

Rosa Huaraca Aparco | Fidelia Tapia Tadeo | María Del Carmen Delgado Laime  
Aydeé Kari Ferro | Juan Alarcón Camacho | Margoth Moreno Huamán  
Henry Wilfredo Agreda Cerna | Edwin Mescco Cáceres | Rosa Nelida Ascue Ruiz  
Celinda Alvarez Arias | Niki Franklin Flores Pacheco | Nora Gladys Echegaray Peña



# GERMINADO DE VARIETADES DE QUINUA

Caracterización de las propiedades nutricionales de  
snacks extruido con germinados de quinua  
(*Chenopodium quinoa* Willd)

Rosa Huaraca Aparco | Fidelia Tapia Tadeo | María Del Carmen Delgado Laime  
Aydeé Kari Ferro | Juan Alarcón Camacho | Margoth Moreno Huamán  
Henry Wilfredo Agreda Cerna | Edwin Mescco Cáceres | Rosa Nelida Ascue Ruiz  
Celinda Alvarez Arias | Niki Franklin Flores Pacheco | Nora Gladys Echegaray Peña



# GERMINADO DE VARIETADES DE QUINUA

Caracterización de las propiedades nutricionales de  
snacks extruido con germinados de quinua  
(*Chenopodium quinoa* Willd)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



## Germinado de variedades de quinua - Caracterización de las propiedades nutricionales de snacks extruido con germinados de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)

**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
G374	<p>Germinado de variedades de quinua - Caracterización de las propiedades nutricionales de snacks extruido con germinados de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) / Rosa Huaraca Aparco, Fidelia Tapia Tadeo, María Del Carmen Delgado Laime, et al. - Ponta Grossa - PR, 2023.</p> <p>Otros autores  Aydee Kari Ferro  Juan Alarcón Camacho  Margoth Moreno Huaman  Henry Wilfredo Agreda Cerna  Edwin Mescco Cáceres  Rosa Nelida Ascue Ruiz  Celinda Alvarez Arias  Niki Franklin Flores Pacheco  Nora Gladys Echegaray Peña</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografía  ISBN 978-65-258-1018-8  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.188231702">https://doi.org/10.22533/at.ed.188231702</a></p> <p>1. Quinoa. I. Aparco, Rosa Huaraca. II. Tadeo, Fidelia Tapia. III. Laime, María Del Carmen Delgado. IV. Título.  CDD 633.6</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

El origen del presente libro se fundamenta en los granos andinos de la región andina de Apurímac, Perú. La quinua (*Chenopodium quinoa*), es conocido por sus excepcionales propiedades nutricionales, clasificado como pseudocereal cuyo aprovechamiento de su perfil nutricional es de gran interés para la industria cerealista. Sin embargo, la germinación aparece como una opción económica para modificar e incluso mejorar las cualidades nutricionales del grano. Se probó la germinación de semillas de quinua (blanca, roja y negra) a 20 °C durante diferentes tiempos (0, 18, 24 y 48 h) para seleccionar las mejores condiciones y mejorar la calidad nutricional de sus harinas. Se determinaron los cambios en la composición proximal, la digestibilidad proteica mediante el método AOAC y el comportamiento térmico se analizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TGA). Tomando en cuenta la mejor composición nutricional, se seleccionaron 48 h y 24 h de germinación para semillas de quinua blanca, roja y negra, respectivamente, observándose cambios en la conformación de microcomponentes y propiedades térmicas posteriores a este proceso.

La germinación fue más positiva en la mejora nutricional de la quinua blanca, mientras que las macromoléculas (proteínas y almidón) de la quinua roja presentaron mayores cambios estructurales. Por lo tanto, la germinación de las tres variedades de semillas de quinua mejora el valor nutricional de las harinas generando los cambios estructurales de proteínas y almidón necesarios para la obtención de snack de alta calidad. El uso de granos germinados en la producción de extruidos expandidos está surgiendo como una oportunidad prometedora para desarrollar refrigerios más saludables.

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
QUINUA ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) .....	3
Variedad de quinua.....	4
Blanca Junín .....	4
Valor nutricional de la quinua .....	5
<b>QUINUA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA</b> .....	<b>8</b>
<b>DESARROLLO DE VARIEDADES MEJORADAS DE QUINUA</b> .....	<b>9</b>
<b>EXPORTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE QUINUA</b> .....	<b>10</b>
<b>SAPONINAS</b> .....	<b>12</b>
<b>MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE SAPONINAS</b> .....	<b>13</b>
Métodos húmedos.....	13
Métodos secos .....	15
Métodos genéticos .....	16
<b>ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE LAS SAPONINAS DE QUINUA</b> .....	<b>19</b>
<b>GERMINACIÓN DE QUINUA</b> .....	<b>21</b>
<b>CARACTERIZACIÓN DE TRANSICIÓN DE FASE - ANÁLISIS TÉRMICO</b> ...	<b>22</b>
<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DE SNACKS EXTRUIDO CON GERMINADOS DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd)</b> .....	<b>23</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
Fuente de semillas .....	23
Germinación de las semillas de quinua .....	23
Elaboración de Snacks .....	23
Extrusión .....	24
<b>Análisis químico de materias primas y extruidos</b> .....	<b>25</b>
Análisis composicional .....	25
Digestibilidad proteica.....	26



Propiedades funcionales .....	26
Índice de expansión.....	26
Análisis estadístico.....	27
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
Composición en germinados de harina de quinua .....	27
<b>Propiedades del Snacks extruido .....</b>	<b>28</b>
Propiedades nutricionales .....	28
Digestibilidad proteica en snacks extruidos .....	29
Índice de expansión.....	30
Propiedades funcionales.....	31
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>42</b>
<b>SOBRE LOS AUTORES.....</b>	<b>54</b>

## RESUMEN

La quinua presenta gran importancia en la elaboración de alimentos extruidos debido a sus propiedades funcionales y su disponibilidad en el mercado. Las harinas derivadas de la quinua germinada son ingredientes útiles para mejorar las propiedades nutricionales y funcionales de alimentos a base de cereales. El objetivo de la investigación fue caracterizar la composición química proximal y funcional del snack extruido con harinas de tres variedades de quinua germinada (blanca Junín, negra Ccollana y pasankalla). Se realizaron análisis de composición química proximal y digestibilidad proteica mediante el método AOAC y el comportamiento térmico se analizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TGA). La composición química proximal de los extruidos mostró diferencias y una alta digestibilidad proteica. Las propiedades térmicas (temperatura de gelatinización y entalpías) de los snacks extruidos mostraron una variación de temperatura de descomposición, el producto elaborado snack mostró altos contenidos nutricionales. Los extruidos presentaron bajo contenido en grasas con carbohidratos complejos y un perfil proteico equilibrado debido a la germinación de la quinua. Además, los extruidos presentaron una alta digestibilidad de las proteínas y un contenido de fibra dietética soluble con una transición endotérmica de potencial uso como ingrediente alimentario en productos a base de cereales.

**PALABRAS CLAVE:** Quinua germinada, propiedad funcional, propiedades termales, snacks

# INTRODUCCIÓN

Los snacks extruidos son productos de conveniencia. Por lo general su densidad aparente es baja y a menudo se comercializan como productos con alto contenido de azúcar, grasa, sal, colorantes, saborizantes y son bajos en nutrientes; conllevando a problemas de salud en los consumidores. Los snacks extruidos suelen ser bajos en contenido de proteínas, vitaminas, minerales y fibra dietética (Singh, Gamlath y Wakeling, 2007). Actualmente existe la necesidad de producir bocaditos extruidos con propiedades nutricionales y se busca que los cereales para desayuno y los bocaditos se encuentren entre los segmentos de más rápido crecimiento en el mercado mundial (Deshpande y Poshadri, 2011).

Existen estudios que muestran que los consumidores son conscientes de las consecuencias que producen el consumo de bocaditos no saludables, sin embargo, buscan snacks (bocaditos) con ingredientes naturales, libres de colorantes y con alto contenido de proteínas, fibra y con granos enteros (The Nielsen Company, 2014). La necesidad de desarrollar nuevos productos con características saludables requiere del uso de tecnologías para procesamiento de alimentos. El proceso de la extrusión tiene los beneficios de desnaturalizar las enzimas indeseables, inactivar algunos factores anti nutricionales (inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos), mejorar la digestibilidad del almidón y de las proteínas, esterilizar el producto terminado y conservar los colores y sabores naturales de los alimentos (Singh *et al.*, 2007). Además, la extrusión es una tecnología que ayuda a utilizar ingredientes tradicionales y novedosos para la fabricación de snacks saludables. Durante el proceso de elaboración se utilizan cereales principalmente por sus aspectos nutricionales. Sin embargo, se pueden utilizar de manera efectiva, leguminosas y semillas oleaginosas debido al alto contenido de proteína para obtener una mejora nutricional de los aperitivos extruidos a base de cereales (Deshpande y Poshadri, 2011).

La quinua es un grano andino que presenta un alto contenido en proteínas alrededor del 15%. Presenta un excelente contenido de aminoácidos esenciales más amplio que en las leguminosas y otros cereales. Por ello, las proteínas de la quinua son capaces de complementar las proteínas de cereales o leguminosas (Abugoch *et al.*, 2008). La germinación es un proceso biológico que se puede aplicar de manera fácil y económica para obtener nuevos productos alimenticios procesados biotecnológicamente. El consumo de productos germinados está aumentando porque numerosos estudios han documentado sus ventajas y beneficios para la salud (Moongngarm y Saetung, 2010; Murugkar, 2015). Durante el proceso de germinación se activan enzimas hidrolíticas y también son las enzimas más novedosas sintetizadas que, junto con las sustancias de reserva en la semilla,

se movilizan para ser utilizadas en el crecimiento inicial de la plántula (Bedón Gómez et al., 2013). Este proceso provoca cambios en el contenido y composición de proteínas, carbohidratos y lípidos. Las proteínas se hidrolizan y consecuentemente su digestibilidad es mejorada (Chaparro et al., 2010; Omary et al., 2012; Swieca et al., 2013; Hager et al., 2014; Carciochi et al., 2014; Devi et al., 2015). Algunos autores demostraron que la germinación de granos y legumbres (como quinua, soja, garbanzo, frijoles, guisantes, mijo, arroz y maíz) puede disminuir el contenido de antinutrientes como fitatos, taninos y proteasas inhibitorias (Omary et al., 2012; Kanensi et al., 2011; Wang et al., 2015; Jan et al., 2017). Sin embargo, estas modificaciones también pueden afectar su composición proximal y las propiedades funcionales del grano germinado en productos elaborados, que son características importantes a conocer para su uso como ingredientes alimentarios.

La investigación tuvo como objetivo caracterizar las propiedades nutricionales y funcional de snacks extruidos a base de germinados de quinua con diferentes variedades de la región andina del Perú.

### **QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*)**

La quinua es una planta alimenticia del área andina y su cultivo data de 5000 años a.C., los incas y las culturas preincaicas reconocieron desde muy temprano su alto valor nutricional. Antes de la llegada de los españoles, la quinua se cultivaba en todo el imperio incaico, que incluyó el Perú, Bolivia, Ecuador, partes de Chile, Argentina y Colombia. La quinua era considerada un alimento sagrado, empleado además para usos medicinales. En la actualidad, la quinua se cultiva en Bolivia (46%), Perú (42%), EUA (6%), Ecuador (3%) y en algunas zonas de Colombia, Chile y Argentina (0,5%). Es una planta anual cuyo periodo vegetativo varía de 150 a 240 días. Se adapta muy bien a diferentes condiciones ambientales y por ello se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altura. (Edel y Rosell, 2007).

### a. Clasificación taxonómica de la quinua

División	: Magnoliophyta
Clase	: Angiosperma
Subclase	: Dicotiledones
Orden	: Centrospermal
Familia	: Amaranthaceae
Genero	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>quinoa willd</i>

Nombre científico: *Chenopodium quinoa* Willd. (Mujica, 1988)

**Nombres comunes:** Quinoa, Quínoa, Kiuna (quechua), Hupha (aimara-Bolivia), Dahue (mapuche-Chile), Suba o Shupa (Chibcha-Bogotá), Pasca o parca (Chibchas- Colombia). (Bazile, 2014).



**Figura 1.** Anatomía del grano de quinua.

Fuente: Tapia, 2000.

## VARIEDAD DE QUINUA

La región andina, es el lugar donde existe la mayor diversidad genética de quinua tanto de origen silvestre como cultivada por el hombre, por lo que no se tiene el dato exacto de las variedades de quinua que existen en los andes. Por lo que a continuación, Repo-Carrasco (1988), describe solo 8 variedades de quinua producidas en el Perú como son la Sajama, Real, Kanccolla, Cheweca, Blanca Juli, Amarilla de Maranganí, Blanca Junín y Nariño. En este proyecto, se trabajará con la variedad Blanca Junín

## BLANCA JUNÍN

Esta variedad generalmente crece en el centro del Perú. Es una variedad tardía (180-200 días); sus semillas son blancas, medianas, y contienen poca saponina (semidulce).

Los países que tiene la mayor colección de diversas variedades de quinua son Perú y Bolivia, cuentan con más de 2000 ecotipos. Las variedades más difundidas en Perú son Blanca de Junín y Kanccolla, mientras en Bolivia es la Sajama. (Repo-Carrasco, 1998).



## VALOR NUTRICIONAL DE LA QUINUA

A continuación, se presentará el contenido nutricional de la quinua:

Composición química y valor nutricional		
Contenido en 100 gr de quinua		
Elemento	Unidad	Valor
Agua	%	12.00
Proteínas	%	10.70
Grasas	%	5.70
Carbohidratos	%	69.29
Cenizas	%	3.20
Celulosa	%	4.30

Tabla 1. Composición química y valor nutricional de la quinua

Fuente: Gorbitz y Luna (2016), Ministerio de Agricultura, Boletín N°54

Lo que caracteriza a la quinua es su valor proteico elevado, donde la calidad de sus proteínas y balance son superiores en ésta que, en los demás cereales, fluctuando entre 12.5 a 16.7%. El 37% de las proteínas que posee la quinua está formado por aminoácidos esenciales.

En la quinua la mayoría de sus grasas son monoinsaturadas y poliinsaturada, beneficiosas para el cuerpo cuando se incorporan en la alimentación, ya que son elementales en la formación de la estructura y en la funcionalidad del sistema nervioso y visual del ser humano.

Estudios realizados en el Perú al determinar el contenido de ácidos grasos encontraron que el mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en este aceite es el Omega 6 (ácido linoleico), siendo de 50,24% para quinua. El Omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar, siendo 26,04% para la quinua. Los valores encontrados para el Omega 3 (ácido linolénico) son de 4,77%, seguido del ácido palmítico con 9,59%. Encontramos también ácidos grasos en pequeña proporción, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico. (FAO, 2011).

En la tabla 2, se muestra la comparación de aminoácidos de la quinua con otros granos:

<b>Contenido de Aminoácidos en la Quinua y otros granos</b>					
<b>Aminoácidos</b>	<b>Trigo</b>	<b>Cebada</b>	<b>Avena</b>	<b>Maíz</b>	<b>Quinua</b>
Isoleucina	32	32	24	32	68
Leucina	60	63	68	103	104
Lisina	15	24	35	27	79
Fenilamina	34	37	35	27	79
Tirosina	16	17	15	14	41
Cistina	26	28	45	31	68
Metionina	10	13	14	16	18
Treonina	27	32	36	39	40
Triptófano	6	11	10	5	16
Valina	37	46	50	49	76

Tabla 2. Comparación de los perfiles de los aminoácidos esenciales de la quinua y otros granos.

Fuente: COLLAZOS et al., (1975). “La Composición de los alimentos peruanos” Instituto de Nutrición- Ministerio de Salud.

En la tabla 2, se muestra una comparación del contenido de aminoácidos entre la quinua y otros granos, donde la quinua presenta un alto contenido de isoleucina, lisina, fenilalanina, tirosina y cistina, seguido por valina, triptófano, metionina, treonina y leucina.

