

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Química de los compuestos bioactivos de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) con
potenciales usos industriales**

Monografía previa a la obtención del título de Química (Química Pura)

Bastidas Contreras Eliza Nebraska

Quito, 2025

Certifico que la Monografía de Química, del Srta. Eliza Nebraska Bastidas Contreras ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Firma del tutor de la monografía

Tutor (a) de la monografía

Quito, 4 de julio de 2024

Dedicatoria

A Dios, por ser guía constante en mi vida, fuente de fortaleza y esperanza en cada paso de este camino.

A mi familia, por su presencia y amor incondicional. A Lucas, mi hermano; a mis tíos Juan Carlos y Francisco; a Fabián, mi padrastro; a mis abuelitos Erlinda y Enrique, quienes han sido ejemplo de cariño y entrega.

Con especial amor y gratitud a mi madre Cristina, el pilar más importante en mi vida. Su dedicación incansable, su fe en mí y su presencia constante han sido el mayor sostén en este proceso. Su fuerza y amor han marcado profundamente cada paso que he dado y cada meta que hoy puedo alcanzar.

A Luis, por su apoyo constante, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por ser una presencia invaluable en este proceso.

A mis compañeros, Sergio y Josué, por compartir aprendizajes, desafíos y alegrías a lo largo de esta etapa.

Y a la magíster Gabriela Cueva, por su guía, compromiso y dedicación durante el desarrollo de esta monografía.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL	6
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. La Mashua Morada (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y su Composición.....	7
3.1.1. Origen y extensión geográfica de mashua.....	7
3.1.2. Descripción botánica de la mashua morada.....	8
3.1.3. Tipos Mashua	10
3.1.4. Composición nutricional.....	12
3.1.5. Usos y aplicaciones tradicionales de la mashua	15
3.2. Metabolitos Secundarios de la Mashua Morada	17
3.2.1. Introducción a los metabolitos secundarios.....	17
3.2.2. Clasificación de los metabolitos secundarios en la mashua morada	20
3.2.3. Antocianinas.....	20
3.2.4. Glucosinolatos.....	22
3.2.5. Alcaloides	23
3.2.6. Compuestos fenólicos	24

3.2.7. Otros metabolitos secundarios	25
3.2.8. Carotenoides en la mashua morada.....	25
3.2.9. Triterpenos y esteroides en la mashua morada	26
3.3. Propiedades Funcionales de la Mashua Morada	28
3.3.1. Alta capacidad antioxidante	28
3.3.2. Efectos antimicrobianos	29
3.3.3. Actividad antiinflamatoria	30
3.4. Relevancia funcional y sociocultural de la mashua morada en el contexto andino... 31	
3.4.1. Perfil nutricional y tecnológico de la mashua morada en comparación con otros alimentos funcionales	31
3.4.2. Importancia cultural y socioeconómica de la mashua morada en contextos tradicionales	32
4. Aplicaciones Industriales de la Mashua Morada	33
4.1. Pigmentos Naturales: Antocianinas de la Mashua Morada como colorantes alimentario e industriales	34
4.2. Ingredientes Funcionales y Nutraceuticos: valor agregado de los compuestos bioactivos de la mashua morada	36
4.3. Aplicación de la Mashua Morada en Bioplásticos y Materiales Biodegradables	39
4.4. Desarrollo de Productos Cosméticos y Farmacéuticos a partir de Mashua Morada .	40
4.5. Mashua morada para combatir el Cáncer de Próstata	41
4.6. Tecnología de almacenamiento y procesamiento para prolongar la vida útil de la Mashua morada	42

