiente a un IG de 20 y carga glucémica de 9,4.

Se propone la incorporación de los productos hidrolizados en dietas especiales, particularmente para personas con problemas digestivos, diabetes y obesidad. Se determinó el IG de diferentes variedades de quinua Real, quinua Jacha Grano y de cañahua, obteniéndose un valor bajo. Los resultados son útiles para la industria de alimentos funcionales dirigidos a diferentes problemas de salud.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los estudiantes de la Universidad Mayor de San Andrés, que participaron en el estudio por su apoyo y asistencia incondicional.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

P.O-S y L.S-O Evaluación de parámetros de laboratoriales de los voluntarios para ingresar al estudio de IG. L.S creación y diseño del estudio. L.C-C y A.N-C obtención de hidrolizados en harina de quinua Jacha Grano. C.Y-M optimización del filtrado en dos productos,

fracción soluble y fracción insoluble, C.L-R y M.M-C estandarización de secado de los productos hidrolizados. P.O-S y L.S-O obtención de datos de la prueba de IG y su tratamiento en la obtención de valores de IG., G.T-F análisis de datos.

FINANCIACIÓN

El estudio fue financiado por Fondos gubernamentales IDH al proyecto “Aplicación tecnológica enzimática para el desarrollo de aditivos nutricionales de fácil digestibilidad a partir de quinua y granos andinos, dirigido a niños de La Paz”

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

REGISTRO/PUBLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El proyecto “Aplicación tecnológica enzimática para el desarrollo de aditivos nutricionales de fácil digestión a partir de quinua y granos andinos, dirigido a niños de La Paz”, incluido el protocolo de estudio, fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la UMSA (CEI.UMSA.AVAL ÉTICO 12/2017).

REFERENCIAS

- (1) Manuzza MA, Brito G, Echegaray NS, López LB. Índice glucémico y carga glucémica: su valor en el tratamiento y la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles. *Diaeta*. 2018; 36(162):29–38..
- (2) Arteaga-Llona A. El Índice glicémico: Una controversia actual. *Nutrición Hospitalaria*. 2006; 21: 55–60.
- (3) Rojas W, Soto JL, Pinto M, Jäger M, Padulosi S. Granos andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. 2010.
- (4) Fuentes F, Paredes X. Nutraceutical Perspectives of Quinoa: Biological Properties and Functional Applications. Bazile D, Bertero D, Nieto C (editors). *The state of the world's*

- quinoa. Publisher: Regional Office for Latin America and Caribbean at Food and Agriculture Organization (FAO). 2013: 286-299. DOI: 10.13140/RG.2.1.4294.2565.
- (5) Abellán-Ruiz MS, Barnuevo-Espinosa MD, García-Santamaría C, Contreras-Fernández CJ, Aldeguer-García M, Soto-Méndez F, et al. Efecto del consumo de quinua (*Chenopodium quinoa*) como coadyuvante en la intervención nutricional en sujetos prediabéticos. *Nutrición Hospitalaria*. 2017; 34(5): 1163–9, doi: 10.20960/nh.843.
- (6) Rojas W, Vargas-Mena A, Pinto-Porcel M. La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. 2016; 3(2): 114–24.
- (7) Callohuanca-Pariapaza MA, Mamani-Mamani E, Mamani-Paredes J, Canaza-Cayo AW. El color del perigonio y la capacidad antioxidante de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2021; 38(2): 99–110, doi: 10.22267/rcia.213802.164.
- (8) Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen SE. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*. 2003; 19(1-2): 179–89, doi: 10.1081/FRI-120018884.
- (9) Arroyo, M.; Acebal, C. y Mata, I. "Biocatálisis y biotecnología". *Arbor*. 2014; 190 (768): a156. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4010>
- (10) Navia-Coarite NA, Nina-Mollisaca GL, Mena-Gallardo EP, Salcedo-Ortiz L. Hidrólisis enzimática en harina de quinua y tarwi por efecto de α -amilasa. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2019; 17(1): 64–73, doi: 10.18684/bsaa.v17n1.1205.
- (11) AOAC International. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemist*. 1999; 16th Edition, 5th Revision, Gaithersburg, USA.
- (12) DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*. 1956; 28(3): 350–6, doi: 10.1021/ac60111a017
- (13) Lott JA, Turner K. Evaluation of Trinder's Glucose Oxidase Method for Measuring Glucose in Serum and Urine. *Clinical Chemistry*. 1975; 21(12): 1754–60, doi: 10.1093/clinchem/21.12.1754.