Los aminoácidos esenciales son aquellos que no los produce el organismo, por lo que necesitan ser ingeridos a través de la dieta; la carencia de estos aminoácidos en la dieta limita el desarrollo del organismo, ya que no es posible reponer las células de los tejidos que mueren o crear nuevos tejidos, en el caso del crecimiento. Para el ser humano, los aminoácidos esenciales son: Valina, Leucina, Treonina, Lisina, Triptófano, Histidina, Fenilalanina, Isoleucina, Arginina y Metionina. (FAO, 2011)

En la tabla 3, se realiza una comparación del contenido de carbohidratos en tres variedades de quinua (roja, amarilla y blanca):

<b>Contenido de carbohidratos en tres variedades de quinua (% de materia prima)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Roja</b>	<b>Amarilla</b>	<b>Blanca</b>
Almidón	59.2	58.1	64.2
Monosacáridos	2.0	2.1	1.8
Disacáridos	2.6	2.2	2.6
Fibra cruda	2.9	3.1	2.1
Pentosanas	2.9	3.0	3.6

Tabla 3. Contenido de carbohidratos de tres variedades de quinua (% de materia prima).

Fuente: COLLAZOS et al., (1975). “La Composición de los alimentos peruanos” Instituto de Nutrición- Ministerio de Salud.

Al realizar la comparación de estas tres variedades de quinua, se puede ver que la quinua blanca posee un alto contenido de almidón, disacáridos y pentosanas; la quinua roja posee alto contenido de disacáridos y la quinua amarilla posee alto contenido de fibra cruda.

La quinua, es un alimento rico en fibra que varía su composición dependiendo del tipo de grano, con rangos que van desde los 2.49 y 5.31g/100 gr de materia seca. Se ha demostrado que la fibra dietética disminuye los niveles de colesterol total, LDL-colesterol, presión arterial y actúa como antioxidante. Los antioxidantes nos protegen frente a los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades (FAO, 2011).

## QUINUA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

La quinua es uno de los principales cultivos de granos que proporciona alimentos altamente nutritivos para los hogares agrícolas de la región andina. También tiene el potencial de contribuir a la seguridad alimentaria en otras regiones del mundo en desarrollo (Jacobsen, 2003). En comparación con otros granos, como el trigo, el maíz y el arroz, la quinua tiene un mayor contenido de proteínas, contiene todos los aminoácidos esenciales y es fácil de digerir ya que no contiene gluten (Escuredo et al., 2014). Siendo un cultivo andino estratégico en la región, la quinua ha atraído interés político y de investigación desde 1999. El gobierno peruano ha estado promoviendo el cultivo de quinua para mejorar la seguridad alimentaria de la población andina empobrecida a través de varios programas sociales (Hellin y Higman, 2005). En 2008, el programa de asistencia alimentaria “Programa Nacional de Apoyo Alimentario - PRONAA” fue autorizado por el estado para comprar productos agrícolas andinos, siendo la quinua uno de esos productos, directamente de los pequeños agricultores locales. Desde 2012, el Programa Nacional de Alimentación Escolar Qali Warma brinda un servicio de alimentación de calidad, adaptado a los hábitos de consumo locales, a niñas y niños que se encuentran matriculados en instituciones educativas públicas en los niveles de primaria y jardín de infantes. El programa incorpora la quinua como producto procesado.

El auge de la producción y el comercio de quinua implica importantes oportunidades para la movilidad ascendente de los ingresos y una mayor seguridad alimentaria entre los pequeños agricultores andinos (Repo-carrasco, Espinoza y Jacobsen, 2003). Los agricultores se benefician de precios más altos y mayores volúmenes de ventas, lo que puede contribuir indirectamente a un mayor acceso a los alimentos a través de las compras en el mercado (Zurita et al., 2014). Por otro lado, el aumento del precio de la quinua crea un cambio en las dietas de los hogares agrícolas locales hacia alimentos más baratos y menos nutritivos (Ofstehage, 2012). Además, el mercado internacional ha creado presión para la intensificación de la producción de quinua, centrándose en unas pocas variedades, lo que en algunos casos generó problemas ambientales y una disminución de la diversidad de variedades de quinua (Jacobsen, 2011). Mediante la introducción de variedades mejoradas que se adapten a las necesidades de los pequeños agricultores, la producción de quinua podría mejorar la seguridad alimentaria en la región andina a través de mayores niveles de productividad y precios más bajos.

# DESARROLLO DE VARIEDADES MEJORADAS DE QUINUA

Durante siglos, los agricultores andinos han estado involucrados en la domesticación y selección de variedades de quinua, lo que ha llevado a un alto nivel de diversidad genética (Bazile, Jacobsen y Vemiau, 2016). Con base en la capacidad de adaptación de la quinua a diferentes condiciones agroecológicas en los Andes, se pueden distinguir cinco ecotipos principales: entre valles, altiplano, salare, costero y yungas (Bazile, Bertero y Nieto, 2015). Sin embargo, muchas variedades no se adaptan bien a las condiciones ambientales fuera de sus ecotipos. La gran diversidad genética de la quinua en los Andes implica la posibilidad de desarrollar variedades que se adapten a las condiciones específicas de cada ecosistema y que conduzcan a una mayor productividad (Bazile, Bertero y Nieto, 2015).

El desarrollo actual de variedades mejoradas de quinua se enfoca principalmente en la producción para el mercado internacional. En Europa y América del Norte, los programas de mejoramiento se concentran en la madurez temprana, el alto rendimiento, la uniformidad de las semillas y los cultivares dulces para la producción comercial (Bazile, Jacobsen y Vemiau, 2016). En Perú, el Programa de Investigación de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina está desarrollando semillas de quinua mejoradas genéticamente, con un enfoque en la maduración temprana y la reducción de la altura de la planta para facilitar la introducción de la quinua en los sistemas agrícolas modernos (Gomez y Eguiluz, 2013)

Recientemente, ha habido un esfuerzo por desarrollar variedades mejoradas para las regiones productoras tradicionales en Perú. A nivel nacional se han identificado 35 variedades de quinua, de las cuales ocho son mejoradas (Mujica, 1992) Las variedades mejoradas han sido obtenidas mediante métodos de mejoramiento convencionales, como selección e hibridación, por las estaciones experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (Apaza et al., 2015). Los programas de mejoramiento se han enfocado principalmente en la tolerancia a plagas y enfermedades, alto rendimiento y gran tamaño de grano. Las variedades han sido desarrolladas para regiones productoras específicas, como Puno ( *INIA 420-Negra Collana*, *INIA 415-Pasankalla*, *Salcedo INIA*, *Ilpa INIA* e *INIA 431-Altiplano* ), Cusco ( *INIA Quillahuaman* e *INIA 427-Amarilla Sacaca* ) y Junín ( *INIA 433-SantaAna/AIQ/FAO* ). La adopción de estas variedades mejoradas entre los pequeños agricultores es bastante limitada. Esto podría estar relacionado con la falta de conciencia de los agricultores sobre las variedades mejoradas de quinua; un alto costo de las variedades mejoradas combinado con limitaciones de capital y aversión al riesgo entre los agricultores; o las características de las variedades mejoradas que no se ajustan a las preferencias de los agricultores.



# EXPORTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE QUINUA

La demanda internacional de quinua como alimento altamente nutritivo ha aumentado rápidamente desde 2007 (MINAGRI). Perú ha consolidado su posición como líder del mercado en las exportaciones de quinua, superando a Bolivia como el mayor exportador de quinua desde 2014. El volumen de exportación en Perú aumentó con una tasa de crecimiento anual promedio de 37% durante el período 2000-2017. Al mismo tiempo, el precio de exportación en Perú aumentó considerablemente, pasando de 1,27 USD/kg en promedio en 2000 a 2,34 USD/kg en 2017, lo que corresponde a un aumento de precio promedio anual de 3,69%. El mayor aumento se observa entre 2008 y 2014 cuando el precio saltó de 2,42 a 5,42 USD/kg. Después de 2014, el precio volvió a bajar a un nivel similar al de 2008.

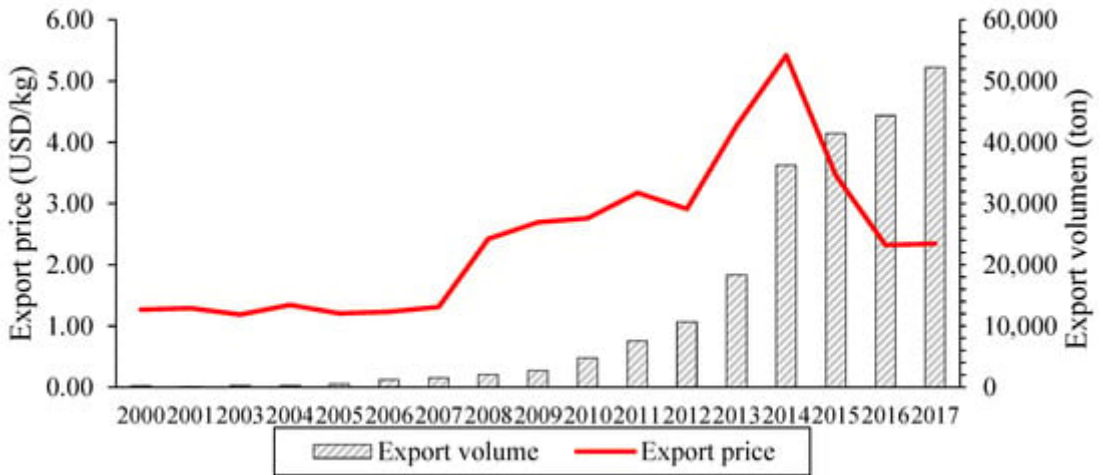


Figura 2. Volumen de exportación y precio de exportación de la quinua peruana.

Fuente: Elaboración de los autores a partir del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2018) durante 2000–2017.

Para satisfacer esta demanda internacional, el área destinada a la producción de quinua se ha incrementado enormemente en Perú. La quinua se cultiva en 18 de las 24 regiones del Perú (Apaza et al., 2015). Se puede hacer una distinción importante entre las seis regiones productoras tradicionales de los Andes (Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Junín y Puno), que representan el 89% del área nacional de quinua en 2016, y 12 regiones productoras secundarias y nuevas. (Arequipa, Ancash, Huancavelica, Huánuco, Ica, Lambayeque, La Libertad, Lima, Moquegua, Pasco, Piura y Tacna), que ocupan el 11% de la superficie nacional. Estas nuevas regiones productoras están ubicadas

principalmente en las zonas agroindustriales costeras de Perú, donde el gobierno ha promovido activamente la expansión del cultivo de quinua desde 2014. Debido a la gran adaptabilidad de la quinua a otras condiciones ambientales y a un agua y un suelo más eficientes uso, la productividad en estas áreas es más alta que en las regiones productoras tradicionales; con rendimientos promedio de 1,9 ton/ha, en comparación con 1,3 ton/ha en las regiones tradicionales (Bedoya et al, 2018).

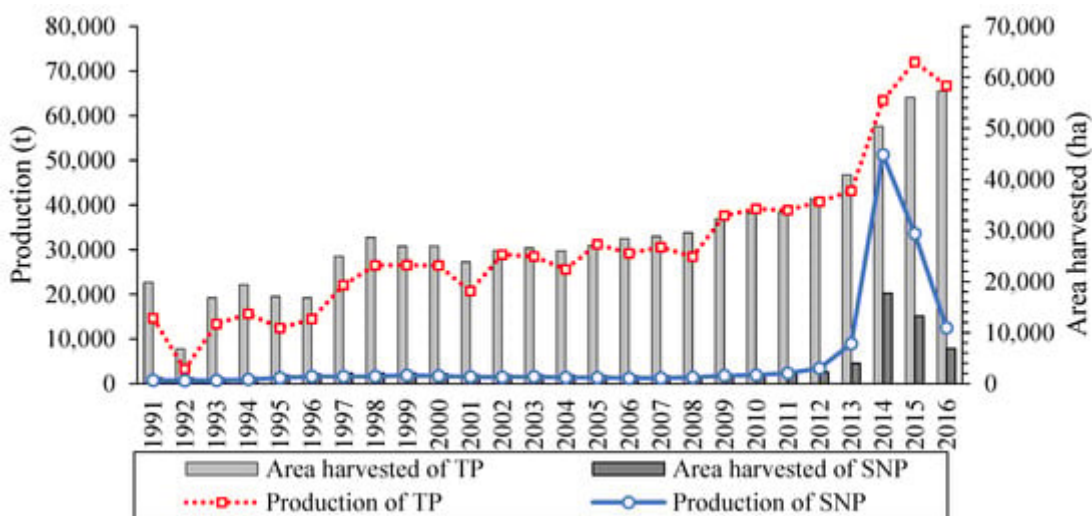


Figura 3. Evolución del área cosechada y producción de quinua en Perú en regiones productoras de quinua tradicional (TP) y regiones productoras secundarias y nuevas (SNP).

Fuente: Elaboración de los autores a partir del MINAGRI, entre 1991 y 2016

En las regiones productoras tradicionales de los Andes, la producción de quinua se ve limitada por condiciones climáticas y agroecológicas adversas, como sequía, heladas, viento, granizo, salinidad del suelo y baja fertilidad del suelo (Bazile, Jacobsen y Verniau, 2016). Además, la aparición de mildiu, la enfermedad vegetal más importante en la producción de quinua, puede limitar seriamente la productividad (Jacobsen, 2003). El período de maduración de la quinua es relativamente largo—seis meses para la variedad más común utilizada en el área de investigación—lo cual es un factor limitante para los agricultores que buscan varias rotaciones de cultivos por año. Además, los agricultores enfrentan limitaciones para cumplir con los requisitos en los mercados de exportación debido al alto contenido de saponina en la cáscara de la semilla y al tamaño de grano pequeño y no uniforme (Bazile, Jacobsen y Verniau, 2016).

## SAPONINAS

Las saponinas son un grupo importante que se encuentra en *Chenopodium quinoa*. Representan un obstáculo para el uso de la quinua como alimento para humanos y animales por su sabor amargo y efectos tóxicos, lo que obliga a su eliminación. Se han examinado varios métodos de eliminación de saponinas para lixiviar las saponinas de las semillas de quinua; la técnica húmeda sigue siendo la más utilizada tanto a nivel de laboratorio como industrial. También se han evaluado métodos secos (tratamiento térmico, extrusión, tostado o abrasión mecánica) y métodos genéticos. La extracción de saponinas de quinua se puede realizar por varios métodos; las tecnologías convencionales como la maceración y el Soxhlet son los métodos más utilizados. Sin embargo, investigaciones recientes se han centrado en tecnologías para mejorar la eficiencia de la extracción. Se han aislado al menos 40 estructuras de saponina de la quinua en los últimos 30 años, siendo las entidades moleculares derivadas esencialmente los ácidos fitolacagénico, oleanólico y serjánico, hederagenina, ácido 3 $\beta$ ,23,30 trihidroxi olean-12-en-28-oico, ácido 3 $\beta$ -hidroxi-27-oxo-olean-12-en-28-oico, y Ácido 3 $\beta$ ,23,30 trihidroxi oleano-12-en-28-oico. Estos metabolitos exhiben una amplia gama de actividades biológicas, como propiedades molusquicidas, antifúngicas, antiinflamatorias, hemolíticas y citotóxicas.

# MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE SAPONINAS

Las saponinas son consideradas un factor antinutricional, el cual debe ser eliminado antes del consumo de semillas. Con este fin, se han informado varios métodos para lavar las saponinas de las semillas, incluidos métodos húmedos, métodos secos y combinaciones de ambos. Recientemente, también se han desarrollado métodos genéticos (Bhargava y Srivastava, 2013)

## MÉTODOS HÚMEDOS

En 1978, Ríos y su equipo inicialmente lavaron semillas de quinua con agua a 50 °C. Doce años después, Ridout et al. (1990) describieron un método para la separación y análisis de saponinas en quinua cruda. También fueron los primeros en clasificar la quinua según su contenido de saponina y grado de amargor. Los términos utilizados para describir la quinua fueron frijol, farináceo, amargo y astringente, y la escala de calificación de amargor fue 0: ausente, 2: muy débil, 4: débil, 6: moderado, 8: fuerte y 10: muy fuerte. registrado en tiempos entre 0 y 10 min después de la cata. Además, los autores encontraron que tres lavados secuenciales redujeron el contenido total de saponina de 1,03 % a 0,18 %, un nivel en el que el producto perdió sus características sensoriales astringentes y desagradables al paladar. En el mismo año, Meyer et al. (1990) demostraron que el amargor de la semilla de quinua se debe esencialmente a la presencia del quinósido A (Meyer et al., 1990). En otro experimento, Ruales y Nair (1993) detectaron dos saponinas principales (1 y 2) en semillas de quinua. Después de pulir y lavar las semillas, se eliminó el 56% de la saponina 1, mientras que la saponina 2 no fue detectable en las muestras tratadas. Dado que la quinua no tenía un sabor amargo después de esa ronda de lavado, se asumió que el sabor amargo probablemente se deba a la contribución de saponina 2.

Según Koziol (1992), la aplicación del método afrosimétrico permitió clasificar las variedades de quinua de las parcelas experimentales de Latinreco como “dulce” o “amarga” mediante pruebas de sabor. Koziol sugirió que el método afrosimétrico estándar se desarrolló para permitir suficiente tiempo para extraer saponinas de las semillas de quinua, pero resultó ser demasiado largo para usarse en el campo para identificar variedades bajas en saponinas o para probar la efectividad del pelado abrasivo. Sin embargo, con este método afrosimétrico rápido, el tiempo total requerido para realizar el análisis se redujo a unos 7 min; la quinua se clasifica como dulce si da una altura de espuma de 1,3 cm o menos (koziol, 1992).

A diferencia de la extracción acuosa utilizada en el laboratorio, un procedimiento de lavado comercial eliminó alrededor del 72 % de las saponinas del grano, y el contenido

de saponinas varió de 0 % a 2,0 % según la variedad: quinua dulce o amarga (Gee et al., 1993). Del mismo modo, Pappier et al. (2008) demostraron que el contenido de saponina disminuyó a menos de 0,06 % en semillas tratadas por proceso industrial. Por otro lado, el contenido de saponina en semillas lavadas solo con agua a 50 °C fue de alrededor del 20% del contenido original (Pappier et al., 2008). Esto sugiere que el proceso comercial fue considerablemente más intenso que el procedimiento de laboratorio (Gee et al., 1993)

El contenido inicial de saponina en la quinua, 6,34 %, alcanzó un nivel tan bajo como 0,25 %–0,01 % durante la primera media hora de lavado en un estudio realizado por Vega-Galvez et al. (2010). En base a estos resultados, el tiempo de lavado mínimo requerido para extraer la mayor cantidad de saponina (representada por una disminución del 96 % en el contenido de saponina) podría estimarse en 60 min (Pappier et al., 2008).

En un enfoque diferente, Quispe et al. (2012) describieron la cinética de lixiviación de saponina durante el lavado de semillas de quinua bajo diferentes condiciones de temperatura utilizando modelos empíricos basados en la ecuación de difusión de Fick para la transferencia de masa para ajustar los datos experimentales. Al inicio del proceso de lavado, la lixiviación de saponinas fue muy rápida con un valor asintótico de concentración de saponinas en las semillas, y el valor se correlacionó negativamente con la temperatura de lavado. Los autores también pudieron calcular un coeficiente de difusión efectivo aplicando la ecuación de Arrhenius, que se encontró que aumenta con el aumento de la temperatura de lavado (Quispe et al., 2013). De la misma manera, Irigoyen y Giner (2018) utilizaron la ecuación de difusión para analizar la cinética de extracción de saponinas, con el objetivo de perfeccionar el mecanismo de lixiviación de saponinas. En este estudio, el tratamiento realizado a 40 °C durante 6 min se consideró óptimo para alcanzar un nivel seguro de saponinas para el consumo humano sin daño visible a la semilla (Irigoyen y Giner, 2018)

Desde una perspectiva diferente, Ruales y Nair (1993) reportaron el efecto del lavado sobre la calidad nutricional del contenido de proteína en semillas de quinua, donde se estudió la digestibilidad de las proteínas de quinua en base a la variación del pH y la composición de aminoácidos después de la digestión con enzimas. El estudio no encontró ningún cambio en la composición de aminoácidos después del lavado, lo que mostró que el proceso de eliminación de saponina no tiene efecto sobre la calidad nutricional de las proteínas de las semillas de quinua. En el mismo sentido, Telleria Rios y Sgarbieri (1978) no encontraron ningún cambio en la composición de aminoácidos. Sin embargo, Nickel et al. (2016) estudiaron los efectos de cinco tipos de tratamiento sobre el contenido de saponina, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de los granos de quinua cultivados en Brasil. Se encontró que lavar las semillas con agua no fue muy eficiente para disminuir el contenido de saponina y, en consecuencia, reducir el amargor. Además,



este método resultó en el aumento de fenoles totales (Nickel et al., 2016). Por otro lado, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante fueron mayores en las semillas cocidas en agua en comparación con otros tratamientos. Los autores también realizaron un examen microscópico después de lavar las muestras de grano y después de cocinarlas para evaluar el daño al pericarpio y las capas de la cubierta de la semilla. Las muestras lavadas y desgastadas exhibieron diferencias significativas cuando se examinaron bajo el microscopio antes y después de la cocción; las muestras desgastadas revelaron más contenido celular (Ridout et al., 1991). Un estudio de Pappier et al. (2008) evaluaron los efectos de la eliminación de saponina sobre la contaminación fúngica. Los resultados de este trabajo mostraron que todas las muestras que contenían saponinas tenían un 100% de contaminación fúngica. *Penicillium* y *Aspergillus* fueron los contaminantes más frecuentes (Gee et al., 1993).

## MÉTODOS SECOS

Brady et al. (2007) evaluaron mediante análisis HPLC los efectos de tres tipos de tratamiento térmico, a saber, el preacondicionamiento con vapor, la extrusión y el tostado de la harina de quinua en su perfil químico. Demostraron que la temperatura de calentamiento causaba la degradación de la saponina y, por lo tanto, podría tener efectos directos sobre la percepción sensorial y las propiedades farmacológicas, y por lo tanto, la aplicación de extrusión y tostado puede reducir el sabor amargo conferido por las saponinas (Brady et al., 2007). Gómez-Caravaca et al. (2014) estudiaron el efecto de dos grados diferentes de perlado (20% y 30%) en la eliminación de saponinas y su impacto en la composición fenólica de las semillas de quinua. Su estudio demostró que, según los resultados del análisis GC-MS, la formación de perlas con un grado de abrasión del 30 % permitía obtener quinua dulce. La técnica del beading provocó una reducción del 21,5% y 35,2% en los compuestos fenólicos libres y ligados, y fue un método eficiente para obtener quinua dulce sin afectar de manera excesiva el contenido total de compuestos fenólicos. En otro estudio, Repo-Carrasco-Valencia et al. (2010) exploraron el efecto del tostado sobre el valor nutricional de las semillas de tres cereales de origen andino, entre ellos la quinua (*Chenopodium quinoa*), y estudió los efectos del tostado y la ebullición sobre el valor nutricional de estas semillas, específicamente la disponibilidad de hierro, calcio y zinc. Según su estudio, el análisis de la dializabilidad del zinc en diferentes muestras crudas mostró que el tratamiento de tostado no tuvo un efecto significativo en la disponibilidad de estos minerales. Por el contrario, el tratamiento de ebullición disminuyó la dializabilidad del hierro y el zinc en todas las muestras y mejoró la del calcio (Repo-Carrasco et al., 2010). Además, el proceso de tostado, según Nickel et al. (2016), resultó en una reducción de compuestos fenólicos (Nickel et al.,

2016). Del mismo modo, se demostró que el método seco reduce significativamente los contenidos de vitaminas y minerales, especialmente potasio, hierro y manganeso (Ruales y Nair, 1993).

La escarificación es el método seco más utilizado a nivel industrial y consiste en separar el epispermo del grano de quinua, donde se concentra el mayor contenido de saponinas. Los estudios han demostrado que el uso de un escarificador durante 6 min reduce el contenido de saponina en las semillas de quinua de 0,324 % a 0,001 %; sin embargo, daña la estructura de la semilla, ya que se observó una pequeña cantidad de granos rotos, con un problema menor de polvo que queda en el grano escarificado Mastebroek et al., (2000) recomendó agregar una operación de pulido después de la escarificación, con el fin de mejorar la eficiencia del equipo de escarificación en la operación de desaponificación del grano de quinua.

## MÉTODOS GENÉTICOS

Se han probado otras técnicas de eliminación de saponinas de semillas de quinua, incluidos métodos genéticos (Bhargava y Srivastava, 2013). Un estudio de Ward (2000) realizó una selección de plantas de quinua para estimar la heredabilidad del contenido de saponina de una generación a la siguiente. Este estudio mostró una disminución lenta en el contenido de saponina; sin embargo, el porcentaje de plantas que contenían menos de 1 mg/g de saponina en los granos aumentó de 3,57 % en S1 a 11,1 % en S4. Esta lenta selección se explica por la dominancia del alelo responsable de la expresión de saponina, que requiere más tiempo para que los alelos inhibidores recesivos de la síntesis de saponina se acumulen en los loci relevantes. Por otro lado, Dick Mastebroek et al. (2001) seleccionaron genotipos de quinua dulce con bajas concentraciones de saponinas en diferentes etapas de desarrollo, con base en la concentración de saponinas en las hojas. Los resultados mostraron que las semillas contienen niveles más altos de saponinas que las hojas, y que la diferencia en el contenido de saponinas entre hojas y semillas es mayor en la quinua amarga. No obstante, el contenido de saponina de las hojas generalmente aumenta durante el desarrollo de la planta, alcanzando un contenido máximo de saponinas a los 82 días después de la siembra. Los autores demostraron que seguir el contenido de saponina en las hojas durante el desarrollo de la planta no permitía la selección temprana de genotipos dulces antes de la antesis (Mastebroek et al., 2000).

Las concentraciones de saponinas varían entre los genotipos, desde las variedades más dulces hasta las amargas. Se ha descubierto que la disponibilidad de agua y nutrientes es responsable de la biosíntesis de saponina de quinua en las semillas, lo que fortalece la hipótesis de la influencia combinada de factores genéticos y ambientales (Mastebroek et

al., 2000).

En 1989, Risi y Galway evaluaron 294 accesiones por su capacidad para adaptarse al nuevo entorno de Inglaterra. En este estudio, las diferencias entre accesiones fueron altamente significativas para el contenido de saponina. Esto abrió la puerta a otros estudios para descubrir el misterio de las saponinas en las semillas de quinua (Risi y Galway, 1989). En 1996, Jacobsen et al. estudió la estabilidad de varias características descriptivas durante un período de 5 años en 14 líneas de quinua, donde el contenido de saponina se evaluó ya sea por amargor en una prueba de sabor de semillas maduras, en una escala de 0 a 10, o por un método afrosimétrico que involucró la estimación del desarrollo de espuma (Koziol, 1992). Las interacciones genotipo-ambiente fueron significativas, con componentes de varianza que representan el 16% de la variación total en el contenido de saponina. Este hallazgo califica el contenido de saponina como un rasgo cuantitativo. La complejidad de comprender la expresión de saponina se debe principalmente a la citogenética de la quinua como especie alotetraploide ( $2n = 4x = 36$ , con un número de cromosomas básico de  $x = 9$ ), con un tipo diploide de segregación cromosómica (Palomino et al., 2008) aunque algo de herencia tetrasómica. se produce en los grupos de vinculación (Sala, 200). Aunque la quinua muestra una herencia disómica para la mayoría de los rasgos cualitativos, esto influye en la segregación de rasgos y puede causar una distorsión de la segregación (Sala, 200).

Posteriormente, un análisis de micromatrices realizado por Reynold et al. (2009) permitió la identificación de un conjunto de genes candidatos transcripcionalmente relacionados con la biosíntesis de saponina, incluidos genes con homología compartida con el citocromo P450, las monooxigenasas del citocromo P450 y las glicosiltransferasas (Reynolds, 2009).

El desarrollo del mercado de la quinua en países no andinos y el desarrollo de herramientas moleculares para el mejoramiento ha inspirado a los investigadores a buscar un nuevo enfoque potencial para mejorar el grano de quinua relacionado con el contenido de saponina como un rasgo económicamente importante. Maughan et al. (2004) y Jarvis et al. (2008) publicaron mapas de ligamiento basados en diferentes recursos moleculares desarrollados usando RIL de quinua (líneas endocriadas recombinantes), incluidos SSR (repetición de secuencia simple), AFLP (polimorfismo de longitud de fragmento amplificado) y marcadores RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar); loci de proteína de almacenamiento de semilla 11S; las NOR (Regiones Organizadoras Nucleares); y el locus de color morfológico de la betalaína( Jarvis et al., 2008). El objetivo principal era proporcionar un punto de partida clave para la disección genética de rasgos importantes, incluido el contenido de saponina. Para aumentar la precisión del mapa de ligamiento

y reducir la posición exacta del gen candidato, Maughan et al. (2012) desarrollaron un mapa basado en SNP (polimorfismos de nucleótido único) utilizando 511 loci marcadores, que representaban una importante herramienta genómica necesaria en los programas de fitomejoramiento. La complejidad de la poliploidía del genoma de la quinua y, por lo tanto, la genética del rasgo del contenido de saponina hacen que los patrones de herencia sean difíciles de entender y aplicar en la agricultura.

Una nueva era de investigación comenzó en 2017 cuando se secuenció el genoma, lo que aceleró la identificación de los genes responsables de la síntesis de saponinas [(Jarvis et al., 2017). La secuencia del genoma facilitó la identificación de los factores de transcripción que probablemente controlen la producción de saponinas, incluida una mutación que parece causar un empalme alternativo, que es una fuente de un codón de parada prematuro en la quinua dulce. Se desconocen los genes que regulan la ausencia de saponinas en accesiones de quinua dulce. Para identificar estos genes, Jarvis et al. (2017) realizaron un mapeo de ligamiento y análisis de segregantes a granel (BSA) usando dos poblaciones, segregando por la presencia de saponinas en las semillas. Los resultados mostraron diferencias cuantitativas y cualitativas entre las saponinas identificadas en las líneas amarga y dulce. Además, la presencia y ausencia de saponinas se correlacionó con las diferencias en el grosor de la cubierta de la semilla, con una línea amarga que tenía una cubierta de la semilla significativamente más gruesa que las líneas dulces. (Jarvis et al., 2017).

# ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE LAS SAPONINAS DE QUINUA

Las saponinas se caracterizan por un sabor amargo y se consideran tóxicas en altas concentraciones. Están presentes en toda la planta de quinua. Hasta la fecha, no existen estudios que justifiquen el papel de las saponinas de la quinua y los factores limitantes de su producción a nivel de la quinua, pero su presencia generalmente se considera un mecanismo de defensa contra los enemigos naturales de la planta (Ruales et al., 1993).

Las saponinas exhiben varias propiedades fisicoquímicas y biológicas ( Joshi et al., 2008). Estos incluyen actividades antioxidantes, analgésicas, inmunoestimulantes, antimicrobianas, antivirales y citotóxicas, y efectos antiinflamatorios y hemolíticos. También afectan la absorción de algunos minerales y vitaminas y la tasa de crecimiento de los organismos que los consumen. Para mejorar el rendimiento y las actividades biológicas de las saponinas y sus aplicaciones en los sectores alimentario, cosmético, agrícola y farmacéutico, se han desarrollado varias técnicas de extracción e identificación. Woldemichael y Wink (2001) reportaron la actividad antifúngica de un extracto crudo de saponina de *Chenopodium quinua*. El extracto inhibió el crecimiento de *Chenopodium albicans* a la concentración de 50  $\mu\text{g/mL}$ . Sin embargo, las saponinas puras (saponina mono, bi y tridesmosídica) exhibieron una actividad antifúngica deficiente con concentraciones inhibitorias mínimas (MIC) de 100 y 500  $\mu\text{g/mL}$  para la saponina mono y bidesmosídica, respectivamente; la actividad superior del extracto podría atribuirse a las interacciones sinérgicas entre los múltiples componentes del extracto, en las que pueden afectar varios objetivos moleculares al mismo tiempo. Sin embargo, también se ha informado que la cadena de carbohidratos en las saponinas tiene un efecto sobre la permeabilidad de la membrana (Woldemichael, 2001). Esto puede explicarse en términos de la estructura anfifílica de las saponinas monodesmosídicas. La aglicona triterpénica lipofílica permite que las saponinas se sumerjan en la membrana microbiana, mientras que la unidad de la cadena de carbohidratos en C3 ayuda a la molécula a unirse a los glicolípidos y las glicoproteínas extracelulares (Woldemichael, 2001). Las saponinas de quinua también han mostrado un efecto biocida contra *Pomacea canaliculata*, un caracol que ataca las semillas de arroz, con un efecto muy positivo en la tasa de germinación de las semillas de arroz (Lin et al., 2019).