4.7. Análisis económico y Comercialización de productos derivados de la mashua morada

43

5. CONCLUSIONES..... 45

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

RESUMEN

La creciente demanda de productos naturales y sostenibles impulsa la investigación de recursos con propiedades funcionales. Esta monografía tiene como objetivo analizar la composición química y caracterizar los compuestos bioactivos presentes en la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) para evaluar su potencial uso en diversas aplicaciones industriales. Se realizó un análisis documental de este tubérculo con alto contenido de antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides y glucosinolatos, responsables de sus distintivas propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. La investigación demuestra que las antocianinas de la mashua morada son pigmentos naturales viables para las industrias alimentaria y cosmética, con capacidad de reemplazar colorantes sintéticos y aportar beneficios adicionales para la salud. Asimismo, se exploró el potencial de sus extractos como ingredientes nutraceuticos y en la formulación de alimentos funcionales, incluyendo bebidas, harinas y productos probioticos, destacando su eficacia como antioxidante en aceites comestibles. Se determinó la factibilidad del almidón de mashua para la creación de bioplásticos biodegradables y se consideraron sus aplicaciones en la industria farmacéutica y cosmética tópica. Finalmente, se revisaron las tecnologías de procesamiento y almacenamiento que garantizan la preservación de sus propiedades y se analizó su panorama económico, subrayando la necesidad de formalización y valorización de la cadena productiva.

Palabras clave: Antocianinas, alimentos Funcionales, Bioplásticos, Compuestos bioactivos, Mashua morada

ABSTRACT

The increasing demand for natural and sustainable product drives the research into resources with functional properties. This monograph aims to analyze the chemical composition and characterize the bioactive compounds present in purple mashua (*Tropaeolum tuberosum*) to evaluate its potential use in diverse industrial applications. A documentary analysis of this tuber, rich in anthocyanin's, phenolic compounds, flavonoids, and glucosinolates responsible for its distinctive antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties was conducted. The research demonstrates that purple mashua anthocyanin's are viable natural pigments for the food and the cosmetic industries, capable of replacing synthetic colorants a providing additional health benefits. Furthermore, the potential of its extracts as nutraceutical ingredients and in the formulation of functional foods, including beverages, flours, and probiotics product, was explored, highlighting its efficacy as an antioxidant in edible oils. The feasibility of mashua starch for the creation of biodegradable bioplastics was determined, and its applications in the topical pharmaceutical and cosmetic industries were considered. Finally, processing and storage technologies that ensure the preservation of its properties reviewed, and its economic landscape was analyzed, emphasizing the need for formalization and valorization of the product chain.

Keywords: Anthocyanin's, Bioplastics, Bioactive compounds, Functional foods, Purple mashua.

1. INTRODUCCIÓN

La Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), también conocida como ñu, es un tubérculo andino cultivado tradicionalmente en los Andes, especialmente en Perú y Bolivia, cuya producción se ha extendido a países como Ecuador y Venezuela (Guevara, 2018). Este cultivo destaca no solo por su aporte nutricional, sino también por sus propiedades medicinales, dado que se ha utilizado en el tratamiento de diversas patologías gracias a su contenido de compuestos bioactivos, como los glucosinolatos y polifenoles (Takahashi, 2023).

Uno de los aspectos más interesantes de la mashua es la presencia de isotiocianatos, compuestos que le otorgan un sabor picante y ligeramente amargo. Sin embargo, al cocinarse, su sabor se transforma dulce. Además, posee un alto contenido de almidón y su valor nutritivo es mayor que los cereales como la papa y el arroz (Arteaga et al., 2022).

El creciente interés en la producción y consumo de la mashua se debe a múltiples beneficios para la salud. Investigaciones recientes han demostrado que algunos compuestos bioactivos presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianas, lo que posiciona a este tubérculo como un recurso prometedor para la industria alimentaria y farmacéutica (Malpartida, 2022). Comprender la química de estos compuestos es esencial para su integración en productos funcionales, como alimentos saludables y productos nutracéuticos innovadores.

Diversos estudios han analizado la composición química y funcional de la mashua. Por ejemplo, en el estudio de Chirinos et al. (2007) optimizaron las condiciones de extracción de compuestos fenólicos antioxidantes en la mashua, evidenciando una alta concentración de fenoles totales y actividad antioxidante. Sin embargo, estos estudios han abordado en su

mayoría a la mashua sin diferenciar variedades específicas. En investigaciones posteriores, Chirinos et al. (2008) evaluaron las propiedades antioxidantes de extractos fenólicos purificados de cuatro genotipos de mashua de distintos colores, incluyendo a la morada, evidenciando su capacidad para prevenir daños oxidativos en estructuras biológicas ricas en ácidos polinsaturados. Estos hallazgos resaltan el potencial que posee la mashua morada como una fuente de antioxidantes naturales con aplicaciones industriales.