- (14) Collado-Torrez L, García-de la Hera M, Navarrete-Muñoz EM, Gonzales-Palacios S, Oncina-Cánovas A, Vioque-López J. Prevalencia de obesidad de acuerdo a tres índices antropométricos en una muestra representativa de la Comunidad Valenciana. *Revista española de nutrición humana y dietética*. 2018; 22(4): 272–8, doi: 10.14306/renhyd.22.4.527.
- (15) Unicef U, OMS U. OMS: Anemia por deficiencia de hierro: evaluación, prevención y control. Una guía para administradores de programas. 2001.
- (16) International Standards Organization (ISO) 26642. Food products—determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. 2010.
- (17) Brouns F, Bjorck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, et al. Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews*. 2005; 18(1): 145–71, doi: 10.1079/NRR2005100.
- (18) Gordillo-Bastidas E, Díaz-Rizzolo DA, Roura E, Massanés T, Gomis R. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from Nutritional Value to Potential Health Benefits: An Integrative Review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2016; 06(03), doi: 10.4172/2155-9600.1000497.
- (19) Boletín IBCE Cifras No. 783: Bolivia: Exportaciones de quinua. 2019. Disponible en: <https://ibce.org.bo/ibcecifras/index.php?id=729>
- (20) Rodriguez JP, Bonifacio A, Gómez-Pando LR, Mujica A, Sørensen M. Chapter 3 Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Farooq M, Siddique KHM, (editors). *Neglected and Underutilized crops Future Smart Food*. Publisher: Academic Press. 2023: 45–93, doi: 10.1016/B978-0-323-90537-4.00011-9.
- (21) Thomas D, Elliot EJ, Baur L. Dietas de bajo índice glucémico o baja carga glucémica para el sobrepeso y la obesidad. *Biblioteca Cochrane plus*. 2007; 4, doi: 10.1002/14651858.CD005105.pub2.
- (22) Brand-Miller JC, Holt SHA, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic index and obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002; 76(1): 281S–5S, doi: 10.1093/ajcn/76/1.281S.
- (23) Jenkins DJA, Dehghan M, Mente A, Bangdiwala SI, Rangarajan S, Srichaikul K, et al. Glycemic Index, Glycemic Load, and Cardiovascular Disease and Mortality. *New England Journal of Medicine*. 2021; 384(14): 1312–22, doi: 10.1056/NEJMoa2007123

- (24) Gonçalves-Reis CE, Dullius J. Glycemic acute changes in type 2 diabetics caused by low and high glycemic index diets. *Nutr hosp*. 2011; 26(3): 546–52, doi: 10.3305/nh.2011.26.3.4751.
- (25) Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, Josse RG. The glycemic index: methodology and clinical implications. *The American journal of clinical nutrition*. 1991; 54(5): 846–54, doi: 10.1093/ajcn/54.5.846
- (26) Fuentes-Berrio L, Acevedo-Correa D, Gelvez-Ordoñez VM. Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad Colombiana. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2015; 13(2): 140-49, doi: 10.18684/BSAA(13)140-149
- (27) Rodríguez VA, Cavero BF, Alonso A. Proceso de elaboración de yogur deslactosado de leche de cabra. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2008; 28: 109–15, doi: 10.1590/S0101-20612008000500018 .
- (28) Moral S, Ramírez-Coutiño LP, García-Gómez MDJ. Aspectos relevantes del uso de enzimas en la industria de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2015; 2(3): 87-102.