

# **Péptidos bioactivos de chocho, quinua y amaranto: actualización crítica de su impacto en la salud humana y aplicaciones nutraceuticas**

## **Bioactive peptides from lupine, quinoa, and amaranth: a critical review of their impact on human health and nutraceutical applications**

María José BARRENO SÁNCHEZ<sup>1</sup>, Paulo Santiago BAQUERO ICAZA<sup>2</sup>, Jenny Maribel MOYA ARÍZAGA<sup>3</sup>, Kelly Estefanía VACA ULLOA<sup>4</sup>

1 Carrera de Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Ambato.

2 Escuela de Salud y Bienestar. Carrera de Medicina, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato.

3 Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Santo Domingo, Ecuador.

4 Autor Independiente.

Recibido: 30/mayo/2026. Aceptado: 8/junio/2026.

### **RESUMEN**

**Introducción:** La presente revisión sistemática analiza de forma crítica y actualizada el impacto potencial de los péptidos bioactivos derivados del chocho (*Lupinus mutabilis*), la quinua (*Chenopodium quinoa*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*) en la salud humana, así como sus aplicaciones nutraceuticas.

**Objetivo:** Actualizar la evidencia científica y los hallazgos más recientes sobre péptidos bioactivos de cultivos andinos como el chocho, quinua y amaranto, resaltando sus mecanismos de acción, beneficios potenciales, limitaciones actuales y aplicaciones nutraceuticas.

**Material y Métodos:** El estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática basada en los lineamientos PRISMA, con búsquedas entre 2025 y mayo del 2026 en bases de datos académicas como PubMed, Scopus y Google Scholar; se utilizaron términos en español e inglés. De 51 artículos identificados, se seleccionaron 20 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión definidos.

**Resultados:** Los péptidos bioactivos del chocho, quinua y amaranto evidenciaron diferentes beneficios para la salud humana, entre ellos destaca principalmente su potencial antihipertensivo, antidiabético, antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano y anticancerígeno.

**Discusión:** Los péptidos bioactivos de granos andinos revelan un alto potencial para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos. Sin embargo, su aplicación a gran escala está limitada por varios factores como la falta de estudios clínicos, la baja biodisponibilidad oral, la degradación gastrointestinal, la falta de métodos de obtención estandarizados y la necesidad de validar su seguridad y aceptación del consumidor antes de su uso comercial.

**Conclusiones:** Los péptidos bioactivos derivados del chocho, quinua y amaranto representan una alternativa prometedora para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos. La evidencia científica actualizada destaca su potencial en tratamientos preventivos ante varias enfermedades importantes; sin embargo, la falta de estudios clínicos que respalden su eficacia, dosis efectiva y seguridad es una limitación clave para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos.

### **PALABRAS CLAVE**

Péptidos bioactivos, *Lupinus mutabilis*, *Chenopodium quinoa*, *Amaranthus spp.*, nutraceuticos.

### **Correspondencia:**

María José Barreno Sánchez  
mj.barreno@uta.edu.ec

## ABSTRACT

**Introduction:** This systematic review provides a critical and up-to-date analysis of the potential impact of bioactive peptides derived from lupin (*Lupinus mutabilis*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), and amaranth (*Amaranthus spp.*) on human health, as well as their nutraceutical applications.

**Objective:** To review the latest scientific evidence and findings on bioactive peptides from Andean crops such as chocho, quinoa, and amaranth, highlighting their mechanisms of action, potential benefits, current limitations, and nutraceutical applications.

**Materials and Methods:** The study was conducted as a systematic review based on the PRISMA guidelines, with searches carried out between 2025 and may 2026 in academic databases such as PubMed, Scopus, and Google Scholar. Search terms were used in both Spanish and English. Of the 51 articles identified, 20 studies that met the defined inclusion criteria were selected.

**Results:** Bioactive peptides from lupin, quinoa, and amaranth have been shown to offer various health benefits, most notably their antihypertensive, antidiabetic, antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and anticancer properties.

**Discussion:** Bioactive peptides from Andean grains show great potential for the development of functional foods and nutraceuticals. However, their large-scale application is limited by several factors, including a lack of clinical studies, low oral bioavailability, gastrointestinal degradation, the absence of standardized extraction methods, and the need to validate their safety and consumer acceptance prior to commercial use.

**Conclusions:** Bioactive peptides derived from lupin, quinoa, and amaranth represent a promising alternative for the development of functional foods and nutraceuticals. Current scientific evidence highlights their potential for preventive treatment of several major diseases; however, the lack of clinical studies supporting their efficacy, effective dosage, and safety is a key limitation to the development of functional foods and nutraceuticals.

## KEYWORDS

Bioactive peptides, *Lupinus mutabilis*, *Chenopodium quinoa*, *Amaranthus spp.*, nutraceuticals

## INTRODUCCIÓN

Los péptidos bioactivos son secuencias cortas de aminoácidos liberadas a partir de proteínas alimentarias mediante procesos como la hidrólisis enzimática, la fermentación o la digestión gastrointestinal<sup>1,2</sup>. Una vez liberados, estos pueden ejercer efectos fisiológicos relevantes en el organismo, como actividad antioxidante, antihipertensiva, antidiabética, antimicrobiana, antiinflamatoria, prebiótica e inmunomoduladora<sup>2</sup>.

Por lo general, las investigaciones sobre este tipo de compuestos se centraban en fuentes proteicas como la leche y la soja; sin embargo, el creciente interés por alimentos más sostenibles, saludables y de origen vegetal ha impulsado la búsqueda de nuevas matrices proteicas con potencial funcional<sup>3</sup>. Es por lo que, los péptidos derivados de cultivos andinos representan una alternativa prometedora.

El amaranto (*Amaranthus spp.*), el chocho (*Lupinus mutabilis*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*) son algunos de los cultivos andinos que poseen propiedades agronómicas de gran valor nutricional, así como características funcionales que pueden servir como tratamiento y prevención para algunas enfermedades humanas<sup>4</sup>. Estas plantas que históricamente se han cultivado y consumido por comunidades indígenas y rurales, se han revalorizado como estrategias que responden al gran incremento por la salud preventiva basada en alimentos funcionales naturales, sostenibles y capaces de aportar su riqueza en proteínas y en compuestos bioactivos<sup>5</sup>.

Varios estudios recientes han demostrado que los péptidos bioactivos extraídos de estas matrices alimentarias pueden liberarse y generar secuencias capaces de modular enzimas y rutas metabólicas asociadas con la diabetes tipo 2, la hipertensión, el estrés oxidativo y la inflamación<sup>4</sup>. La evidencia disponible sugiere que pueden contribuir al control glucémico, mejorar la sensibilidad a la insulina, ejercer actividad antihipertensiva y aportar efectos antioxidantes, antimicrobianos e inmunomoduladores<sup>6</sup>. Es por lo que, estos cultivos son de gran importancia como fuentes sostenibles para el desarrollo de alimentos funcionales, suplementos orientados al control glucémico y productos nutracéuticos orientados a la prevención y manejo complementario de enfermedades crónicas.