Por otro lado, el trabajo de Malpartida (2022) presenta las propiedades antioxidantes de los extractos fenólicos de mashua los cuales presentan una notable capacidad para prevenir daños celulares inducidos por radicales libres lo que lo hace un recurso potencial para productos farmacéuticos.

En el contexto ecuatoriano, aunque la mashua ha sido objeto de diversas investigaciones, la mayoría de estudios se han centrado en las variedades amarilla y negra, dejando un vacío conocimiento acerca de la composición química y las aplicaciones industriales de la mashua morada. A pesar de su alto potencial nutricional y funcional, no existen suficientes análisis detallados que permitan comprender a profundidad los compuestos bioactivos y su viabilidad en la industria alimentaria y farmacéutica.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la composición química de los compuestos bioactivos presentes en la mashua morada, para evaluar su potencial uso en las industrias farmacéutica y alimentaria. Se identificará cada compuesto relevante, destacando su funcionalidad y contribución tanto a la salud del consumidor como el desarrollo de productos innovadores sostenibles en dichas industrias.

Para alcanzar estos fines, se realizará un análisis documental basado en la recopilación y revisión crítica de información proveniente de artículos científicos, libros especializados y otras fuentes académicas confiables. En primer lugar, se buscarán investigaciones que aborden la composición química de la mashua morada (*Tropaeolum tubeosum*), con énfasis la identificación de metabolitos secundarios como antocianinas, glucosinolatos, flavonoides y otros compuestos fenólicos, utilizando bases de datos científicas reconocidas (PubMed, Scopus y ScienceDirect). Posteriormente, se analizará la información obtenida para caracterizar los compuestos bioactivos responsables de las propiedades antioxidantes, antimicrobianas y funcionales de la mashua. Finalmente, se evaluará el impacto y las aplicaciones potenciales de estos compuestos en las industrias alimentaria y farmacéutica, considerando su utilidad como conservantes naturales, antioxidantes y antimicrobianos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la composición química y caracterizar los compuestos bioactivos presentes en la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) para evaluar su potencial uso en aplicaciones industriales.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Evaluar las propiedades funcionales de los compuestos bioactivos de la mashua morada y su aplicabilidad en las industrias farmacéutica y alimentaria.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. La Mashua Morada (*Tropaeolum tuberosum*) y su Composición

3.1.1. Origen y extensión geográfica de mashua

El origen geográfico de la mashua es difícil de especificar, ya que existen varios tipos en diferentes regiones de los andes, se presume que su domesticación fue en Ecuador y Bolivia en zonas cuya altitud varía entre 2400 y 4300 m.s.n.m., ya que en estas zonas se han encontrado algunas variantes (Arteaga-Cano et al, 2022). Esta capacidad de prosperar en condiciones de alta montaña resalta su adaptación a climas fríos y suelos desafiantes, característicos de los ecosistemas andinos.

Sin embargo, la altitud, aunque importante para su desarrollo nativo, no ha limitado la expansión de la mashua. Se ha demostrado que este tubérculo es altamente adaptable a diferentes entornos climáticos, lo que ha permitido su introducción y cultivo en países fuera de su rango andino, como Canadá, Inglaterra y Nueva Zelanda. Esta adaptabilidad global resalta su potencial como cultivo resistente y nutritivo en diversas latitudes, más allá de sus límites geográficos tradicionales (Orellano et al, 2017).

El rastro histórico de la mashua se remonta a periodos precolombinos. Se presume que su descubrimiento se da entre los años 650-1350 a.C. La evidencia de su importancia cultural y alimentaria se manifiesta en las representaciones artísticas de civilizaciones antiguas. Por ejemplo, en la cultura Nazca (100 a.C. – 800 d.C.), se han descubierto representaciones de la mashua en cerámicas, lo que indica su presencia y valor en la vida cotidiana de estas sociedades prehispánicas (Arteaga-Cano et al, 2022). De manera similar, se han hallado representaciones del tubérculo en textiles pertenecientes a la cultura Wari (700 d.C. – 1300 d.C), lo que confirma su relevancia cultural y económica a lo largo de diversas épocas y regiones del antiguo Perú (Orellano et al, 2017).