Las saponinas tienen propiedades hemolíticas interesantes contra los eritrocitos y pueden interactuar con las membranas de lípidos y colesterol como moléculas activas en la superficie y romper estas membranas formando poros que desestabilizan la membrana (Escalante et al., 2002). Según Gee et al. (1993), las saponinas de quinua pueden inducir actividad membranolítica contra las células de la mucosa del intestino delgado. Sin embargo,

la actividad hemolítica de las saponinas depende de la estructura de las saponinas en cuestión. Vo et al. (2016) investigaron la actividad hemolítica de 41 saponinas y sapogeninas triterpenoides con tres tipos diferentes de esqueletos estructurales y mostraron una fuerte relación entre la estructura química y la actividad biológica (Escalante et al., 2002).. De hecho, según este estudio, casi todas las sapogeninas de oleanano exhibieron una actividad hemolítica más fuerte, debido a la presencia de un grupo carboxilo en la posición 28, un grupo  $\alpha$ -hidroxilo en la posición 16 y un  $\beta$ -hidroxilo en la posición 2. Sin embargo, se observó una reducción del efecto hemolítico con la introducción de metil hidroxilo en las posiciones 23 o 24 y  $\alpha$ -OH en la posición 2 (Vo et al., 2016).

La inflamación es la primera respuesta a la infección o lesión a través de la compleja respuesta biológica de los tejidos vasculares a estímulos nocivos como patógenos, células dañadas o irritantes (Voutquenne et al., 2008).

La actividad antiinflamatoria de las saponinas de las semillas de quinua ha sido ampliamente investigada y reportada en la literatura. En un estudio de Yao et al. (2014), se evaluó la actividad antiinflamatoria de cuatro fracciones de saponina de quinua, a saber, Q30, Q50, Q70 y Q90, extraídas de *Chenopodium quinoa*. Primero, las semillas se extrajeron con metanol por maceración, se volvieron a disolver en agua y se repartieron con acetato de etilo y butan-1-ol. Después de eso, las saponinas de butan-1-ol se fraccionaron en una columna de resina y se eluyeron con metanol al 30 % (Q30), 50 % (Q50), 70 % (Q70) y 90 % (Q90). Los resultados mostraron que las fracciones de saponina disminuyeron la respuesta de los mediadores inflamatorios, inhibiendo la liberación de citocinas inflamatorias, incluido el factor de necrosis tumoral- $\alpha$  y la interleucina-6 en células RAW264.7 inducidas por lipopolisacáridos. Verza et al. (2012) evaluaron la actividad adyuvante de las saponinas de *C. quinoa* frente a la respuesta inmune humoral y celular de ratones inmunizados por vía subcutánea a ovoalbúmina (OVA). En el estudio se probaron dos fracciones de saponina de quinua (FQ70 y FQ90). Los resultados revelaron que el efecto de FQ70 fue significativamente mayor que el de FQ90. Se demostró que las saponinas de la quinua tienen un efecto muy positivo en la producción de respuestas inmunitarias celulares y humorales a la OVA en ratones (Verza et al., 2012). Además, las saponinas de quinua mostraron una alta capacidad para potenciar las respuestas de anticuerpos (IgG e IgA) al provocar un aumento en la permeabilidad de la mucosa, lo que permitió una mayor absorción del antígeno (Yao et al., 2014).

También se han demostrado otras propiedades biológicas, como el efecto de la saponina de quinua en la diferenciación de adipocitos. Las saponinas de quinua pudieron disminuir la viabilidad celular y suprimir los adipocitos 3T3-L1 durante el proceso de diferenciación (Yao et al., 2015).

# GERMINACIÓN DE QUINUA

La germinación es un proceso biológico que se puede aplicar de manera fácil y económica para obtener nuevos productos alimenticios procesados biotecnológicamente. El consumo de productos germinados está aumentando porque numerosos estudios indican sus ventajas y beneficios para la salud (Moongngarm y Saetung, 2010). Durante el proceso de germinación se activan enzimas hidrolíticas y también son las enzimas más novedosas sintetizadas que, junto con las sustancias de reserva en la semilla, se movilizan para ser utilizadas en el crecimiento inicial de la plántula (Bedon et al., 2013). Este proceso provoca cambios en el contenido y composición de proteínas, carbohidratos y lípidos. Las proteínas se hidrolizan y consecuentemente su digestibilidad por lo cual la quinua germinada representa un interés en la investigación sobre todo en sus harinas, sin embargo, sus propiedades termales en cuanto a los valores caloríficos aun requieren de una caracterización térmica.

El conocimiento de las propiedades térmicas es esencial para diseñar el procesamiento de parámetros para preservar la calidad deseada del producto. El análisis térmico puede proporcionar información útil relacionada con la calidad del alimento y su estabilidad a temperaturas de almacenamiento, duración de la vida útil, cambios que ocurren durante el procesamiento posterior a temperaturas elevadas, etc. (Radman, 2006).

El estudio de las transiciones de fase tiene un gran impacto en el campo de la industria alimentaria, la industria farmacéutica y los polímeros. En productos alimenticios, los análisis termogravimétricos es un indicador útil para comprender el mecanismo de procesamiento de alimentos y para predecir la vida de los productos alimenticios durante el almacenamiento (Saavedra et al, 2012).

# CARACTERIZACIÓN DE TRANSICIÓN DE FASE - ANÁLISIS TÉRMICO

La Calorimetría diferencia de barrido (DSC) proporciona información cualitativa y cuantitativa de las propiedades térmicas de los materiales sólidos, como las temperaturas de fusión y degradación, la temperatura de transición vítrea, la entalpía de fusión y cristalización, los calores específicos y latentes, el polimorfismo y la pureza de los materiales (Suriñach et al., 1992). La termogravimetría se emplea principalmente para determinar la pérdida de masa cuando una muestra se calienta, enfría o mantiene a una temperatura constante en una atmósfera controlada. Su aplicación está dedicada al análisis de productos, en la cuantificación de volátiles, degradación de materia, reacciones de combustión y materia residual.

El análisis (TGA) es una herramienta útil y ampliamente utilizada para caracterizar la descomposición térmica (cantidad y tasa de pérdida de masa), la estabilidad térmica y el comportamiento de los materiales poliméricos a lo largo del tiempo (Verdonck, Schaap y Thomas, 1999). Termograma es el nombre que se le da a la curva obtenida después de realizar un análisis térmico. Con el TGA-DSC simultáneo, es posible diferenciar la fusión de la degradación cuando estos eventos ocurren en un rango estrecho de temperaturas (por ejemplo, en sistemas ricos en azúcar); las temperaturas de fusión y degradación son en gran medida un afectado por la cantidad de agua adsorbida (Forsell et al., 1997).

Para productos alimenticios con bajo contenido de agua o alto contenido de sólidos, las transiciones de fase en proteínas, carbohidratos y lípidos también juegan un papel importante en las propiedades de estos productos (Kasapis, 2006). La gelatinización es una transición irreversible que sufren los gránulos de almidón cuando son sometidos a calentamiento en presencia de altos contenidos de agua (>35 % p/p). Su importancia radica en que transforma la estructura semicristalina del gránulo de almidón en una estructura mayoritariamente amorfa que es más fácil de digerir por el organismo humano. Esta transición puede ser estudiada mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y se caracteriza por un pico endotérmico en el termograma en un rango de temperatura entre 60 y 75 °C dependiendo de la fuente botánica del almidón (Flours, 2009).



# CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DE SNACKS EXTRUIDO CON GERMINADOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fuente de semillas

Las semillas de quinua fueron adquiridas de la Cooperativa Machupichu, con certificación orgánica, en la provincia de Andahuaylas, Apurímac, Perú. Se utilizaron quinua de las variedades blanca Junín, negra ccollana y pasankalla, las muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico hasta su posterior germinación.

### Germinación de las semillas de quinua

Las muestras de semilla de quinua se llevaron a un proceso de lavado manual con agua para eliminar las impurezas y saponinas. Una vez lavados y sin saponina se remojaron en agua (1:5) durante 6 h a temperatura ambiente. Se escurrió el agua y los granos húmedos se esparcieron en una capa delgada en bandejas de plástico cubiertas con filtros de papel e incubados en condiciones controladas: 22-24 °C y 80-90% de humedad relativa en oscuridad, con un tiempo de 48 h donde los germinados alcanzaron la misma longitud de radical (1 a 1,5 cm). La capacidad germinativa se determinó según Hager y col. (2014), contando los granos germinados y expresándolo como porcentaje del número total de granos. Los granos germinados se secaron en un horno de circulación forzada a 40 °C hasta peso constante. Los granos secos se molieron en un molino centrífugo MJ-W176P, marca (Panasonic, Japon) luego se tamizaron a través de un tamiz de malla 60 mm. Las harinas se envasaron en bolsas de polietileno y almacenados a temperatura ambiente hasta su uso posterior.

### Elaboración de Snacks

Para la formulación y elaboración de los extruidos, se utilizó maíz amarillo comprado de la marca P.A.N. y las harinas de quinua germinada producto de la preparación en el estudio. La harina de quinua germinada y maíz se mezcló en las proporciones de 20:80, 60:40, 40:60 y 20:80 de harina de quinua germinada/maíz. Las mezclas de alimentación se ajustaron al contenido de humedad deseado con cantidades calculadas de agua destilada y mezclando minuciosamente durante 15 min. Las muestras se empaquetaron en bolsas de polietileno y se mantuvieron en el refrigerador durante la noche para equilibrar la humedad. El contenido de humedad de la muestra y materia prima se determinó en un horno a 75 % bajo un vacío de 50 mm Hg hasta peso constante. Los niveles de contenido de humedad

del alimento fueron 13 % bs. Las muestras se llevaron a temperatura ambiente antes de la cocción por extrusión.

Las formulaciones utilizadas para la producción de snacks extruidos se dan en la tabla 4.

Código de muestra	Harina de quinua germinada (%)	Harina de maíz amarillo (%)
Extruido-20	20	80
Extruido-40	60	40
Extruido-60	40	60
Extruido-80	20	80

Tabla 4. Formulación del extruido.

## Extrusión

Las formulaciones fueron extruidas en un extrusor de doble tornillo marca LABOR PQ DRX-50 en el que se trabajó a una velocidad de 800 RPM, velocidad de alimentación de 22 Hz, velocidad de cortador de 4 Hz, la temperatura fue 150 °C (a lo largo de las secciones del extrusor). El dado utilizado fue de forma rectangular de dimensiones 0,098 x 0,787 pulg. Los snacks extruidos se secaron en un secador de bandejas a 50 °C por 18 horas para reducir la humedad. Los snacks extruidos se envasaron en bolsas de aluminio con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente. Los productos obtenidos fueron evaluados en su composición químico proximal y funcionales, siendo la temperatura y la entalpía de gelatinización.

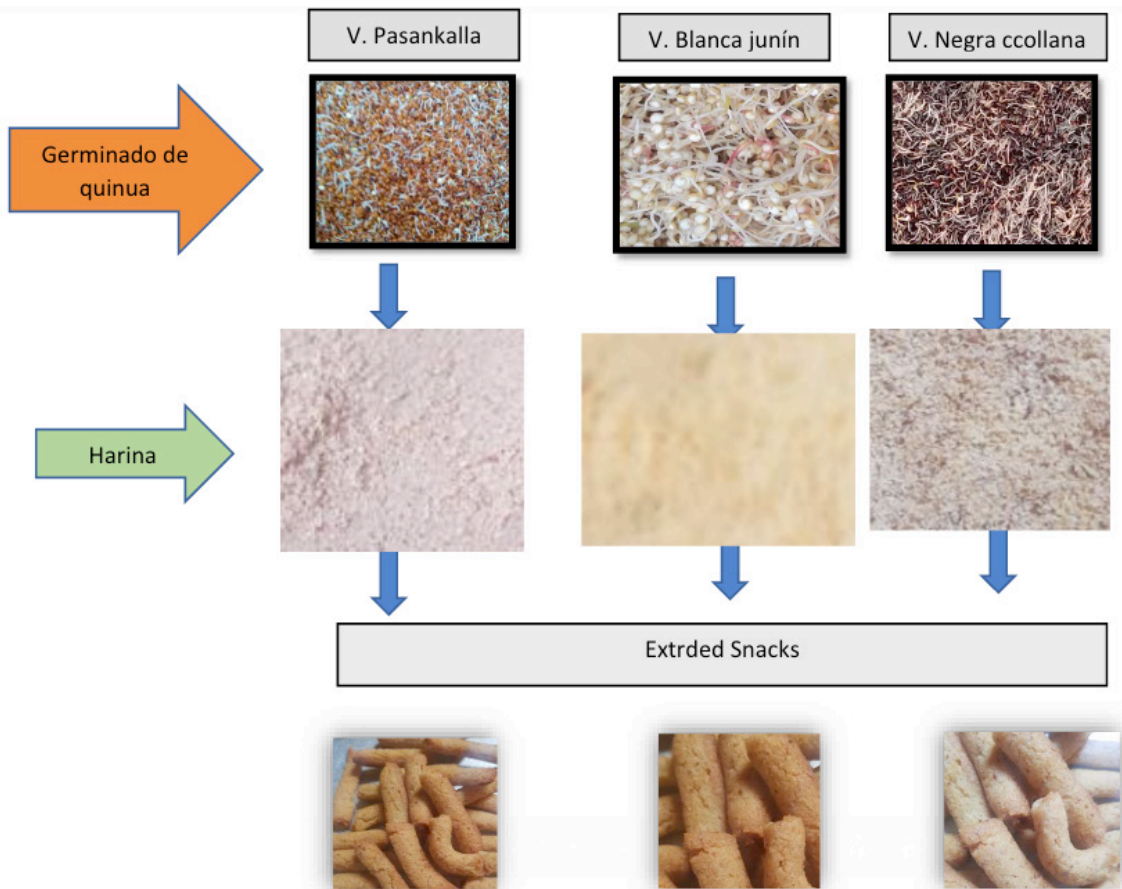


Figura 4. Proceso de formulación de Snack con harina de 4 germinados de quinua

## ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIAS PRIMAS Y EXTRUIDOS

### Análisis composicional

La composición nutricional de todas las muestras se analizó mediante técnicas estandarizadas para materia prima y producto procesado. Los análisis se realizaron por triplicado comprendiendo los siguientes análisis: Humedad mediante el método AOAC 950.46 (AOAC, 2005). Proteína total: se realizó por el método Kjeldahl, la mezcla resultante de la digestión se neutralizó con hidróxido de sodio y se destiló. El destilado se recogió en una solución de ácido bórico, para ser luego titulado y determinar el nitrógeno contenido en la muestra. Grasa: por extracción con éter de petróleo en Soxhlet, AOAC 2003.05 (AOAC, 2005). Fibra: la fibra cruda se expresó como la pérdida de masa que se pierde en la incineración del residuo seco, obtenido después de la digestión con soluciones de HSO<sub>4</sub> e NaOH al 1,25 %, AOAC 962.09 (AOAC, 2005). Cenizas: por incineración en mufla a 550 °C,

AOAC 942.05.05 (AOAC, 2005). Carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) por diferencia.