Esta revisión sistemática busca actualizar y analizar de forma crítica la evidencia científica sobre los péptidos bioactivos derivados de plantas como el chocho, la quinua y el amaranto, considerando sus mecanismos de acción, beneficios potenciales para la prevención de enfermedades, limitaciones actuales y aplicaciones nutracéuticas en la salud humana.

## **Péptidos bioactivos de cultivos andinos y su impacto en la salud humana**

El creciente interés por las proteínas de origen vegetal surge en parte por la necesidad de buscar alternativas más sostenibles frente a la producción ganadera y al impacto ambiental asociado; esto ha impulsado a la revaloración de los cereales, legumbres y pseudocereales dentro de la alimentación humana<sup>7</sup>. En este contexto, los cultivos andinos como el chocho (*Lupinus mutabilis*), el amaranto (*Amaranthus spp.*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*) destacan por su aporte proteico, su alto valor nutricional y su potencial como fuentes de compuestos funcionales<sup>6</sup>. Aunque se conoce que las dietas basadas en plantas pueden presentar ciertas limitaciones relacionadas con ciertos aminoácidos esenciales, estas pueden

compensarse mediante la combinación de diferentes fuentes vegetales, fortaleciendo su nivel nutricional<sup>7</sup>.

Las proteínas presentes en estos cultivos pueden liberar péptidos bioactivos mediante procesos de hidrólisis enzimática, fermentación o digestión gastrointestinal<sup>8</sup>. Además, estos péptidos suelen estar formados por secuencias cortas de aminoácidos, generalmente entre 2 y 20 residuos, esta característica favorece su estabilidad durante la digestión, a su interacción con dianas moleculares y a su posible absorción celular<sup>2,9</sup>. Por lo tanto, su actividad funcional depende principalmente de la secuencia, longitud, peso molecular y composición de aminoácidos, ya que estos factores determinan su capacidad de unión con enzimas receptoras o rutas metabólicas específicas dentro del organismo.

Desde el punto de vista de la salud humana, los péptidos bioactivos derivados de cultivos andinos han sido asociados en diversos estudios con actividades antioxidantes, antihipertensivas, antiinflamatorias, antimicrobianas y reguladoras de metabolismo<sup>5</sup>. Incluso, algunos péptidos cortos como dipéptidos y tripéptidos pueden presentar actividad inhibitoria sobre la enzima convertidora de angiotensina relacionada con la regulación de la presión arterial<sup>9</sup>. Asimismo, en estudios asociados a la quinoa y amaranto, se han reportado péptidos con potencial para inhibir enzimas vinculadas al metabolismo de la glucosa, como la dipeptidil peptidasa-IV (DPP-IV), lo que refuerza su interés en la prevención y manejo complementario de enfermedades como la diabetes tipo 2, la hipertensión y los trastornos asociados al estrés oxidativo<sup>6</sup>.

### **Aplicaciones nutraceuticas y desafíos actuales para su validación científica**

La incorporación de cultivos andinos en productos alimenticios modernos se encuentra en constante crecimiento, esto debido al perfil nutricional de estos alimentos, así como su riqueza proteica y su potencial como fuentes de compuestos bioactivos<sup>5</sup>. Estos granos pueden ser utilizados en la formulación de panes, pastas, harinas, bebidas, cereales, productos extruidos, suplementos y alimentos funcionales orientados a consumidores que buscan opciones saludables y más sostenibles<sup>10</sup>. En particular, el amaranto y la quinoa destacan por su contenido de proteínas, fibra, aminoácidos esenciales y metabolitos funcionales<sup>4</sup>, mientras que el chocho representa una fuente vegetal atractiva por su alto contenido de proteínas y lípidos<sup>11</sup>, especialmente dirigidos a la producción de productos que benefician a personas con riesgo metabólico o deficiencia nutricional.

No obstante, uno de los más importantes retos para la aplicación nutraceutica es determinar si los beneficios nutricionales y funcionales de los péptidos bioactivos se mantienen después del procesamiento industrial<sup>12</sup>. Técnicas como el horneado, la extrusión, la fermentación, la germinación, el remojo o el desamargado pueden modificar la composición quí-

mica, la biodisponibilidad de nutrientes y la generación o pérdida de compuestos bioactivos<sup>11</sup>.

En el caso del chocho, el desamargado es necesario para reducir alcaloides, pero puede afectar de forma parcial su capacidad antioxidante. Por otro lado, procesos como la germinación y la fermentación pueden mejorar la disponibilidad de minerales, reducir factores antinutricionales y favorecer la liberación de péptidos con actividad funcional<sup>11</sup>. Esta evidencia demuestra que el procesamiento no solo debe garantizar la seguridad de los alimentos funcionales, sino que también debe preservar y/o potenciar la bioactividad del producto final.

A pesar de los avances reportados, la validación científica de estas aplicaciones aun presenta ciertas limitaciones importantes. Muchos beneficios atribuidos a los péptidos bioactivos de cultivos andinos provienen de estudios composicionales, *in vitro* o *in silico*, por lo que aún se requiere realizar investigaciones *in vivo* y ensayos clínicos que confirmen la biodisponibilidad, dosis efectiva, estabilidad y efectos fisiológicos reales en el organismo humano<sup>10</sup>. Además, existen brechas en la caracterización proteómica y fisicoquímica de los péptidos generados durante el procesamiento, así como en la estandarización de métodos de hidrólisis y evaluación funcional<sup>12</sup>. Es por lo que, aunque el chocho, la quinoa y el amaranto representen una alternativa prometedora para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos, su aprovechamiento aún depende de los desafíos tecnológicos, clínicos y regulatorios que permitan transformar su potencial bioactivo en aplicaciones efectivas para la salud humana.

### **OBJETIVO**

Actualizar la evidencia científica y los hallazgos más recientes sobre péptidos bioactivos de cultivos andinos como el chocho, quinoa y amaranto, resaltando sus mecanismos de acción, beneficios potenciales, limitaciones actuales y aplicaciones nutraceuticas.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se desarrolló bajo el enfoque de una revisión sistemática narrativa, guiada por los lineamientos metodológicos del modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). El objetivo fue identificar, seleccionar, analizar y sintetizar críticamente la evidencia científica reciente sobre los péptidos bioactivos derivados del chocho (*Lupinus mutabilis*), la quinoa (*Chenopodium quinoa*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*), poniendo énfasis en sus mecanismos de acción, beneficios potenciales para la salud humana, limitaciones actuales y aplicaciones nutraceuticas. A diferencia de las revisiones previas, esta actualización incorporó un enfoque crítico orientado a la caracterización de los péptidos, la biodisponibilidad, la seguridad y la aplicación posible en alimentos funcionales o productos nutraceuticos.