En la región andina, la mashua se cultiva en varios países como Colombia, Chile, Argentina, Bolivia, Ecuador y Perú (Guevara Peñaherrera, 2019). En Ecuador, el cultivo de mashua es predominante en las provincias centrales de la sierra, incluyendo Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar (Paucar, 2014). A pesar de su importancia histórica y nutricional, la producción de mashua en Ecuador ha disminuido, en parte debido al desconocimiento de sus propiedades beneficiosas y a la preferencia de otros alimentos de menor valor nutricional pero más accesibles y fáciles de preparar (Huaccho et al., 2023). Sin embargo, aún es conservada por agricultores mayores, principalmente por sus propiedades medicinales, buen rendimiento y resistencia a plagas, heladas y enfermedades (Nieto Jaramillo, 2004).

En Perú su cultivo se remonta a épocas prehispánicas, y actualmente coexiste en un estado tanto silvestre como domesticado por la mano del ser humano. Este patrón de cultivo dual ha permitido la preservación de su diversidad genética y el manteamiento de conocimientos ancestrales asociados a su manejo. En la actualidad, las regiones de Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Ancash, Apurímac, Huácuño, Puno y Junín, son los principales centros de producción, concentrando aproximadamente el 88% de la producción mashua en el país. Esta concentración geográfica resalta la persistencia de las prácticas agrícolas tradicionales y la importancia de la mashua para las economías y la seguridad alimentaria de estas zonas andinas (Malpartida et al, 2022).

3.1.2. Descripción botánica de la mashua morada

La mashua morada, cuyo nombre científico *Tropaeolum tuberosum*, Ruiz & Pavón, es un tubérculo originario de la región andina. Esta especie pertenece a la familia **Tropaeolaceae**, dentro del orden **Brassicales**, clase **Magnoliopsida**, división **Magnoliophyta**, del reino

Plantae. Esta clasificación la sitúa en un grupo botánico que incluye otras plantas con flores distintivas muchas de ellas conocidas por sus compuestos bioactivos (Bulacio & Ayarde, 2012).

La mashua es una planta herbácea perenne que se caracteriza por un ciclo de crecimiento estacional bien definido. Durante la temporada de lluvias, desarrolla rizomas subterráneos y tallos aéreos suculentos que pueden ser rastreros o trepadores, alcanzando longitudes considerables. Estos tallos, juntos con sus hojas de forma lobulada y sus flores tubulares de colores brillantes (a menudo rojizos, anaranjados o amarillos), forman la parte visible de la planta. Al finalizar la estación de crecimiento, generalmente con la llegada de la estación seca o las heladas, la parte aérea de la planta se marchita y desaparece, dejando bajo tierra los tubérculos como órganos de reserva (Bulacio & Ayarde, 2012; Valle-Parra et al., 2018).

Los tubérculos de la mashua, que constituyen la parte comestible y de mayor interés, son morfológicamente diversos. Típicamente presentan una forma turbinada o cónica, con nudos marcados y yemas que indican los puntos de brotación (Bulacio & Ayarde, 2012). Su piel y pulpa muestran una amplia gama de colores, desde el amarillo y blanco hasta tonalidades intensas de morado, rojo y anaranjado, dependiendo de la variedad o ecotipo. (Coloma et al., 2022).



Figura 1. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) (Ticona, Pérez & Benito, 2020).

3.1.3. Tipos Mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) se diferencia por su diversidad morfológica, lo que la convierte en un cultivo andino de gran interés tanto para la investigación como para la agro biodiversidad. Se ha descubierto más de 100 variedades de mashua, principalmente en países andinos como Ecuador y Perú, donde es un alimento tradicional de gran valor nutricional y cultural (Malpartida et al, 2022). Esta riqueza en sus variedades se muestra en las características físicas de los tubérculos, que varían en color, forma y tamaño (Cano et al, 2022).