### **Digestibilidad proteica**

La digestibilidad de proteínas in vitro se determinó mediante el método AOAC 971.09 modificado por Miller (2002). Desengrasado en un (1 g) se digirieron con 150 ml de solución de pepsina en HCl 0,075 M (0,0002 % v/v) e incubados en baño de agitación (45 °C, 16 h). Las muestras digeridas fueron al vacío, luego se filtró y se lavó tres veces con agua y acetona. En el residuo, el contenido de nitrógeno se determinó mediante el método Kjeldahl (AOAC 920.87). El valor se corrigió mediante una determinación de nitrógeno en una solución de HCl libre de pepsina; luego se calculó la proteína usando factor 6.25. Los análisis se realizaron por triplicado.

### **Propiedades funcionales**

Para determinar la temperatura de gelatinización ( $T_p$ ) y entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) se llevó a cabo por un medio de calorimetría diferencial de barrido (TA Instruments DSC-2500), previamente calibrado con indio de 99.99 % de pureza. Las muestras fueron analizadas en capsulas de aluminio herméticas y la medida se realizó comparando con el flujo de calor de una capsula similar y vacía. La masa de la muestra fue de  $10.0 \pm 0.1$  mg, de los cuales el 80 % corresponde a agua y el restante 20 % corresponde a la harina. Después de sellar la capsula la muestra se dejó reposar por 30 minutos para homogeneizar la mezcla. El calentamiento se realizó a una velocidad de calentamiento de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ , desde temperatura ambiente hasta  $120^\circ\text{C}$ , en atmósfera de Nitrógeno (ASTM, 2003).

Los análisis de termogravimetría se realizaron para determinar la estabilidad térmica de las harinas. Los análisis fueron hechos teniendo en cuenta los procedimientos estándar de mediciones TGA ASTM E1131-03. Se utilizó un equipo TGA Q500 de TA Instruments, previamente calibrado con níquel de alta pureza. La masa de la muestra fue de  $10.0 \pm 0.1$  mg, y se analizaron en platillos de platino para TGA. El calentamiento se realizó controladamente desde  $25^\circ\text{C}$  hasta  $600^\circ\text{C}$  a una velocidad constante de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , en atmosfera de nitrógeno. El porcentaje de humedad (Hm), porcentaje de carbohidratos (Etapas 1 y 2) y cantidad final de residuos (Rs) se desarrolló para cada muestra.

### **Índice de expansión**

Se desarrolló mediante la medición del área transversal de producto extruido y la prueba matriz (Makila et al., 2014). Las mediciones fueron desarrolladas mediante el uso de un calibrado vernier digita de acero inoxidable Control Company Traceable y el valor del índice de expansión fue calculada de un promedio de 20 observaciones.

## Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media. Se utilizó el análisis de varianza con el propósito de determinar la significancia de las propiedades entre las diferentes muestras, mediante la prueba de Pearson con un nivel de significancia ( $p < 0.01$ ). Los análisis se realizaron con Restudio. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Los datos se informaron como la media  $\pm$  desviación estándar (DE). A los datos analíticos obtenidos se les aplicó un ANOVA unidireccional, así como la prueba de rangos múltiples de Duncan, con el fin de establecer las diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Composición en germinados de harina de quinua

La composición de las harinas de quinua germinada para cada variedad se presenta en la tabla 5. El contenido de humedad de las tres variedades de quinua se encontró de 10,34 a 10,85% se puede apreciar que no existe diferencia significativa con ( $p > 0,05$ ); encontrándose dentro de los resultados reportados por Arzapalo, et, al. 2015., por lo tanto, las tres variedades de harina de quinua germinada se encuentran dentro de los valores establecidos. El contenido de proteína de harina de quinua germinada variedad negra Ccollana presentó 12,48 % mayor frente a las variedades pasankalla con 12,13 % y blanca Junín con 11,86 % con un *pvalue*  $p < 0,05$ . Encontrándose un aumento en el contenido de proteínas en las dos variedades, excepto para la variedad blanca Junín que presentó un contenido bajo en proteínas. Estos contenidos están dentro de los reportados de 11, 2 a 16,5 % (Mota y Santos., 2016; Nyruz y Sanlier,; Elsohaimy Refaay, 2015)

Para los carbohidratos, el mayor porcentaje lo obtuvo la variedad pasankalla con un 72,44 %, seguido de la variedad blanca Junín con 69,90% y la de menor porcentaje 68,04 % la variedad negra Ccollana. Estos valores son mayores a los reportados por otros autores, haciendo de esta una mejor opción para la obtención de almidón. La quinua contiene de 58,1-64,2 % de almidón, encontrándose en forma de gránulos (Reygada, 2001). Para Ahamed *et al.* 1996, el almidón de quinua de las variedades, rojo, amarillo y blanco, es de 59, 58 y 64 %, respectivamente. Con respecto a la proteína existe diferencia significativa con ( $p < 0,05$ ).

Composición	H.Q. negra Ccollana		H.Q. blanca Junín		H.Q. pasankalla	
Humedad (%)	10,43	± 0,04 <sup>c</sup>	10,85	± 0,1 <sup>b</sup>	10,04	± 0,03 <sup>a</sup>
Proteína (%)	12,48	±0,2 <sup>b</sup>	11,86	± 0,1 <sup>c</sup>	12,23	± 0,7 <sup>a</sup>
Grasa (%)	5,70	± 0,05 <sup>a</sup>	5,44	± 0,02 <sup>a</sup>	5,19	± 0,05 <sup>b</sup>
Ceniza (%)	2,75	± 0,01 <sup>b</sup>	1,95	± 0,04 <sup>a</sup>	2,10	± 0,02 <sup>a</sup>
Fibra (%)	9,22	± 0,11 <sup>a</sup>	7,82	± 0,02 <sup>c</sup>	8,51	± 0,01 <sup>b</sup>
Carbohidratos (%)	68,04	± 0,4 <sup>c</sup>	69,90	± 0,2 <sup>a</sup>	72,44	± 0,3 <sup>b</sup>

Tabla 5. Composición química de harinas de quinua germinada

Los valores seguidos de letra diferentes en la misma fila para las variedades de quinua son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

Se encontró ligeras diferencias en la composición de cada variedad de quinua germinada como se muestra en la tabla 5.

## PROPIEDADES DEL SNACKS EXTRUIDO

### Propiedades nutricionales

En la tabla 6 se muestra la composición nutricional analizada a partir de los snacks seleccionados que tienen correlación con los valores calculados en función de cada variedad seleccionada. El contenido de proteína en las muestras extruidas presentó una disminución ligera de entre 9,19 a 11,23 % como se muestra en la tabla 6, se encontró una diferencia significativa en comparación con germinados de quinua cruda correspondiente. Encontrándose que el proceso de extrusión redujo el contenido proteico con una mayor reducción para el extruido de quinua variedad blanca Junín. Resultados similares se reportó para extruidos de cereales y leguminosas (Camire, 2002; Verela et al., 2007). Durante la cocción por extracción se puede reducir la agregación de proteínas de interacción hidrofóbicas, enlaces de hidrógeno y enlaces disulfuro y/o formación de complejos tipo Maillard, provocando la reducción de la solubilidad proteica. El contenido de humedad se encontró de 6,75 a 7,83 %, por un lado, el porcentaje en grasa no presentó una variación en los snacks de cada variedad de quinua germinada.

El contenido de carbohidratos se incrementó en los extruidos en comparación con la harina cruda de quinua germinada, presentando de 69,18 a 73,81 % de su composición, en los diferentes extruidos, esto concuerda con lo reportado en mezclas de garbanzo extruidos y lentejas. (Morales, cebadera-Miranda et al., 2015). Este aumento se ha relacionado con una modificación en la estructura mecánica inducida por ruptura celular durante la extrusión (Morales, Berríos et al., 2015). La cocción por su parte causó un incremento de carbohidratos en las tres variedades de quinua. Este resultado es similar a lo reportado por Valenzuela et al., (2015) quien reporta un incremento del porcentaje de carbohidratos para

estas tres variedades.

Según Rehal et al. (2017), el contenido de humedad es el factor más importante tanto en la elaboración del bocadito extruido como en el almacenamiento, considerándose como seguro un contenido de humedad por debajo del 10 % con el fin de evitar cualquier crecimiento microbiano. Rehal et al. (2017) evaluaron bocaditos extruidos comerciales, encontrando que el contenido de proteína se encontraba en el rango de 2,8 a 9,2 %; el contenido de grasa se encontró entre 3,15 al 35,7 % y el contenido de carbohidratos varió de 4,0 a 70,9 %. Los rangos del contenido de grasa y carbohidratos incluyen a los valores del bocadito extruido de formulación óptima, pero el rango del contenido de proteína está por debajo del contenido de proteína de la formulación óptima.

	Snack VNC al 60%		Snack VBJ 60%		Snack VP 60%	
Humedad	7,83	± 0,01 <sup>c</sup>	6,75	± 0,02 <sup>b</sup>	7,07	± 0,02 <sup>a</sup>
Proteína	11,03	±0,04 <sup>b</sup>	9,19	± 0,03 <sup>c</sup>	11,23	± 0,06 <sup>a</sup>
Grasa	3,40	± 0,02 <sup>a</sup>	3,83	± 0,02 <sup>a</sup>	3,35	± 0,03 <sup>b</sup>
Ceniza	1,56	± 0,03 <sup>b</sup>	1,48	± 0,04 <sup>a</sup>	2,53	± 0,04 <sup>a</sup>
Fibra	5,12	± 0,12 <sup>a</sup>	5,45	± 0,03 <sup>c</sup>	5,40	± 0,01 <sup>b</sup>
Carbohidratos	69,18	± 0,03 <sup>c</sup>	70,75	± 0,02 <sup>a</sup>	73,81	± 0,01 <sup>b</sup>
Digestibilidad proteica	90,20	± 0,01 <sup>c</sup>	92,00	± 0,02 <sup>c</sup>	91,10	± 0,01 <sup>c</sup>

Tabla 6. Composición nutricional de snacks extruido según variedad de quinua germinada

Nota: VNC: variedad negra ccollana; VBJ: variedad blanca juni; VPLL: variedad pasankalla

## Digestibilidad proteica en snacks extruidos

En la figura 6 se muestra la digestibilidad proteica de los productos extruido seleccionados que contiene un nivel de concentración del 60 % de germinados por variedad. La digestibilidad de proteína se encontró superior al 90 % en las muestras extruidas. La alta digestibilidad de las proteínas es el principal requisito para considerar un producto alimenticio como de alta calidad nutricional (FAO/OMS).

En general el proceso de extrusión provocó un aumento en la digestibilidad superior al 90 % como se muestra en la figura 6. Este aumento podría deberse a la desnaturalización proteica y a la inactivación de los factores antinutricionales termolábiles (inhibidores de proteasas o lectinas) de leguminosas que deterioran la digestibilidad de las proteínas (Patil et al., 2016; Singh y col., 2007). Estos valores fueron similares a los reportados por para mezclas de algarrobo entero extruido, guisantes y arroz (Arribas et al., 2017), pero superior al reportado para frijol extruido, frijol pinto, garbanzo, guisante y habas (El-Hady y Habiba, 2003; Singh y col., 2007), probablemente porque la extrusión se desarrolló bajo diferentes

condiciones de temperatura y humedad. La digestibilidad proteica en mayor porcentaje se encontro para el Snacks extruido con el germinado de quinua variedad blanca junín.

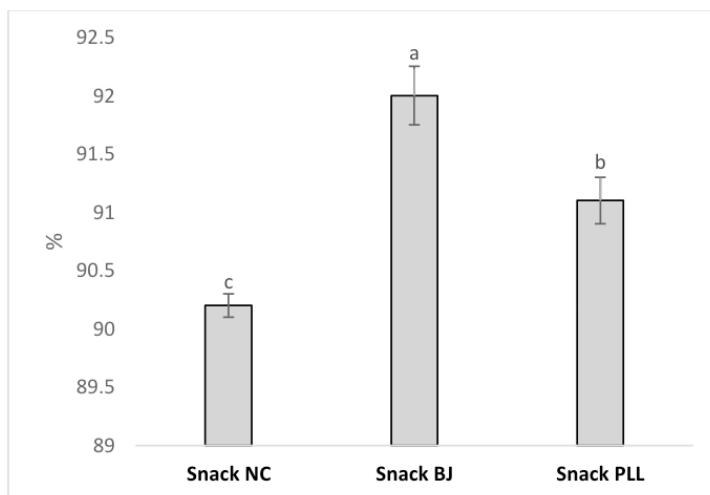


Figura 6. Digestibilidad de proteína en Snacks

### Índice de expiación

En la figura 7 se muestra el índice de exposición que se encuentran entre 1,29 a 2,46 para las formulaciones seleccionadas de acuerdo al estudio los valores encontrados se encuentran por debajo de los valores esperados siendo próximos a los valores encontrados por Kowalski et al., 2006 en extruidos de quinua. Los bajos índices de expansión se atribuyen al hecho de que la harina de quinua tiene mayores cantidades de proteína, fibra y grasa e comparación con otros cereales. La disminución en el índice de expansión se correlaciono con la proteína de la quinua.



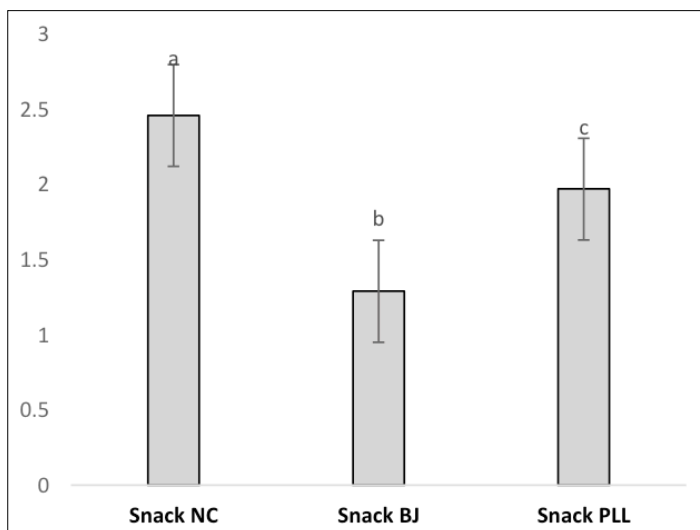


Figura 7. Índice de expansión del Snack extruido

## Propiedades funcionales

Durante la extrusión de los snacks extruidos se observó un evento endotérmico para cada formulación de cada variedad de quinua germinada como se muestra en tabla 7. La temperatura de inicio, pico, final y entalpía endotérmico se muestran en la tabla 7. El rango de transición endotérmica para todos los productos extruidos fue aproximadamente 22° C. las temperaturas máximas de los productos extruidos fueron diferentes.

La transición endotérmica observada en los extruidos se debe a la fusión del complejo entre la amilosa y los lípidos que están presentes en la mezcla extruida (Bhatnagar y Hanna 1994). La formación de complejos entre almidones y lípidos se debe a la capacidad de la amilosa para unirse a lípidos como los ácidos grasos. Muchos investigadores han estudiado la formación de complejos durante la cocción por extrusión de doble tornillo en el pasado (Colonna y Mercier, 1983; Guzman, Lee y Chichster, 1992).

Variedad	Harina de quinua germinada				Snack extruido			
	T0 (°C)	TP (°C)	Tf (°C)	$\Delta H(J/g)$	T0 (°C)	TP (°C)	Tf (°C)	$\Delta H(J/g)$
H.Q. Pasankalla	165,80	169,97	176,29	169,97	146,93	150,38	172,11	3928,8
H.Q. Negra Ccollana	96,49	99,13	109,40	731,11	152,20	152,27	166,29	2095,6
H.Q. Blanca Junin	94,28	95,84	104,57	1378.4	155,34	159,47	167,12	2345,4

Tabla 7. Propiedades funcionales de snacks extruido

En el termogramas del snack extruido de la figura 8. Se detectó cambios en el calor específico, en un rango de temperatura entre 146 y 172 °C, rango en el cual se encuentra la temperatura de transición vítrea. El proceso empieza a una temperatura inicial  $T_0 = 146,90$  °C, la temperatura de pico ( $T_p$ ) es la temperatura donde se registran los valores más altos de absorción de calor (Fessas, 2005), que ocurre a una temperatura de 150,38 °C. Los resultados también muestran que la transición ocurre en un intervalo de temperatura ( $\Delta T = T_f - T_0$ ) de 25,87 °C. La entalpia, calculada con el área con el área bajo la curva del pico representa la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de gelatinización es de 3928,8 J/g.