## Estrategia de búsqueda

La recolección de información se realizó entre enero de 2025 y mayo de 2026, mediante búsquedas bibliográficas en bases de datos académicas reconocidas incluyendo PubMed, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Frontiers, SciELO y Google Scholar. La búsqueda se orientó a publicaciones científicas relacionadas con péptidos bioactivos vegetales, cultivos andinos, alimentos funcionales y nutraceuticos. Se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español, aplicando operadores booleanos, tales como: "*bioactive peptides*" AND ("*quinoa*" OR "*amaranth*" OR "*lupinus mutabilis*") y "*bioactive peptides*" AND "*functional foods*"; "*péptidos bioactivos*" AND ("*chocho*" OR "*quinua*" OR "*amaranto*"), y "*péptidos bioactivos*" AND "*salud humana*" AND "*nutraceuticos*", entre otros. Adicionalmente, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos clave con la finalidad de identificar posibles estudios complementarios para cubrir de forma más amplia esta investigación.

## Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios publicados en inglés o español, revisados por pares, que abordaran de manera específica los péptidos bioactivos derivados del chocho, la quinua, el amaranto u otros cultivos andinos relacionados. Se tomaron en cuenta artículos originales, revisiones científicas, estudios *in vitro*, *in vivo*, como *in silico* y documentos que analizaran los efectos biológicos, así como mecanismos de acción, biodis-

ponibilidad, seguridad o aplicaciones nutraceuticas. Se excluyeron publicaciones sin acceso completo, duplicados, tesis de grado, documentos sin revisión científica, así como investigaciones que no presentaban información clara sobre el método de obtención del compuesto bioactivo o su actividad funcional evaluada.

## Selección y análisis

A partir de la búsqueda inicial, se identificaron 51 artículos potencialmente relevantes. Posteriormente, se realizó una depuración aplicando los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Por lo tanto, solo 20 estudios cumplieron con los criterios establecidos y fueron seleccionados para el análisis cualitativo. La información extraída se organizó por tipo de muestra, método de obtención de péptidos, actividad bioactiva reportada, mecanismo de acción, modelo experimental, principales resultados y su aplicación potencial en alimentos funcionales y nutraceuticos.

## Síntesis temática

Los hallazgos fueron organizados en seis ejes temáticos principales:

- (1) Métodos de obtención y caracterización de péptidos bioactivos.
- (2) Propiedades funcionales y actividades biológicas reportadas.

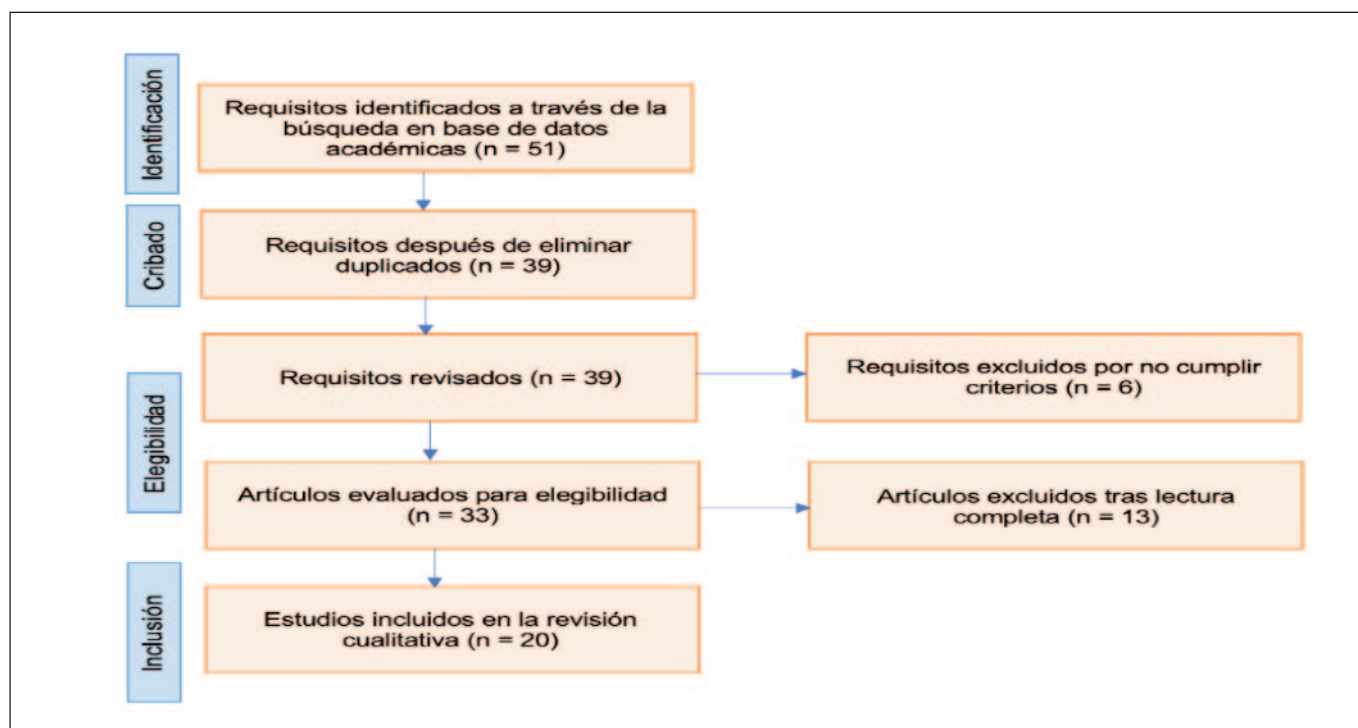


**Figura 1.** Diagrama PRISMA del proceso de selección de estudios incluidos en la revisión

- (3) Mecanismos moleculares de acción asociados a la salud humana.
- (4) Nivel de evidencia según modelos *in silico*, *in vitro*, *in vivo* y clínicos.
- (5) Biodisponibilidad y seguridad de los péptidos bioactivos.
- (6) Aplicaciones nutraceuticas y oportunidades de desarrollo en alimentos funcionales.

Por medio de esta organización se logró comparar los avances recientes e identificar las principales brechas de investigación, especialmente en las limitaciones, falta de estudios, la heterogeneidad metodológica y la posible necesidad de validar la estabilidad de los péptidos bioactivos en matrices alimentarias reales. Esta revisión no solo busca describir el potencial funcional de los péptidos bioactivos derivados de ciertos cultivos andinos, sino que también busca valorar críticamente la solidez de la evidencia disponible hasta la actualidad, así como los desafíos que se deben superar para su aplicación real en productos nutraceuticos orientados a la salud humana.

## RESULTADOS

### **Actividades biológicas de los péptidos bioactivos de cultivos andinos**

#### Actividad antihipertensiva y salud cardiovascular

La actividad antihipertensiva de los péptidos bioactivos derivados de cultivos andinos se ha relacionado principalmente con su capacidad para inhibir la enzima convertidora de angiotensina I (ECA), una enzima clave en la regulación de la presión arterial. La ECA participa en la conversión de angiotensina I en angiotensina II, un potente vasoconstrictor<sup>13</sup>; además, contribuye a la degradación de la bradicinina, que es una molécula con efecto vasodilatador<sup>14</sup>. Es por lo que su inhibición representa una estrategia importante para el control de la hipertensión. En este contexto, los hidrolizados proteicos de chocho, quinoa y amaranto han mostrado resultados prometedores, especialmente cuando las proteínas son sometidas a hidrólisis enzimática o fermentación; estos procesos permiten liberar secuencias peptídicas de menor peso molecular, pero con mayor accesibilidad a dianas biológicas<sup>6,14</sup>.