3.1.3.1. Variaciones cromáticas de la mashua

Una de las características evidentes de la diversidad de la mashua es la amplia gama de colores que presentan tanto la piel como la pulpa de sus tubérculos. La piel puede mostrar tonalidades que van desde el color crema pálido hasta el púrpura intenso (Malpartida et al, 2022). Esta diversidad cromática no solo es estéticamente atractiva, sino que también está asociada con la presencia de diferentes compuestos bioactivos, como antocianinas, responsables de los tonos morados y rojos, y los carotenoides, que otorgan los colores amarillos y anaranjados (Castañeta et al., 2024; Chirinos et al., 2008). La pulpa por su parte, exhibe predominantemente colores morado y amarillo, lo que sugiere una distribución diferenciada de estos pigmentos en el interior del tubérculo (Malpartida et al., 2022).

Más allá de los colores mencionados, los tubérculos de mashua también pueden encontrarse en tonalidades de gris, blanco, rojizo, e incluso negro, a menudo con rayas o manchas oscuras (Cano et al, 2022). Estas variaciones son el resultado de la adaptación de diferentes condiciones ambientales y de la selección realizada por las comunidades agrícolas a lo largo de los siglos (Alfredo et al., 2003).

Tabla 1. Variedades de mashua y tonalidad (Malpartida et al, 2022).

Nombre	Tonalidad
Occe aña	Plomo
Yana aña	Negro
Checche aña	Gris
Ckello aña	Amarillo
Kello aña	Violeta
Muru aña	Morado
Puca aña	Negro
Mashua Quillu	Amarillo
Mashua yana saco	Negro

El nombre de cada variedad depende de la tonalidad que presenta. En la **Tabla 1** se recogen varias de estas variantes junto con el color que las caracteriza.

3.1.3.2. Morfología distintiva de los tubérculos

Aunque los tubérculos de la mashua comparten similitudes superficiales con otros cultivos andinos como la oca (*Oxalis tuberosa*) o la papa (*Solanum tuberosum*), se distinguen por su forma cónica y alargada, y la presencia de yemas profundas (Cano et al, 2022). Esta morfología particular no solo es un rasgo distintivo de la especie, sino que también influye en su manejo y procesamiento post-cosecha. La forma y el tamaño de los tubérculos pueden variar considerablemente entre las variedades, lo que refleja la gran diversidad genética existente dentro de la especie *Tropaeolum tuberosum* (Ortega et al., 2007; Pissard et al., 2008).

La variación más notable se observa en el color en la piel y la pulpa. En la piel varía de crema hasta el púrpura oscuro, pasando por tonalidades como amarillo, naranja y violeta. La pulpa, por su parte presenta principalmente colores morado y amarillo (Malpartida et al, 2022). Los tubérculos de mashua son similares a la oca o a la papa, y se diferencia por su forma cónica y alargada, de yemas profundas. Además, pueden ser de color gris, blanco, rojizo, negro y con rayas oscuras. (Cano et al, 2022).



Figura 2. Cultivos de diferentes variedades de mashua (Cano et al, 2022).

3.1.4. Composición nutricional

Este alimento destaca por su contenido de proteínas, carbohidratos, vitamina C, compuestos fenólicos y antocianinas. Estudios le atribuyen propiedades nutraceuticas beneficiosas relacionadas con el funcionamiento del hígado, riñón y próstata. Asimismo, contiene bencilglucosinolato, un compuesto que actúa como defensa natural frente a plagas y enfermedades (Medina et al., 2023).

Se han identificado variaciones importantes en el perfil nutricional y en la concentración de compuestos bioactivos entre los distintos genotipos de mashua. Aunque las variedades amarilla y morada comparten características nutricionales similares, como su riqueza en fósforo, potasio y vitamina C, la especie morada destaca por su alto contenido en antocianinas totales, flavonoides totales, fenoles totales, contenido de taninos y actividad antioxidante (Coloma et al., 2022).