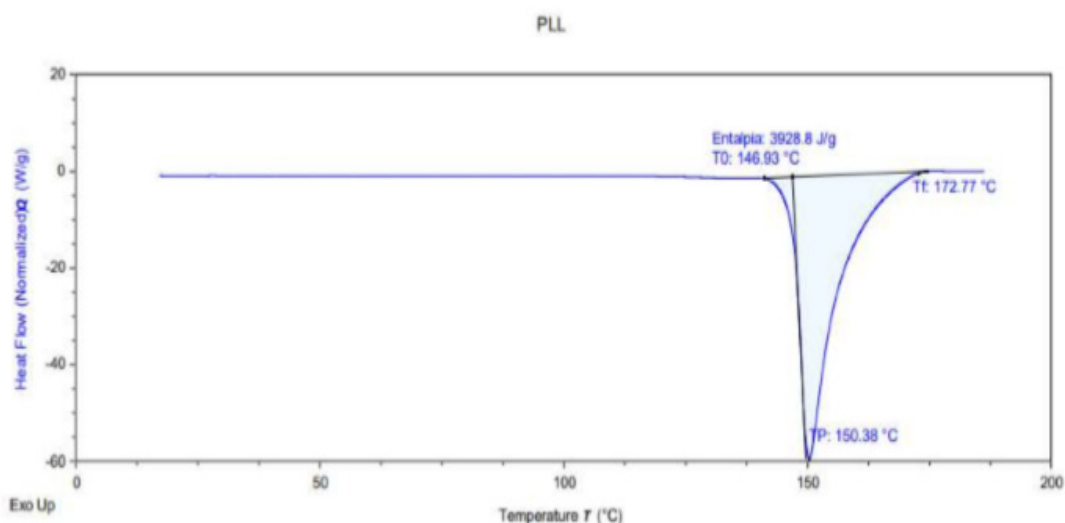


Figura 8. Termograma de snack de variedad de quinua Pasankalla

La tabla 7 muestra las pérdidas de masa en harinas de quinua germinada y snacks extruidos.

Variedad	Germinado de quinua			Snack extruido		
	Fase 1 (%)	Fase 2 (%)	Fase 3 (%)	Fase 1 (%)	Fase 2 (%)	Fase 3 (%)
H.Q. pasankalla	9,378	63,35	6,68	4,73	63,76	7,44
H.Q. negra Ccollana	4,95	59,97	7,05	5,47	63,62	6,94
H.Q. blanca Junín	5,12	67,33	6,31	4,75	63,73	6,22

Tabla 7. Porcentaje de pérdidas de masa en cada fase

La figura 9, ha sido divididas en tres regiones, relacionadas con las pérdidas de masa pronunciadas en las gráficas para cada muestra de snacks extruidos; la zona 1 corresponde a la pérdida de masa por la humedad presente en la muestra, mientras la pérdida de masa representativo se observa en la fase 2 en un rango de temperaturas entre 200 °C y 400 °C, en este punto se descomponen carbohidratos, péptidos de bajo peso molecular y la cantidad total de almidón. En la zona 3 con un rango de temperaturas entre 400 °C a 600 °C se descomponen polisacáridos de alto peso molecular como proteínas, lípidos entre otros compuestos orgánicos.

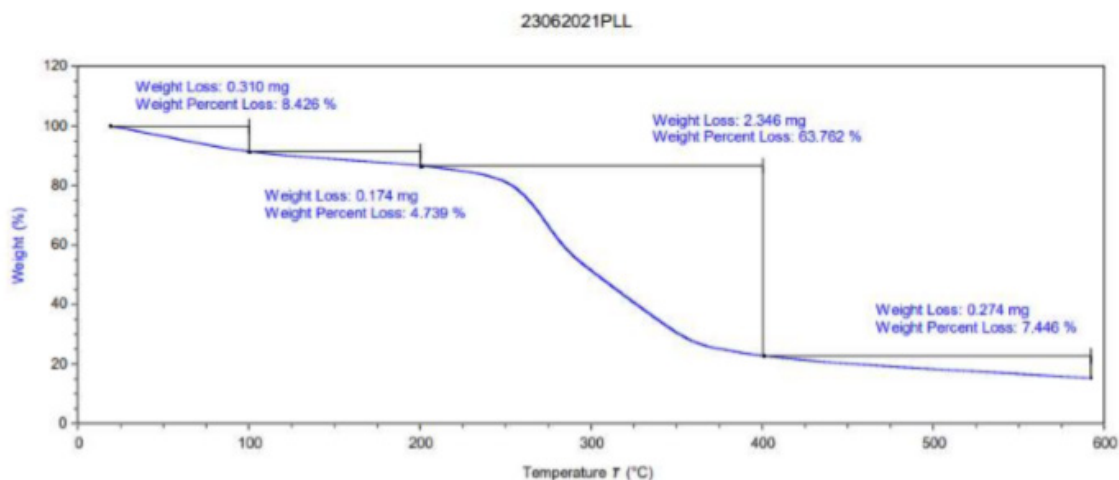


Figura 9. Termograma TGA de harina de quinua germinada variedad pasankalla

## CONCLUSIONES

A partir de la investigación se puede concluir que se logró caracterizar el valor nutricional del snack extruido a base de harinas de quinua germinada de diferentes variedades con una calidad nutricional mejorada. Los extruidos presentaron bajos contenidos en grasas, contenían carbohidratos complejos y, teóricamente, tenían un perfil proteico equilibrado debido a la germinación de la quinua. Además, la extrusión mejoró la digestibilidad de las proteínas y el contenido de fibra dietética soluble. Todas las formulaciones extruidas se pueden considerar como una buena fuente de proteína y fibra dietética, Atraerán a los consumidores preocupados por la salud y, al mismo tiempo, permitirán que la industria alimentaria satisfaga las demandas de los consumidores de alimentos funcionales. Es importante señalar que estos productos extruidos puedan consumirse directamente como un producto extruido nutritivo Por su contenido de calidad proteica, el extruido de formulación óptima es una buena opción para formar parte de las loncheras escolares.

## REFERENCIAS

Papargyropoulou, E .; Lozano, R .; Steinberger, JK; Wright, N .; Ujang, Z. La jerarquía del desperdicio de alimentos como marco para la gestión del excedente y el desperdicio de alimentos. *J. Limpio. Pinchar.* **2014** , *76* , 106-115. [ **Google Académico** ] [ **CrossRef** ]

Li, Y .; Bahadur, R .; Ahuja, J .; Pehrsson, P .; Harnly, J. Macro y micronutrientes en alimentos vegetales crudos: las similitudes de los alimentos y su implicación para la diversificación dietética. *J. Food Compos. Anal.* **2021** , *102* , 103993. [ **Google Académico** ] [ **CrossRef** ]

The Nielsen Company. Snack attack what consumers are reaching for around the world. Nielsen Global Snacking Survey. 2014. Disponible en: <http://www.nielsen.com/content/dam/niensenglobal/kr/docs/global-report/2014/Nielsen%20Global%20Snacking%20Report%20September%202014.pdf>

Singh, S., Gamlath, S. y Wakeling, L. Aspectos nutricionales de la extrusión de alimentos: A revisión. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, (2007). 42 (8), 916–929.

Deshpande, H; Poshadri, A. Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from Foxtail millet based composite flours. *International Food Research Journal*. 2011. 18(2):751-756.

Abugoch, L.E.; Romero, N.; Tapia, C.A.; Silva, J.; Rivera, M.. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 2008. 56(12): 4745-4750.

Moongngarm, A., Saetung, N., Comparación de composiciones químicas y bioactivas compuestos de arroz en bruto germinado y arroz integral. *Food Chem.* 2010. 122, 782-788.

Murugkar, DA, Efecto de diferentes parámetros del proceso sobre la calidad de la leche de soja y tofu de soja germinada. *J. Food Sci. Technol.* 2015. 52 (5), 2886-2893.

Bedón Gómez, M., Nolasco Cárdenas, O., Santa Cruz Carpio, C., Gutiérrez Román, A.,. Clasificación y caracterización de alfa amilasa de granos germinados de *Chenopodium quinoa* (Quinoa). *J. Int. Sci. Reunirse.* 2013. 10 (1), 51-57.

Chaparro, DC, Pismag, P., Correa, E., Quila, V., Caicedo, CA, Efecto de la germinación en el contenido de proteínas y la digestibilidad en semillas de amaranto, quinua, soja y grandul. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 8 (1), 35-42.

Omary, MB, Fong, C., Rothschild, J., Finney, P. Efectos de la germinación en el contenido nutricional de cereales y pseudocereales sin gluten: una revisión. *Cereal Chem.* 2012. 89 (1), 1-14.

Swieca, M., Baraniak, B., Gawlik-Dziki, U. Digestibilidad in vitro y contenido de almidón, índice glucémico pronosticado y potencial anti diabético en los brotes de lentejas obtenidos por diferentes técnicas de germinación. 2013. *Food Chem.* 138, 1414-1420.

Carciochi, RA, Manrique, GD, Dimitrov, K. Cambios en la composición fenólica y actividad antioxidante durante la germinación de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). 2014. *En t. Food Res. J.* 21 (2), 767-773.

Devi, C., Kushwaha, A., Kumar, A. Características de brotación y asociadas cambios en la composición nutricional del caupí (*Vigna unguiculata*). *J. Food Sci. Technol.* 2015. 52 (10), 6821-6827.

- Jan, KN, Panesar, PS, Rana, JC, Singh, S. Estructural, térmico y reológico propiedades de los almidones aislados de las variedades de quinua de la India. En t. J. Biol. Macromol. 2017. 102, 315-322.
- Kanensi, OJ, Ochola, S., Gikonyo, NK, Makokha, A. Optimización del período de maceración y germinación para grano de amaranto. J. Agric. Food Technol. 2011. 1 (6), 101 -105.
- Wang, X., Yang, R., Jin, X., Zhou, Y., Han, Y., Gu, Z. Distribución de ácido fítico y Enzimas catabólicas asociadas en los brotes de soja y promoción del ácido indolacético de la biodisponibilidad de Zn, Fe y Ca. Ciencia de los alimentos. 2015. Biotechnol. 24 (6), 1-7.
- Torres Alexia, Cova A, Valera D .. Efecto del proceso de germinación de granos de Cajanuscajan en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. Rev. chil. nutr. [Internet]. 2018 Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182018000500323&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000500323&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500323>.
- Hager, AS, Mäkinen, OE, Arendt, EK. Actividades amilolíticas y reserva de almidón movilización durante la germinación de la quinua. EUR. 2014. Food Res. Technol. 239 (4), 621627.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA. 2005.
- Rathod, R .; Annapure, U. Efecto del proceso de extrusión sobre los factores antinutricionales y la digestibilidad de las proteínas y el almidón de las lentejas divididas. LWT Food Sci. Technol. 2016 , 66 , 114–123. [ Google Académico ] [ CrossRef ]
- Zeng, Z .; Zhang, H .; Xue, W .; Zhu, W .; Xiao, X .; Sun, Y .; Li, Z. Cinética de cristalización isotérmica del copolímero de poli (tereftalato de butileno-co-sebacato). J. Appl. Polym. Sci. 2011 , 121 , 735–742. [ Google Académico ] [ CrossRef ]
- ASTM International. Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, E 1131–03, (2003).
- Mäkilä, L.; Laaksonen, O.; Ramos Diaz, J. M.; Vahvaselkä, M.; Myllymäki, O.; Lehtomäki, I.; Kallio, H. 2014. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. LWT-Food Science and Technology 57(2): 618-627. [ Links ]
- Mota, M. Santos, R. Mauro, N. Samman, A.S. Matos, D. Torres, I. Castanheira, Protein content and amino acids profile of pseudocereals, Food Chemistry, 2016. 193, 55
- Nowak, J. Du, U.R. Charrondièrre, Assessment of the nutritional composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.), Food Chemistry, 2016.193, 47
- Ahamed, N., Singhal, R., Kulkarni, P. y Pal, M. "Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa starch". Botanical Research Institute, Lucknow. India, 1996.
- Guerrero, P .; Kerry, JP; de la Caba, K. Caracterización FTIR de interacciones proteína-polisacárido en mezclas extruidas. Carbohidr. Polym. 2014 , 111 , 598–605. [ Google Académico ] [ CrossRef ] [ PubMed ]
- Camire, ME. Cocción por extrusión. En CJK Henry y C. Chapman (Eds.). El manual de nutrición para procesadores de alimentos. (2002). (págs. 314-330).

Varela, P.; Chen, J.; Fiszman, S y Povey, M. Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics* 2006. 20 (6-7): 311- 320.

Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, RM, Reis, FS, Barros, L., Berrios, J., Cámara, M. Formulaciones de harina de lentejas para desarrollar nuevos productos tipo snack mediante procesos de extrusión: Fitoquímicos y capacidad antioxidante. *Revista de alimentos funcionales*. 2015. 19, 537–544 Parte A.

Valenzuela, A. R., Mita, Zapana, T. G, Rufo, M. A., y Mita, C. U. Efecto de la germinación y cocción en las propiedades nutricionales de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de Investigación Alto Andina*. 2015. 17(2): pp. 169-172.

Rehal, J; Kaur, G; Kaur, A; Singh, A. Comparative Evaluation of Different Attributes of the Existing Extruded Snacks. 2017. *Journal of Krishi Vigyan* 5(2): 15-21. [ Links ]

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Catálogo de especies de la FAO, vol. 3. Cefalópodos del mundo: catálogo ilustrado y anotado de especies de interés para la pesca ; Sinopsis de Pesca de la FAO No. 125; Clyde, FE, Roper, MJS, Nauen, CE, Eds .; FAO: Roma, Italia, 2015; Volumen 3. [ Google Académico ]

Patil, S., Brennan, M., Mason, S. y Brennan, C. Los efectos de la fortificación de legumbres y extrusión sobre la digestibilidad de proteínas de snacks a base de trigo. *Alimentos*. 2016. 5 (2), 26.

Arribas, C., Cabellos, B., Sánchez, C., Cuadrado, C., Guillamón, E. Y Pedrosa, M. M. “The impact of extrusion on the nutritional composition, dietary fiber and in vitro digestibility of gluten-free snacks based on rice, pea and carob flour blends” en *Food and Function*, 2017. vol. 18, p. 3654-3663.

El-Hady, EA y Habiba, RA Efecto de las condiciones de remojo y extrusión en antinutrientes y digestibilidad proteica de semillas de leguminosas. *Lebensmittel- Wissenschaft und - Tecnologia- Ciencia y tecnología de los alimentos*, 2003. 36 (3), 285–293.

Valenzuela-Lagarda, JL; Pacheco-Aguilar, R .; Gutiérrez-Dorado, R .; Mendoza, JL; López-Valenzuela, J.Á .; Mazorra-Manzano, M.Á .; Muy-Rangel, MD Interacción de la proteína del manto de calamar (*Dosidicus giga*) con una mezcla de papa y almidón de maíz en un bocadillo extruido, como se caracteriza por FTIR y DSC. *Moléculas* 2021 , 26 , 2103. <https://doi.org/10.3390/molecules26072103>

Chang, YK; Hashimoto, JM; Moura-Alcioli, R .; Martínez-Bustos, F. Extrusión de doble tornillo de almidón de yuca y mezclas de proteínas de soja aisladas. *Alimentos Nahr*. 2001 , 45 , 234-240. [ Google Académico ] [ CrossRef ]

Bhatnagar, S. y Hanna, MA Condiciones de procesamiento de extrusión para amilasa y complejos de lípidos. *Química de los cereales*, 1994. 71 (6), 587-593.

Colonna, P. y Mercier, C. Modificaciones macromoleculares del almidón de mandioca componentes por extrusión-cocción con y sin lípidos. *Polímeros de carbohidratos*, 1983. 3(2). 87-108.