En el caso del chocho (*Lupinus mutabilis*), se ha reportado que los hidrolizados de la fracción de albúmina presentan capacidad inhibitoria de la ECA, con un valor de Concentración inhibitoria media (CI50) de 179,6 µg/mL, lo que evidencia su potencial como fuente de péptidos con posible efecto antihipertensivo. Además, se ha observado que la hidrólisis mejora significativamente la bioactividad de sus proteínas, como ocurre con la inhibición de DPP-IV, donde la proteína no hidrolizada presentó una CI50 de 1207,9 µg/mL, mientras que después de la hidrólisis este valor disminuyó a 171,3 µg/mL,

indicando mayor potencia funcional tras el proceso enzimático<sup>15</sup>. Estos hallazgos refuerzan la importancia de los métodos de hidrólisis para potenciar la liberación de péptidos bioactivos y mejorar su posible aplicación en estrategias nutraceuticas orientadas a la salud cardiovascular y metabólica.

En otros estudios, la quinoa y el amaranto también han demostrado evidencia relevante en este campo; especialmente la quinoa en estudios *in vitro* ha presentado efectos antihipertensivos, además de propiedades antioxidantes, antitumorales y moduladoras de la microbiota intestinal<sup>16</sup>. Los procesos de fermentación e hidrólisis parecen mejorar las propiedades de estos granos, debido a la generación de péptidos de menor peso molecular, mayor solubilidad y mejor accesibilidad de las cadenas laterales de aminoácidos involucradas en reacciones bioactivas<sup>17</sup>. Por otra parte, en el amaranto tanto la hidrólisis enzimática como la fermentación han permitido obtener péptidos con fuerte actividad inhibitoria de la ECA<sup>16</sup>. En otro estudio se identificaron 125 péptidos nuevos en hidrolizados de amaranto, de los cuales 10 mostraron potencial inhibidor de la ECA; por otra parte, la fermentación realizada con el microorganismo *Enterococcus faecium* cepa LR9 permitió obtener secuencias como IFQFPKTY y VIKPPSRAW, asociadas con efectos antihipertensivos relevantes<sup>18</sup>. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia del amaranto como una de las fuentes más prometedoras de péptidos bioactivos para aplicaciones nutraceuticas dirigidas al control de la presión arterial y la prevención cardiovascular<sup>14</sup>.

#### Actividad antidiabética y regulación metabólica

Las terapias farmacológicas dirigidas al tratamiento de la diabetes tipo 2 (DM2) son efectivas, pero pueden asociarse a efectos secundarios, por ello se ha impulsado la búsqueda de alternativas complementarias basadas en compuestos bioactivos<sup>19</sup>. En este contexto, diversos estudios han destacado la capacidad de los péptidos bioactivos para modular procesos relacionados con el metabolismo de la glucosa, como la DPP-IV, la α-glucosidasa y la α-amilasa<sup>14</sup>. Estas enzimas participan en procesos asociados a la digestión de carbohidratos, la respuesta glucémica posprandial y la regulación de incretinas, por lo que su inhibición representa una estrategia de interés para el manejo de la diabetes<sup>14,19</sup>.

En la investigación de (4), la proteína de amaranto hidrolizada con bromelina mostró una mayor capacidad anti-α-glucosidasa y anti-DPP-IV; además, los péptidos FPFPTLGY y FPFPR mostraron capacidad de unión a sitios funcionales de α-glucosidasa y DPP-IV respectivamente, lo cual respalda el interés por los péptidos bioactivos del amaranto como una alternativa más saludable que los fármacos antidiabéticos convencionales.

La quinoa también ha sido ampliamente estudiada por su potencial en la regulación metabólica. Los hidrolizados de quinoa obtenidos mediante enzimólisis *in vitro* han evidenciado una

importante capacidad antidiabética, atribuida principalmente a la inhibición de enzimas digestivas relacionadas con la absorción de la glucosa<sup>4,6</sup>. En particular, el estudio de la quinua roja ha destacado por su potencial inhibidor frente a la  $\alpha$ -glucosidasa, así como su efecto en el retraso de la digestión del almidón y la reducción de la glucosa posprandial en modelos experimentales (dosis de 50 mg/kg)<sup>12</sup>. Estos hallazgos sugieren que la quinua podría actuar como ingrediente en productos funcionales dirigidos al control de la respuesta glucémica.

Por otro lado, se ha planteado que los efectos metabólicos de la quinua podrían estar mediados parcialmente por la microbiota intestinal, debido al enriquecimiento selectivo de géneros bacterianos como *Faecalibaculum*, asociado con el mejoramiento del metabolismo de la glucosa en modelos diabéticos<sup>17</sup>. En el caso del chocho (*Lupinus mutabilis*), los estudios sugieren un efecto benéfico sobre parámetros glucémicos y lipídicos; el consumo de chocho crudo ha sido evaluado en sujetos normoglucémicos y disglucémicos, mostrando que podría representar una alternativa alimentaria factible y de bajo costo para apoyar el manejo de estados hiperglucémicos crónicos<sup>5</sup>.

Otros estudios reportados indican que tanto el consumo de chocho cocido como de sus alcaloides purificados contribuye a disminuir los niveles de glucosa e insulina en sangre, sin reportarse efectos secundarios en los voluntarios evaluados. Además, en sujetos hipercolesterolémicos, la proteína de chocho ha mostrado capacidad para modular de manera beneficiosa la lipoproteína de baja densidad (LDL) plasmática a corto plazo<sup>5</sup>.

### **Actividad antioxidante, antiinflamatoria e inmunomoduladora**

Los péptidos bioactivos derivados de la quinua han demostrado un potencial relevante en la modulación de procesos inflamatorios y oxidativos asociados con enfermedades crónicas<sup>6,17</sup>. Diversos estudios señalan que algunos péptidos de la quinua pueden regular la vía factor nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B) en células endoteliales humanas, lo cual representa una ruta clave en la respuesta inflamatoria; especialmente la lunasina ha sido relacionada con la inhibición de mediadores como óxido nítrico, Interleucina 6 (IL-6) y Factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), mientras que la quenopodina ha demostrado capacidad para reducir la actividad de NF- $\kappa$ B e Interleucina 8 (IL-8), protegiendo a células de cáncer de colon 2 (Caco-2) frente a estímulos inflamatorios<sup>4</sup>. Estos hallazgos junto con la reducción de IL-6 observada tras el consumo de quinua y el aumento de la capacidad antioxidante en harina de quinua fermentada con *Lactobacillus plantarum* T0A10<sup>17</sup>, respaldan el potencial nutracéutico de la quinua frente a enfermedades crónicas asociadas al estrés oxidativo y a la inflamación.