Tabla 2. Composición nutricional de la mashua en diferentes tipos de bases y zonas de cultivo.

Composición Química y Nutricional de la Mashua Morada						
Componente	Malpartida et al., 2022 (Base Húmeda)	Taipe, 2018 (Base Húmeda)	Taipe, 2018 (Base Seca)	Coloma et al., 2022		
				Zona de Cultivo (3800 m.s.n.m)		
				Collao	Chucuito	Puno
Humedad (%)	86,30	87,40	-	89,72	74,51	84,83
Carbohidratos (g/100g)	11,41	9,80	78,60	70,73	76,99	75,96
Proteína (g/100g)	1,23	1,50	11,40	11,72	7,41	7,86
Grasa (g/100g)	-	0,70	4,30	4,53	4,40	4,57
Cenizas (g/100g)	0,76	0,60	5,70	6,66	5,32	5,84
Fibra (g/100g)	-	0,90	-	6,36	5,89	5,78
Calcio (mg/100g)	25,00	12,00	50,00	53,32	40,38	44,95
Potasio (mg/100g)	820,00	-	-	1767,26	1875,61	1829,78
Fósforo (mg/100g)	560,00	29,00	300,00	191,55	146,95	166,69
Hierro (mg/100g)	-	1,00	8,60	7,74	7,60	76,85
Vitamina A (mg/100g)	-	-	214,00	-	-	-
Vitamina C (mg/100g)	-	77,50	476,00	2,63	4,46	1,31
Zinc (mg/100g)	-	-	-	9,94	7,41	8,42

Los valores de macronutrientes y fibra se expresan en g/100 g de muestra, mientras que vitaminas y minerales en mg/100 g. Los datos corresponden a análisis en base húmeda y base seca.

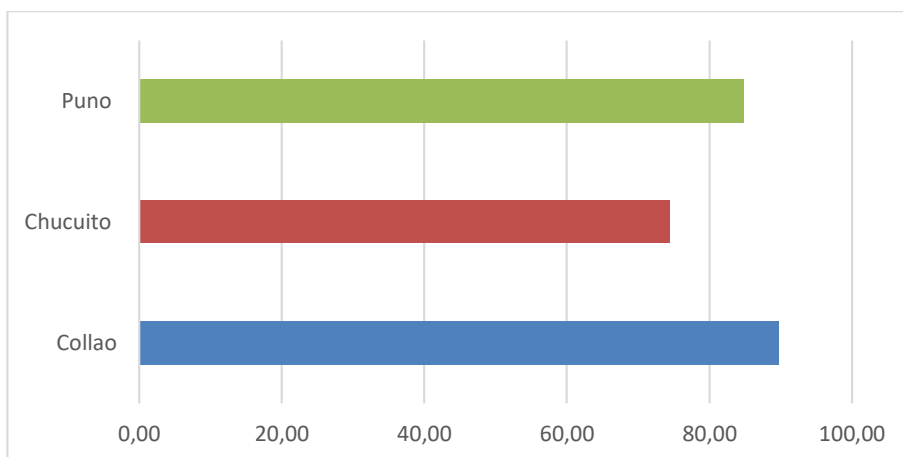


Figura 3. Porcentaje de humedad de la mashua morada cultivada en tres zonas de Perú: Puno, Chucuito y Collao. Las barras comparan la humedad (%) medida en cada una de estas localidades. Los datos fueron tomados Coloma et al. (2022).