Jacobsen, SE (2003). El potencial mundial de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Reseñas de alimentos internacionales* , 19 (1-2), 167-177.

Escuredo, O., Martín, MIG, Moncada, GW, Fischer, S., & Hierro, JMH (2014). Perfil de aminoácidos de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) usando espectroscopía de infrarrojo cercano y técnicas quimiométricas. *Revista de Ciencias de los Cereales* , 60 (1), 67-74.

Hellín, J. y Higman, S. (2005). Diversidad de cultivos y seguridad de los medios de subsistencia en los Andes. *Desarrollo en la práctica* , 15 (2), 165-174.

Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, SE (2003). Valor nutricional y uso de los cultivos andinos quinua (*Chenopodium quinoa*) y kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Reseñas de alimentos internacionales* , 19 (1-2), 179-189.

Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, SE, & Schwember, AR (2014). Mejoramiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): potencial y perspectivas. *Mejoramiento molecular* , 34 (1), 13-30.

Ofstehage, A. (2012). La construcción de una economía alternativa de la quinua: equilibrando la solidaridad, las necesidades del hogar y la ganancia en San Agustín, Bolivia. *Agricultura y valores humanos* , 29 (4), 441-454.

Jacobsen, SE (2011). La situación de la quinua y su producción en el sur de Bolivia: del éxito económico al desastre ambiental. *Revista de agronomía y ciencia de cultivos* , 197 (5), 390-399.

Bazile, D., Jacobsen, SE y Verniau, A. (2016). La expansión mundial de la quinua: tendencias y límites. *Fronteras en la ciencia de las plantas* , 7 , 622.

Bazile, D., Bertero, HD y Nieto, C. (2015). Informe sobre el estado del arte de la quinua en el mundo en 2013.

Gómez-Pando, LR, & Eguiluz-de la Barra, A. (2013). Desarrollo de la variabilidad genética de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con radiación gamma para uso en programas de mejoramiento.

Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. *Cultivos marginados: otra perspectiva de*, 1492, 129-146.

Apaza, D., Cárceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2015). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú: un futuro sembrado hace miles de años.

MINAGRI. Ministerio de Agricultura y Riego. Serie Temporal de la Producción Agropecuaria. Disponible en línea: [http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta\\_cult](http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult) (consultado el 10 de marzo de 2018)

Bedoya-Perales, NS, Pumi, G., Mujica, A., Talamini, E., & Domingos Padula, A. (2018). Expansión de la quinua en el Perú y sus implicaciones en la gestión del uso de la tierra. *Sostenibilidad* , 10 (2), 532.

Bazile, D., Jacobsen, SE y Verniau, A. (2016). La expansión mundial de la quinua: tendencias y límites. *Fronteras en la ciencia de las plantas* , 7 , 622.

Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). *Quinoa: Botany, production and uses*. CABI.

Meyer, BN, Heinstein, PF, Burnouf-Radosevich, M., Delfel, NE y McLaughlin, JL (1990). Aislamiento dirigido por bioactividad y caracterización del quinósido A: uno de los principios tóxicos/amargos de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de Química Agrícola y Alimentaria* , 38 (1), 205-208.



- Kozioł, MJ (1992). Composición química y evaluación nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de composición y análisis de alimentos* , 5 (1), 35-68.
- Gee, JM, Price, KR, Ridout, CL, Wortley, GM, Hurrell, RF y Johnson, IT (1993). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa*): Efectos del procesamiento sobre su abundancia en productos de quinua y sus efectos biológicos sobre el tejido de la mucosa intestinal. *Diario de la ciencia de la alimentación y la agricultura* , 63 (2), 201-209.
- Pappier, U., Pinto, VF, Larumbe, G. y Vaamonde, G. (2008). Efecto del procesamiento para la eliminación de saponinas sobre la contaminación fúngica de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Internacional de Microbiología Alimentaria* , 125 (2), 153-157.
- QUISPE-FUENTES, ISSIS, VEGA-GÁLVEZ, ANTONIO, Miranda, M., LEMUS-MONDACA, ROBERTO, Lozano, M., & AH-HEN, KONG (2013). Un enfoque cinético para la extracción de saponina durante el lavado de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de ingeniería de procesos alimentarios* , 36 (2), 202-210.
- Irigoyen, RT y Giner, SA (2018). Cinética de extracción de saponinas de semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Internacional de Estudios Alimentarios* , 7 (2).
- Nickel, J., Spanier, LP, Botelho, FT, Gularte, MA y Helbig, E. (2016). Efecto de diferentes tipos de procesamiento sobre el contenido total de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y el contenido de saponina de los granos de *Chenopodium quinoa* Willd. *Química de los alimentos* , 209 , 139-143.
- Ridout, CL, Price, KR, Dupont, MS, Parker, ML y Fenwick, GR (1991). Saponinas de quinua: análisis e investigaciones preliminares sobre los efectos de la reducción por procesamiento. *Diario de la ciencia de la alimentación y la agricultura* , 54 (2), 165-176.
- Brady, K., Ho, CT, Rosen, RT, Sang, S. y Karwe, MV (2007). Efectos del procesamiento en el perfil nutracéutico de la quinua. *Química alimentaria* , 100 (3), 1209-1216.
- Repo-Carrasco-Valencia, RA, Encina, CR, Binaghi, MJ, Greco, CB, & Ronayne de Ferrer, PA (2010). Efectos del tostado y hervido de quinua, kiwicha y kañiwa sobre la composición y disponibilidad de minerales in vitro. *Diario de la ciencia de la alimentación y la agricultura* , 90 (12), 2068-2073.
- Ruales, J. y Nair, BM (1993). Saponinas, ácido fítico, taninos e inhibidores de proteasa en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd). *Química de los alimentos* , 48 (2), 137-143.
- Mastebroek, HD, Limburg, H., Gilles, T. y Marvin, HJP (2000). Ocurrencia de saponinas en hojas y semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Diario de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura* , 80 (1), 152-156.
- Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). *Quinoa: Botany, production and uses*. CABI.
- Mastebroek, HD, Limburg, H., Gilles, T. y Marvin, HJP (2000). Ocurrencia de saponinas en hojas y semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Diario de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura* , 80 (1), 152-156.
- Kozioł, MJ (1992). Composición química y evaluación nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de composición y análisis de alimentos* , 5 (1), 35-68.

- Palomino, G., Hernández, LT y de la Cruz Torres, E. (2008). Tamaño del genoma nuclear y análisis cromosómico en *Chenopodium quinoa* y *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae*. *Euphytica* , 164 (1), 221-230.
- Sala, SM (2000). Respuesta a la selección por contenido reducido de saponina en el grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Investigación de cultivos de campo* , 68 (2), 157-163.
- Risi, J.; Galwey, N. El patrón de diversidad genética en el cultivo de granos andinos de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd.). I. Asociaciones entre características. *Euphytica* 1989 , 41 , 147-162.
- Reynolds, DJ Disección genética de la producción de saponina triterpenoide en *Chenopodium Quinoa* mediante análisis de micromatrices. Tesis de maestría, Universidad Brigham Young, Provo, UT, EE. UU., 2009.
- Jarvis, DE; Kopp, Oregon; Jellen, EN; Mallory, MA; Pattee, J.; Bonifacio, A.; Coleman, CE; Stevens, MR; Fairbanks, DJ; Maughan, PJ Desarrollo de marcadores repetidos de secuencia simple y mapeo genético en quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Genet.* 2008 , 87 , 39–51.
- Ruales, J.; Valencia-Chamorro, S.; Nair, B. Efecto del procesamiento sobre las características fisicoquímicas de la harina de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd). *Almidón Starke* 1993 , 45 , 13-19.
- Joshi, R.; San Martín, R.; Sáez-Navarrete, C.; Alarcón, J.; Sainz, J.; Antolín, M.; Martín, AR; Sebastian, L. Eficacia de las saponinas de la quinua ( *Chenopodium quinoa* ) contra el caracol manzana dorada ( *Pomacea canaliculata* ) en Filipinas en condiciones de laboratorio. *Cultivo. prot.* 2008 , 27 , 553–557
- Woldemichael, GM; Wink, M. Identificación y actividades biológicas de saponinas triterpenoides de *Chenopodium quinoa* . *J. Agric. Química alimentaria* 2001 , 49 , 2327–2332.
- Lin, M.; Han, P.; Li, Y.; Wang, W.; Establecido.; Zhou, L. Quinoa metabolitos secundarios y sus actividades o funciones biológicas. *Moléculas* 2019 , 24 , 2512.
- Lin, M.; Han, P.; Li, Y.; Wang, W.; Establecido.; Zhou, L. Quinoa metabolitos secundarios y sus actividades o funciones biológicas. *Moléculas* 2019 , 24 , 2512.
- Vo, N.; Fukushima, E.; Muranaka, T. Estructura y relaciones de actividad hemolítica de saponinas y sapogeninas triterpenoides. *J.Nat. Medicina.* 2016 , 71 , 50–58.
- Voutquenne, L.; Lavaud, C.; Massiot, G.; Men-Olivier, L. Relaciones estructura-actividad de las saponinas hemolíticas. *Farmacia Biol.* 2008 , 40 , 253–262
- Verza, SG; Silveira, F.; Cibulski, S.; Kaiser, S.; Ferreira, F.; Gosman, G.; Roehe, PM; Ortega, GG Actividad inmunoadyuvante, ensayos de toxicidad y determinación por UPLC/Q-TOF-MS de saponinas triterpénicas de semillas de *Chenopodium quinoa* . *J. Agric. Química alimentaria* 2012 , 60 , 3113–3118.
- Yao, Y.; Yang, X.; Shi, Z.; Ren, G. Actividad antiinflamatoria de las saponinas de las semillas de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd.) en células de macrófagos RAW 264.7 estimuladas por lipopolisacáridos. *J. ciencia de los alimentos.* 2014 , 79 , 1018–1023.
- Moongngarm A, Saetung N. Comparación de composiciones químicas y bioactivas compuestos de arroz en bruto germinado y arroz integral. 2010 [ Links ]

Bedón Gómez M, Nolasco Cárdenas O, Santa Cruz Carpio C, Gutiérrez Román A. Puri parcialficación y caracterización de alfa amilasa de granos germinados de *Chenopodium quinoa* (Quinoa). *J. Int. Sci. Reunirse*. 2013;10(1):51-57

Rahman MS Diagrama de estado de los alimentos: su uso potencial en el procesamiento de alimentos y la estabilidad del producto. *Trends Food Sci. Technol.* 2006, 17, 129-141

Saavedra-Leos MZ, et al. Towards an improved calorimetric methodology for glass transition temperature determination in amorphous sugars. *CyTA-Journal of Food* 2012;10(4) 258-267

Suriñach S, Bar Oh, MARYLAND Bordas AS; Clavaguera N, Clavaguera-Mora MT El calorímetro I para barrer diferencial y su aplicación ó en Ciencia de Materiales. *Bol. Soc. Ceram español. Vidr.* 1992; 31:11-17. Toxqui-Ter a n / A

Verdonck E, Schaap K, Thomas LC. Una discusión de los principios y aplicaciones de DSC de temperatura modulada (MTDSC). En t. *J. Pharm.* 1999; 192: 3-20

Forsell PM; Mikkilä, JM; Moates, GK; Parker, R. Comportamiento de fase y transición vítrea de mezclas concentradas de almidón de cebada-glicerol-agua, un modelo para almidón termoplástico. *Carbohidratos. Polym.* 1997; 34:275-282

Kasapis S. Sobre la base del marco WLF / volumen libre: Utilización del modelo de acoplamiento en la dinámica de relajación del sistema gelatina / cosoluto. *Biomacromoléculas* 2006, 7, 1671-1678

Flours, *Journal of Physics: Conferences Series*. ISSN 1742-6596, 167, 012057-012061 doi:10.1088/1742-6596/167/1/012057. Referenciado en 121-122 2009;3(7):14-139

# ANEXOS

## 1. Reporte de Resultados Balanza de Humedad

Equipo: Balanza Determinadora de Humedad

Modelo: MX-50

Marca: A&D Weighing

N° de muestras: 6

Muestra	Replica (%)			Prom (% H)
	R1	R2	R3	
Pasankalla	11.68	11.24	11	11.31
Negra Ccollana	10.33	10.09	9.69	10.04
Blanca	9.32	9.41	9.23	9.32
PLL	11.11	11.01	11.24	11.12
NC	13.69	13.32	13.46	13.49
BJ	12.79	13.01	12.74	12.85

## 2. Reporte de Resultados DSC

Equipo: Calorímetro diferencial de barrido (DSC)