En el caso del amaranto, se destaca tanto su capacidad antioxidante como su acción antiinflamatoria; estudios en

ratas han demostrado que el consumo del grano de amaranto en diferentes dosis puede incrementar la actividad de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa, además de reducir los niveles de malondialdehído y aumentar la capacidad reductora férrica del plasma, lo que indica una disminución del estrés oxidativo<sup>20</sup>. Esta actividad antioxidante y antiinflamatoria se debe a su composición fisicoquímica, rica en tocoferoles, polifenoles, vitaminas y escualeno<sup>5</sup>. No obstante, su actividad también va a depender del tipo de procesamiento, por ejemplo, el tostado ha demostrado mayor contenido fenólico total y mejor capacidad antioxidante que el hervido. Desde el punto de vista antiinflamatorio, compuestos como quercetina, rutina, apigenina y escualeno podrían inhibir enzimas cciclooxigenasas (COX) y lipooxigenasas LOX, reduciendo la producción de prostaglandinas y leucotrienos. De igual manera, hidrolizados de amaranto han demostrado inhibir la activación inflamatoria de células Caco-2 mediante la reducción de la vía NF- $\kappa$ B, lo que sugiere su posible utilidad en trastornos inflamatorios intestinales<sup>14</sup>.

Con respecto al chocho y otras especies de *Lupinus*, la hidrólisis enzimática ha sido ampliamente utilizada para potenciar su actividad antioxidante. Hidrolizados obtenidos con enzimas como pepsina, pancreatina y flavorzima han demostrado capacidad para neutralizar radicales libres y quelar metales; este efecto se relaciona con la presencia de péptidos, polifenoles y otros compuestos bioactivos capaces de contrarrestar el estrés oxidativo<sup>5,11</sup>. Los procesos de fermentación han demostrado que pueden incrementar su potencia antioxidante, mientras que estrategias como la encapsulación podrían mejorar la estabilidad de los péptidos para aplicaciones funcionales<sup>5</sup>.

### **Actividad antimicrobiana y anticancerígena**

Estudios recientes han señalado el potencial antimicrobiano de los péptidos bioactivos derivados de cultivos andinos, especialmente de la quinua, el amaranto y el chocho. En el caso de la quinua, los hidrolizados proteicos obtenidos mediante tratamiento enzimático han demostrado capacidad para inhibir bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, incluyendo *Streptococcus pyogenes* y *Escherichia coli*, con zonas de inhibición comparables a las obtenidas con gentamicina en modelos experimentales<sup>5</sup>. Además, mediante estudios in silico, se han identificado secuencias peptídicas como AGKTSVWKAL, TKRSKL, EQGRGSSQCRRQL y MAKSTTTL, asociadas con actividad antimicrobiana frente a *Helicobacter pylori*, el cual se encuentra relacionado con úlceras pépticas y trastornos gastro-duodenales<sup>6</sup>. Estos resultados apuntan a que los péptidos de quinua podrían tener aplicaciones futuras en alimentos funcionales o como estrategias complementarias para el control de microorganismos patógenos.

El chocho también cuenta con potencial antimicrobiano, el cual se ha vinculado con sus hidrolizados, alcaloides, proteí-

nas, péptidos y otros compuestos bioactivos del grano. Sin embargo, cabe recalcar que algunos extractos de chocho no han mostrado una actividad antibacteriana directa contra bacterias como *E. coli* y *Klebsiella pneumoniae*, pero si se ha reportado una reducción en la adhesión bacteriana a células epiteliales de vejiga y la inhibición de biopelículas de *E. coli*. Este efecto resulta relevante, especialmente en el contexto de infecciones del tracto urinario, cuya frecuencia puede incrementarse en pacientes con diabetes<sup>5</sup>. Es por lo que, el chocho podría explorarse como ingrediente funcional o como suplemento dietético, aunque se requieren más estudios para confirmar su eficacia y seguridad en humanos.

Con respecto a la actividad anticancerígena, los estudios disponibles muestran resultados prometedores, aunque todavía son preclínicos. En quinoa, péptidos como FHPFPR y NWFPLPR han sido asociados con la inhibición de la histona deacetilasa 1, la cual podría favorecer a la apoptosis en células de cáncer de colon mediante la reducción de genes relacionados con la supervivencia tumoral como NFκB y Bcl-2<sup>5</sup>. En amaranto se ha reportado que hidrolizados pueden inhibir el crecimiento de células de cáncer de mama tipo MD. Anderson 231 (MDA-MB-231), mientras que péptidos de peso molecular superior a 5 kilodaltons (kDa) han mostrado actividad antiproliferativa frente a células de cáncer de colon<sup>4</sup>. De igual manera, estudios sobre el género *Amaranthus* han mostrado actividad anticancerígena frente a cánceres de mama, hepatocelular, de próstata y colorectal; esta actividad se atribuye a la presencia de glucósidos, compuestos fenólicos y terpenoides<sup>5</sup>. El género *Lupinus* ha evidenciado efectos citotóxicos selectivos en líneas celulares de cáncer de próstata, piel, hígado y colon, mediante mecanismos como la inducción de apoptosis y modulación de enzimas relacionadas con el cáncer<sup>5</sup>. Sin embargo, aunque estos hallazgos respaldan el interés de los cultivos andinos como fuentes de compuestos con potencial antimicrobiano y anticancerígeno, su aplicación clínica aún requiere validación mediante estudios in vivo, evaluación de dosis, biodisponibilidad y ensayos clínicos controlados.

### **Métodos de obtención, procesamiento y caracterización de péptidos bioactivos**

Los péptidos bioactivos derivado de alimentos pueden obtenerse mediante diferentes estrategias, entre ellas la hidrólisis enzimática, la fermentación microbiana y en menor medida la hidrólisis química. En cultivos andinos como la quinoa, el amaranto y el chocho, la obtención de péptidos bioactivos se ha convertido en un campo de investigación en crecimiento acelerado, debido a sus beneficios potenciales, como su actividad antioxidante, antihipertensiva, antimicrobiana e inmunoreguladora<sup>6</sup>. Por ejemplo, en estudios bioquímicos con quinoa y amaranto, se ha reportado la generación de péptidos mediante hidrólisis enzimática controlada con alcalasa y pepsina, observándose la inhibición de la ECA superior al 60% bajo condiciones simuladas de digestión gastrointestinal<sup>13</sup>.

El procesamiento tecnológico de las harinas y proteínas andinas cumple un papel decisivo en la conservación o potenciación de su funcionalidad. Técnicas como: extrusión térmica, la micronización, la molienda criogénica, el plasma frío y el procesamiento por alta presión permiten modificar las propiedades físicas, nutricionales y tecnofuncionales de estas matrices alimenticias. En productos extruidos a base de quinoa y amaranto se ha observado una mejora en la digestibilidad proteica y una reducción de compuestos antinutricionales; además, el uso de harina de quinoa extruida en panificación sin gluten ha incrementado el contenido de proteína, fibra dietética y cenizas, mejorando también las propiedades como la cohesión, elasticidad y consistencia de la miga<sup>7,11</sup>. De manera similar, el procesamiento por alta presión puede aumentar la solubilidad de aislados proteicos de quinoa y favorecer las propiedades adaptadas para aplicaciones alimentarias<sup>7</sup>, mientras que en proteínas de amaranto puede promover la formación de películas con mejores características mecánicas y de barrera<sup>14</sup>.

La fermentación microbiana representa otra estrategia importante para la liberación dirigida de péptidos bioactivos en legumbres y pseudocereales. Este proceso depende de variables como el microorganismo empleado, el pH, la temperatura, el tiempo de fermentación, entre otros. Aunque las fermentaciones prolongadas pueden aumentar la diversidad y potencia de los péptidos, también existe el riesgo de hidrólisis excesiva, variabilidad entre lotes y necesidad de control microbiológico estricto<sup>2</sup>. En granos andinos como la quinoa y el amaranto, la fermentación enzimática con proteasas microbianas e hidrolasas específicas favorece la degradación de proteínas de almacenamiento y liberación de péptidos de bajo peso molecular con posibles propiedades antioxidantes, antihipertensivas e inmunomoduladoras<sup>12</sup>.

La caracterización de los péptidos bioactivos de los granos andinos es primordial para comprender su funcionalidad. La longitud, peso molecular, la secuencia de aminoácidos y las posibles modificaciones postraduccionales influyen directamente en la biodisponibilidad, estabilidad e interacción con dianas moleculares<sup>5</sup>. Es por lo que se emplean técnicas como electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE), cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), cromatografía de intercambio iónico, diálisis y precipitación con sulfato de amonio, que permiten aislar y analizar fracciones peptídicas con propiedades específicas. En el caso de la quinoa se ha confirmado mediante SDS-PAGE y LC-MS la generación de péptidos bioactivos a partir de fracciones proteicas enriquecidas, que además de incrementar los niveles de aminoácidos mediante la hidrólisis, también se mejoran las propiedades nutricionales y funcionales de los péptidos resultantes<sup>5</sup>.

No obstante, la aplicación de estos péptidos en alimentos funcionales enfrenta ciertos retos, uno de los principales desafíos es su baja disponibilidad oral, ya que muchos péptidos

pueden degradarse por enzimas gastrointestinales antes de llegar íntegros a los tejidos diana. Es por lo que se han propuesto estrategias como la microencapsulación con biopolímeros naturales, el uso de transportadores entéricos, nanopartículas lipídicas y sistemas de liberación controlada para proteger la estructura peptídica y mejorar su absorción intestinal<sup>13,14</sup>. Otro desafío relevante se relaciona con el chocho, que requiere de un proceso de desamargado para reducir alcaloides y garantizar la seguridad alimentaria; sin embargo, este proceso puede modificar la composición del grano; por lo que los procesos deben optimizarse para equilibrar inocuidad, conservación proteica y funcionalidad bioactiva<sup>11</sup>. En conjunto, estas tecnologías muestran que el aprovechamiento de péptidos bioactivos de cultivos andinos requiere integrar métodos de obtención, procesamiento seguro, caracterización avanzada y estrategias de protección que permitan trasladar su potencial biológico hacia aplicaciones reales en salud y nutrición funcional.

## DISCUSIÓN

### **Aplicaciones nutraceuticas y alimentos funcionales**

Los cereales y pseudocereales ancestrales han adquirido creciente relevancia en el desarrollo de alimentos funcionales debido a su valor cultural, agronómico, nutricional y bioactivo. La evidencia reciente destaca que granos como la quinua, el amaranto y el chocho pueden contribuir a la salud cardiovascular, la regulación glucémica, la función inmunológica y el manejo complementario de enfermedades crónicas como la diabetes, la obesidad, el síndrome metabólico y las deficiencias de micronutrientes. Además, la creciente demanda de alimentos de origen vegetal, con etiquetas limpias y beneficios para la salud, ha impulsado la incorporación de estos cultivos en nuevas formulaciones alimentarias<sup>10</sup>. La quinua y el amaranto resultan especialmente atractivos por ser alternativas libres de gluten, ricas en proteínas, fibra y compuestos bioactivos, lo que fortalece su aplicabilidad como ingredientes funcionales para consumidores que buscan productos saludables y sostenibles<sup>4,12</sup>.

Actualmente existen varias aplicaciones para esta clase de cultivos, especialmente porque los granos andinos participan como ingredientes principales en diferentes categorías de alimentos, incluyendo productos de panadería, pastas, cereales, granolas, barras energéticas, bebidas vegetales, yogures fermentados, quesos y equivalentes de carne. En productos sin gluten, los granos andinos aportan estructura, elasticidad parcial y un perfil nutricional superior al de cereales convencionales<sup>12</sup>. La harina de quinua hiperproteica, por ejemplo, ha sido utilizada en pastas y cereales con texturas adecuadas, tiempos de cocción óptimos y buena estabilidad durante el almacenamiento. Asimismo, las mezclas de pseudocereales en galletas, barras funcionales y productos extruidos han mostrado aceptación sensorial favorable y

mejoras nutricionales, lo que confirma su potencial para el diseño de alimentos saludables, prácticos y atractivos para el mercado actual<sup>7</sup>.

Por otra parte, bebidas de alto contenido proteico elaboradas a partir de amaranto han mostrado estructuras funcionales estables durante la digestión gastrointestinal simulada y capacidad para liberar péptidos con potencial actividad antihipertensiva, reforzando su valor como alimentos funcionales de origen vegetal<sup>14</sup>. Desde el punto de vista nutraceutico, una ventaja relevante de los péptidos derivados de alimentos es su origen natural y su mayor aceptabilidad para ser incorporados en matrices alimentarias de consumo cotidiano, como bebidas proteicas, cápsulas, barras funcionales o productos fermentados enriquecidos<sup>13</sup>.

La fermentación también se presenta como una estrategia especialmente prometedora para el desarrollo de alimentos funcionales a partir de cultivos andinos<sup>12</sup>. Este método es sostenible, de bajo costo y compatible con la tendencia de productos naturales y de etiquetas limpias. Además de enriquecer harinas integrales y alimentos fermentados con compuestos funcionales, la fermentación puede mejorar la digestibilidad, reducir factores antinutricionales y favorecer el desarrollo de atributos sensoriales positivos<sup>2</sup>. No obstante, para avanzar hacia aplicaciones comerciales efectivas, tecnologías como la microencapsulación podrían ser clave para proteger los péptidos durante el tránsito gastrointestinal, mejorar su biodisponibilidad y permitir una liberación dirigida a nivel intestinal o hepático<sup>1,14</sup>.