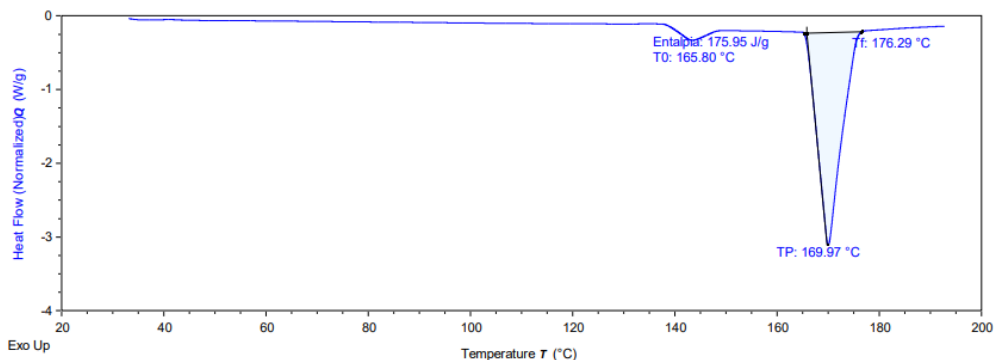
Modelo: DSC 2500

Marca: TA instrument

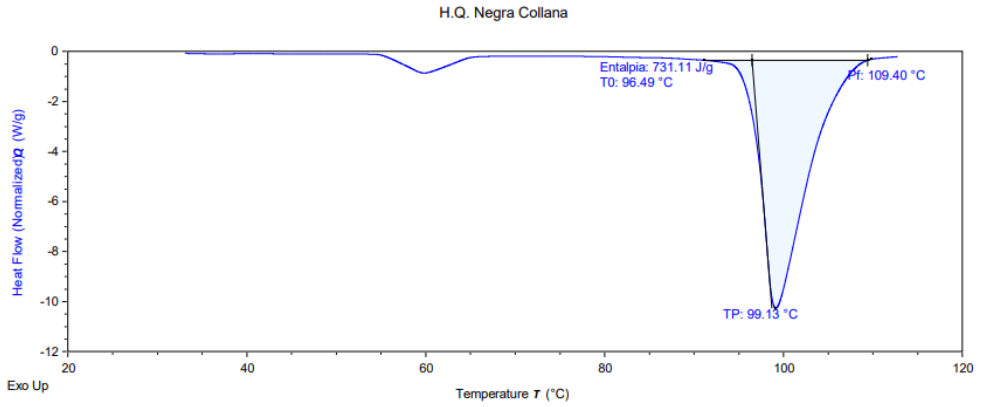
N° de muestras: 6

### Muestra Pasankalla

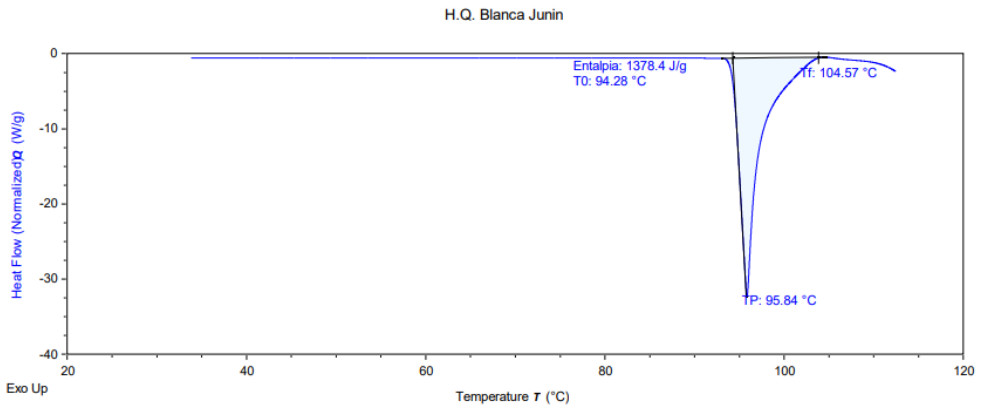
H.Q. Pasankalla



## Muestra Negra Collana

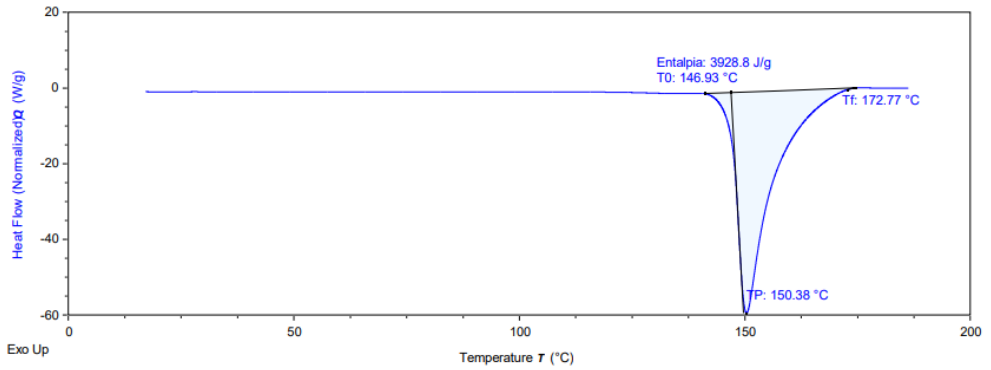


## Muestra Blanca



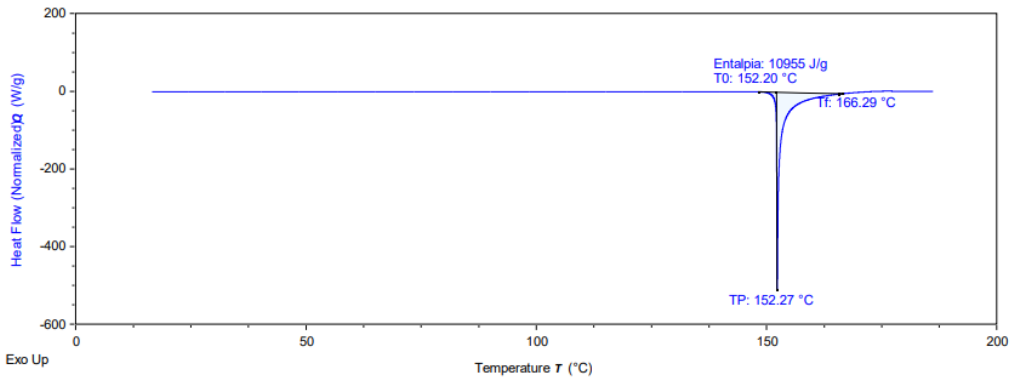
## Muestra PLL

PLL



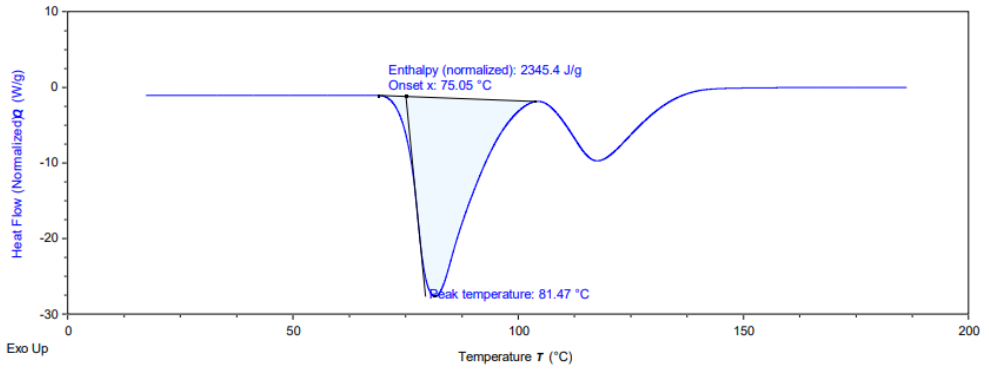
## Muestra NC

NC



## Muestra BJ

BJ



### 3. Reporte de Resultados TGA

Equipo: Analizador termo gravimétrico (TGA)

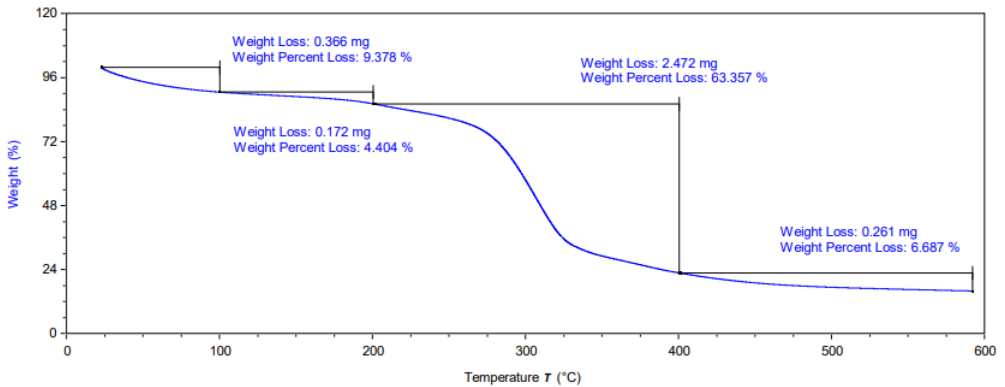
Modelo: TGA 550

Marca: TA instrument

N° de muestras: 6

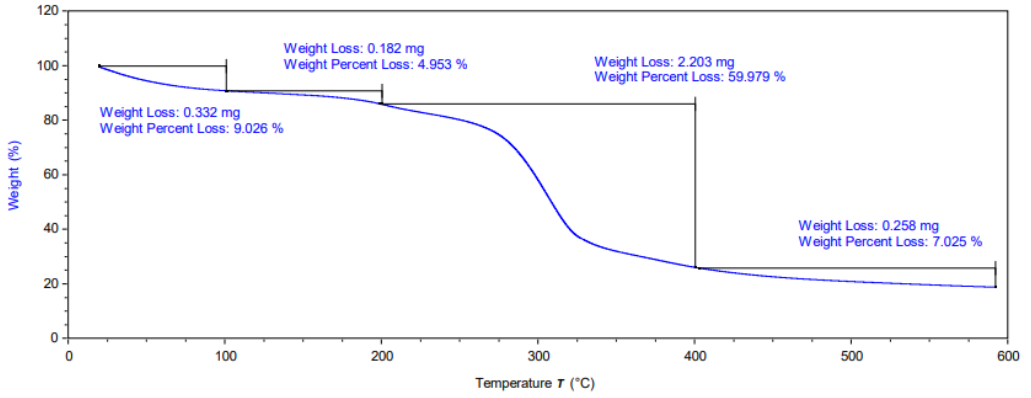
## Muestra Pasankalla

23062021H.Q. Pasankalla



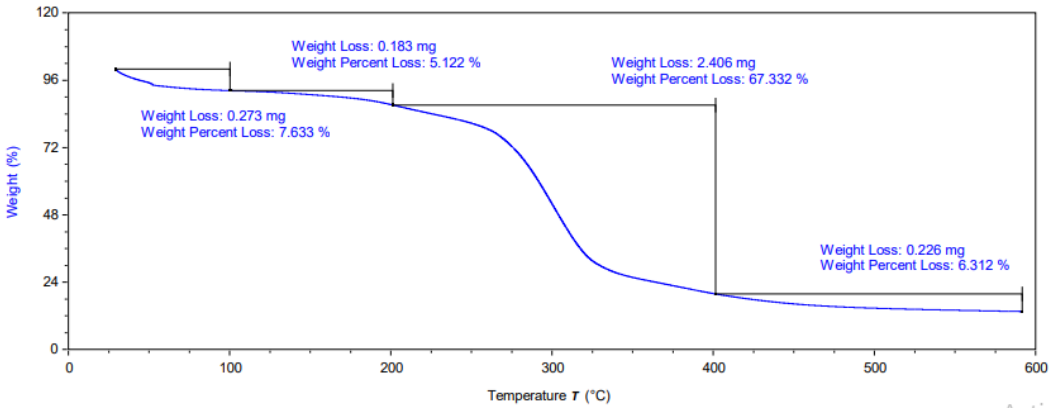
## Muestra Negra Collana

24062021H.Q. Negra C



## Muestra Blanca

23062021H.Q. Blanca junin

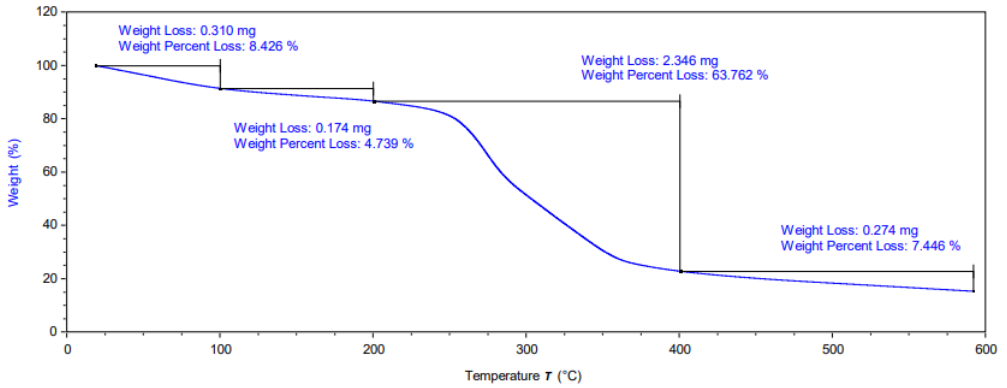


Activar 1



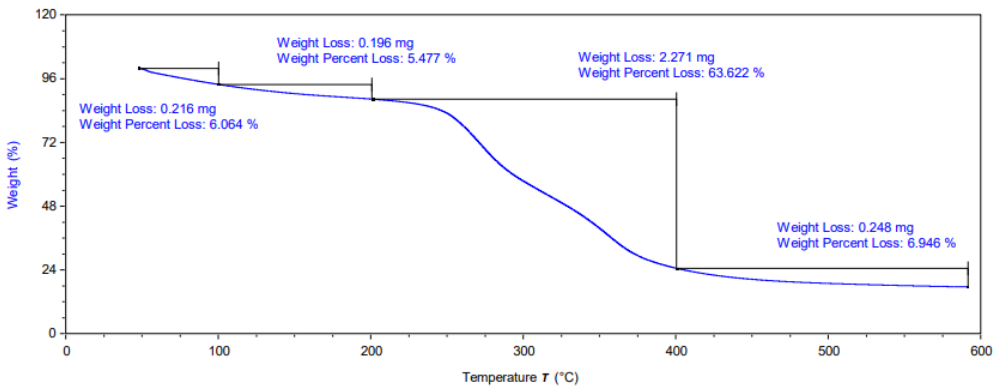
## Muestra PLL

23062021PLL



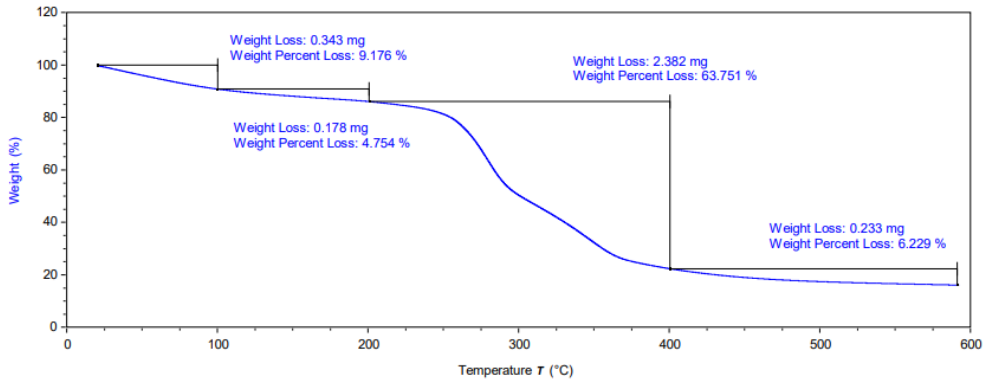
## Muestra NC

23062021NC



# Muestra BJ

23062021BJ



















**ROSA HUARACA APARCO** - Docente Investigador Renacyt. Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas, Magister en Economía (Universidad San Antonio Abad del Cusco), Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Universidad Andina del Cusco); Actualmente es Profesora Auxiliar a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**FIDELIA TAPIA TADEO** - Docente Investigador Renacyt. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Magister Scientiae (Universidad Nacional Agraria La Molina); Actualmente es Profesora Asociado a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**MARIA DEL CARMEN DELGADO LAIME** - Docente Investigador Renacyt. Bióloga, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Maestro en Desarrollo Rural (Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco), Doctora en Biología Ambiental (Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa); Actualmente es Profesora Principal a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**AYDEE KARI FERRO** - Docente Investigador RENACYT. Ingeniero Agrónomo (Universidad José Carlos Mariátegui), Magister en Gestión Pública (Universidad César Vallejo); actualmente docente auxiliar a tiempo completo de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroecología y Desarrollo Rural de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

**JUAN ALARCÓN CAMACHO** - Ingeniero Agrónomo, Universidad Tecnológica de los Andes, Magister Scientiae (Universidad Nacional Agraria La Molina); Actualmente es Profesor Asociado a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**MARGOTH MORENO HUAMAN** - Contador Público, Universidad Tecnológica de los Andes, Magister en Gestión Pública (Universidad Privada César Vallejo), Actualmente Adscrito al Departamento de ciencias contables en la Universidad Nacional José María Arguedas

**HENRRY WILFREDO AGREDA CERNA** - Licenciado en Administración, Universidad Nacional de Trujillo, Magister en Administración de la Educación (Universidad Privada César Vallejo); Actualmente es Profesor Asociado a Tiempo Completo Adscrito al Departamento Académico de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**EDWIN MESCCO CACERES** - Licenciado en Administración, Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco, Maestro en Administración y Gestión Estratégica con Mención en Gerencia De Recursos Humanos (Universidad José Carlos Mariátegui); Actualmente es Profesor Asociado a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de Administración de la Universidad Nacional José María Arguedas.

**ROSA NELIDA ASCUE RUIZ** - Licenciada en Administración, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Magister en Gestión Pública (Universidad Privada César Vallejo); Actualmente es Profesora auxiliar a Tiempo Completo Adscrito al Departamento de



Administración de la Universidad Nacional José María Arguedas.




**CELINDA ALVAREZ ARIAS** - Ingeniero Agrónomo, Universidad Tecnológica de los Andes, Maestra en Gestión Pública (Universidad Privada César Vallejo), aspirante a Doctor con mención en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Universidad Andina del Cusco); Actualmente es Profesora Auxiliar a Tiempo Completo Adscrito al Departamento Académico de Ingeniería de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

**NIKI FRANKLIN FLORES PACHECO** - Ingeniero Agrónomo, Universidad Tecnológica de los Andes; Actualmente es Profesor Auxiliar a Tiempo Completo Adscrito Departamento Académico de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroecológica y Desarrollo Rural de la Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac.

**NORA GLADYS ECHEGARAY PEÑA** - Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Maestra en Educación con Mención en Docencia y Gestión Educativa (Universidad Cesar Vallejo); Profesora Asociada a Tiempo Completo Adscrito Departamento de ingeniería informática y Sistemas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

# GERMINADO DE VARIETADES DE QUINUA

Caracterización de las propiedades nutricionales de  
snacks extruido con germinados de quinua  
(*Chenopodium quinoa* Willd)

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# GERMINADO DE VARIETADES DE QUINUA

Caracterización de las propiedades nutricionales de  
snacks extruido con germinados de quinua  
(*Chenopodium quinoa* Willd)

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)