Finalmente, para sintetizar los principales hallazgos de la revisión, la Tabla 1 resume la relación entre el tipo de grano andino estudiado, los mecanismos de acción identificados, los beneficios potenciales para la salud humana y sus posibles aplicaciones nutraceuticas. Esta organización permite comparar de forma integrada el aporte funcional del chocho, la quinua y el amaranto, destacando su participación en procesos como la regulación glucémica, la inhibición de la ECA, la modulación inflamatoria, la actividad antioxidante y el desarrollo de alimentos funcionales o suplementos orientados a la prevención y manejo complementario de enfermedades crónicas.

## LIMITACIONES

A pesar de que los péptidos bioactivos de cultivos andinos han llamado la atención de varias industrias, aún existen limitantes para su producción y uso a gran escala. Una de las principales limitaciones es que la evidencia científica sobre péptidos bioactivos aún se centra en fuentes como soya, maíz, pescado o moluscos, mientras que los cultivos andinos como el chocho, la quinua y el amaranto siguen siendo menos estudiados. Por ende, la estandarización en los métodos de extracción, hidrólisis, fermentación, purificación y caracterización no está totalmente definida, lo que dificulta comparar resulta-

**Tabla 1.** Péptidos bioactivos de chocho, quinoa y amaranto

| Fuente                   | Mecanismo de Acción o Propiedades                                                                                         | Beneficios para la Salud Humana                                                                                                                                                                                        | Aplicaciones Nutracéuticas                                                               | Estudio |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Chocho                   | Actividad antidiabética, antiinflamatoria y moduladora del metabolismo de la glucosa                                      | Previene infecciones urinarias, modulan citoquinas e inhiben las moléculas inflamatorias, tienen efectos anticancerígenos, alteran membras bacterianas induciendo la apoptosis selectiva                               | Extractos, microencapsulados, harinas enriquecidas, bebidas                              | 1,5,15  |
| Quinoa                   | Actividad antioxidante, antihipertensiva, antihipercolesterolemica y antidiabética                                        | Intervienen en la modulación del estrés oxidativo de las células, control de la hipertensión y otras enfermedades crónicas                                                                                             | Harinas enriquecidas, proteínas en polvo, encapsulados                                   | 1,2,16  |
| Amaranto                 | Actividad antiinflamatoria, antihipertensiva y antitrombótica                                                             | Reduce el estrés oxidativo, actúa como anticancerígeno contra cánceres de mama, próstata y colorrectal                                                                                                                 | Harinas enriquecidas, proteínas en polvo, aceites                                        | 1,2,5   |
| Chocho y Amaranto        | Actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antihipertensiva, reductora del colesterol                                    | Ejerce beneficios para la salud metabólica, cardio-metabólica, la defensa antioxidante y la modulación de la microbiota intestinal                                                                                     | Productos horneados sin gluten, panes, harinas enriquecidas, alternativas lácteas        | 11      |
| Quinoa y Amaranto        | Actividad antioxidante, antihipertensiva, antibacteriana                                                                  | Suprime el desarrollo de bacterias como <i>S. pyogenes</i> y <i>E. coli</i>                                                                                                                                            | Suplementos, harinas enriquecidas, barras proteicas suplementadas                        | 4,6     |
| Chocho, Quinoa, Amaranto | Actúan como agentes antihipertensivos naturales, antiinflamatorios, antimicrobianos, inmunoreguladores y vasodilatadores. | Actúan como inhibidores competitivos impidiendo el acceso de la angiotensina I al centro catalítico ECA, inhiben bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, neutralizan radicales libres y reducen el estrés oxidativo | Bebidas fermentadas, yogures enriquecidos, barras proteicas, sopas, suplementos en polvo | 5,13    |

Tabla elaborada por los autores con base en los resultados de la revisión.

dos, replicar estudios, establecer perfiles peptídicos y dosis efectivas aplicables a contextos clínicos.

Otra limitación relevante es la baja biodisponibilidad oral de muchos péptidos bioactivos, lo cual representa un problema importante ya que estos péptidos pueden degradarse durante la digestión por enzimas específicas como pepsina, tripsina y quimotripsina antes de llegar a tejidos diana. A esto se suma la variabilidad de respuesta de cada persona que puede estar influida por factores como el perfil genético, el estado inflamatorio, la epigenética nutricional y la composición de la microbiota intestinal; lo que dificulta cada vez más la estandarización de protocolos.

Finalmente, es necesario mencionar los desafíos tecnológicos, regulatorios y clínicos para su aplicación real en alimentos funcionales y nutracéuticos. Para poder alcanzar el escalado industrial, se requiere optimizar los procesos de obtención como la hidrólisis, la purificación, la encapsulación, la estabilidad durante el almacenamiento y el procesamiento. Además, se deben considerar las propiedades sensoriales como el sabor amargo de algunos hidrolizados como el chocho.

## CONCLUSIONES

La evidencia analizada demuestra que los péptidos bioactivos derivados del chocho, la quinoa y el amaranto representan una fuente prometedora de compuestos funcionales con impacto potencial en la salud humana. Estos cultivos andinos, además de su valor nutricional, cultural y sostenible, poseen matrices proteicas capaces de liberar péptidos con actividades antihipertensivas, antidiabéticas, antioxidantes, antiinflamatorias, inmunomoduladoras, antimicrobianas y anticancerígenas. Entre los mecanismos más relevantes destacan la inhibición de la ECA, DPP-IV,  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa, la modulación de rutas inflamatorias como NF- $\kappa$ B, la reducción del estrés oxidativo y la interacción con la microbiota intestinal. Los resultados de los estudios actualizados mencionados respaldan el interés por utilizar estos granos como ingredientes estratégicos para el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos enfocados en la prevención y manejo complementario de enfermedades crónicas como hipertensión, diabetes tipo 2, obesidad e inflamación crónica y algunos tipos de cáncer.

Sin embargo, aunque existen hallazgos alentadores, la aplicación a gran escala de estos péptidos aún requiere superar desafíos importantes, especialmente porque la mayoría de estudios disponibles se encuentran en fases *in vitro*, *in silico* o en modelos animales. Además, aún no se cuenta con análisis que determinen la biodisponibilidad oral, estabilidad gastrointestinal, dosis efectiva, seguridad, estandarización de métodos de obtención y escalado industrial. Por ello, futuras investigaciones deberán integrar caracterización proteómica avanzada, tecnologías de protección como microencapsulación, ensayos clínicos controlados y estudios de aceptación sensorial y cumplimiento regulatorio. De esta manera, el potencial de los cultivos andinos podría transformarse en soluciones nutraceuticas sostenibles, científicamente validadas y culturalmente vinculadas a la biodiversidad alimentaria latinoamericana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato, por el financiamiento otorgado a través del proyecto titulado: "Revalorización de alimentos andinos a través de la bio-prospección de péptidos bioactivos obtenidos tras su fermentación".

## REFERENCIAS

- Barreno Sánchez MJ, Chimborazo Constante KJ, Cabezas Ramos BD, Guilcapi Baldeon BB. Efectos hepatoprotectores de péptidos bioactivos derivados de alimentos andinos: una revisión sistemática de mecanismos, fuentes y perspectivas clínicas. *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales*. 2025 Jun 30;4(2):1391–412. doi:10.70577/reg.v4i2.151
- Martocchia M, Disca V, Jaouhari Y, Bordiga M, Coisson JD. Recent Approaches for Bioactive Peptides Production from Pulses and Pseudocereals. *Molecules* 2025, Vol 30, Page 4304. 2025 Nov 5;30(21):4304. doi:10.3390/MOLECULES30214304 PubMed PMID: 41226263.
- Nosworthy MG, Yu B, Zaharia LI, Medina G, Patterson N. Pulse protein quality and derived bioactive peptides. *Front Plant Sci*. 2025 Feb 11;16:1429225. doi:10.3389/FPLS.2025.1429225/TEXT
- Hernández-Pérez T, Paredes-López O. Ancient Latin-American food crops: An overview of their nutraceutical and antiobesity peptides. *Food Science and Technology International*. 2025 Jun 1. doi:10.1177/10820132251319934;WEBSITE:WEBSITE:SAGE;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:FSTC;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Barba-Ostria C, Guamán-Bautista J, Tosi-Vélez AA, Puente-Pineda JA, Cedeño-Zambrano MA, Teran E, et al. Recent Advances in the Therapeutic Potential of Bioactive Molecules from Plants of Andean Origin. *Nutrients* 2025, Vol 17, Page 1749. 2025 May 22;17(11):1749. doi:10.3390/NU17111749 PubMed PMID: 40507018.
- Padhiyar PN, Singh BP, Sarkar P, Hati S. Food-Derived Bioactive Peptides With Anti-Diabetic and Antimicrobial Potential: An Updated Review on Current Trends and Challenges. *Sustainable Food Proteins*. 2025 Jun;3(2). doi:10.1002/SFP2.70012;JOURNAL:JOURNAL:27719693;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Quevedo-Olaya JL, Schmiele M, Correa MJ. Potential of Andean Grains as Substitutes for Animal Proteins in Vegetarian and Vegan Diets: A Nutritional and Functional Analysis. *Foods* 2025, Vol 14, Page 2987. 2025 Aug 27;14(17):2987. doi:10.3390/FOODS14172987
- Elisha C, Bhagwat P, Pillai S. Emerging production techniques and potential health promoting properties of plant and animal protein-derived bioactive peptides. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2025; 65(24):4729–58. doi:10.1080/10408398.2024.2396067 PubMed PMID: 39206881.
- Machado M, Bautista-Hernández I, Gómez-García R, Silva S, Costa EM. Bioactive Food Proteins: Bridging Nutritional and Functional Benefits with Sustainable Protein Sources. *Foods* 2025, Vol 14, Page 3035. 2025 Aug 29;14(17):3035. doi:10.3390/FOODS14173035
- Aweya JJ, Sharma D, Bajwa RK, Earnest B, Krache H, Moghadasian MH. Ancient Grains as Functional Foods: Integrating Traditional Knowledge with Contemporary Nutritional Science. *Foods* 2025, Vol 14, Page 2529. 2025 Jul 18;14(14):2529. doi:10.3390/FOODS14142529
- Meneses Quelal O, Pulles MB. Nutritional, Functional and Microbiological Potential of Andean *Lupinus mutabilis* and *Amaranthus* spp. in the Development of Healthy Foods—A Review. *Foods* 2025, Vol 14, Page 2059. 2025 Jun 11;14(12):2059. doi:10.3390/FOODS14122059
- Castañeda-Rodríguez WA, Rodríguez-Yparraguirre AJ, Rodríguez-Yparraguirre CD, Maco-Vásquez WA, Olivares-Espino IM, Epifanía-Huerta AD, et al. Advances in Proteomics and Functional Foods from Fermentation and Bioencapsulation of Andean Grains and Tubers: Applications and Perspectives. *Foods* 2026, Vol 15, Page 425. 2026 Jan 24;15(3):425. doi:10.3390/FOODS15030425
- Baquero Icaza PS, Salinas Velasteguí VG, Sandoval Espinoza GF, Barreno Sánchez MJ. Efecto de los péptidos bioactivos derivados de alimentos andinos inhibidores de la ECA en el control de la presión arterial: una revisión sistemática. *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales*. 2025 Jun 19;4(2). doi:10.70577/reg.v4i2.135
- Toimbayeva D, Saduakhasova S, Kamanova S, Kiykbay A, Tazhina S, Temirova I, et al. Prospects for the Use of Amaranth Grain in the Production of Functional and Specialized Food Products. *Foods* 2025, Vol 14, Page 1603. 2025 May 1;14(9):1603. doi:10.3390/FOODS14091603
- Llontop-Bernabé KS, Intiquilla A, Ramirez-Velaz C, Santos M, Jiménez-Aliaga K, Zavaleta AI, et al. Production of Multifunctional Hydrolysates from the *Lupinus mutabilis* Protein Using a *Micrococcus* sp. PC7 Protease. *BioTech*. 2025 Jun 1;14(2):32. doi:10.3390/BIOTECH14020032/S1
- Ávila-Vargas YN, Pérez-Escalante E, González-Olivares LG, Contreras-López E, Jaimez-Ordaz J, Añorve-Morga J, et al. Bioactive Potential of Peptide Fractions Derived from Enzymatic Hydrolysis of Chenopodium quinoa Proteins: Approach to Antihypertensive Activity. *Macromol* 2026, Vol 6, Page 14. 2026 Feb 15;6(1):14. doi:10.3390/MACROMOL6010014

17. Caicedo N, Liscano Y, Oñate-Garzón J. Bioactive Peptides from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as Modulators of the Gut Microbiome: A Scoping Review of Preclinical Evidence. *Nutrients* 2025, Vol 17, Page 3215. 2025 Oct 14;17(20):3215. doi:10.3390/NU17203215 PubMed PMID: 41156468.
18. Cruz-Casas DE, Ramos-González R, Prado-Barragán LA, Iliná A, Aguilar CN, Rodríguez-Herrera R, et al. Protein hydrolysates with ACE-I inhibitory activity from amaranth seeds fermented with *Enterococcus faecium*-LR9: Identification of peptides and molecular docking. *Food Chem.* 2025 Feb 1;464:141598. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2024.141598 PubMed PMID: 39413603.
19. Panda S, Bhowmick S, Pal M, Das S, Pyne S, Banerjee A, et al. A comprehensive review on DPP-4 inhibitory small bioactive peptides in type –2 diabetes mellitus management. *Food Nutrition.* 2026 Jun 1;2(1):100062. doi:10.1016/J.FNUTR.2026.100062
20. Kour R, Jan T, Ahmed N, Sheikh MA, Ubaid M, Yadav N, et al. A comprehensive exploration of compositional characteristics, bioactive compounds, anti-nutritional factors, and food applications of amaranths. *J Appl Biol Biotechnol.* 2025 Jan 1;14(1):18–31. doi:10.7324/JABB.2025.215892