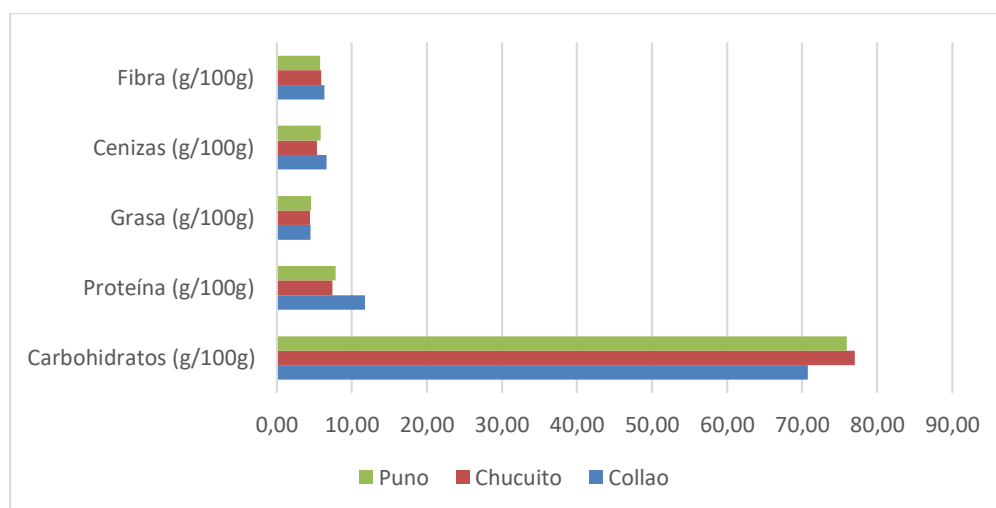


Figura 4. Composición nutricional de la mashua morada en tres zonas de cultivo. Valores de fibra, ceniza, grasa, proteína y carbohidratos (g/100g) para Puno, Chucuito y Collao. Fuente: Caloma et al. (2022).

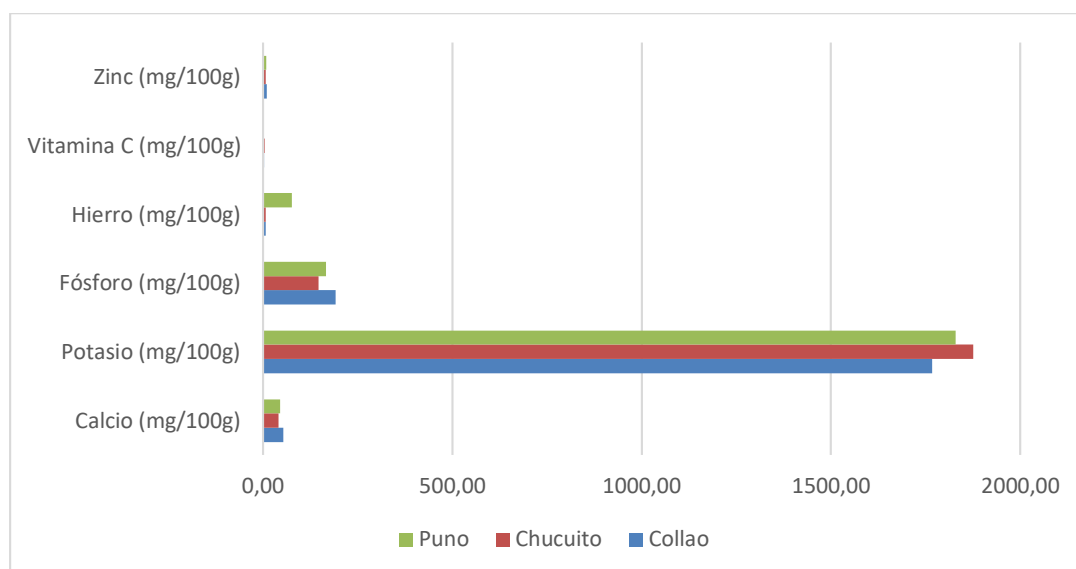


Figura 5. Composición nutricional de la mashua morada en tres zonas de cultivo. Concentraciones de calcio, potasio, fósforo, hierro, vitamina C y zinc (mg/100 g) en para Puno, Chucuito y Collao. Fuente: Caloma et al. (2022).

3.1.5. Usos y aplicaciones tradicionales de la mashua

En las regiones altoandinas, donde las bajas temperaturas y la elevada altitud dificultan el cultivo de tubérculos como la papa, la mashua es un alimento importante. Desde tiempos ancestrales, las comunidades han aprovechado este tubérculo, extrayendo un jugo de los tubérculos cocidos que consumen en su dieta diaria para favorecer el crecimiento infantil, lo que resalta su rol como alimento básico y nutricionalmente denso en la dieta andina (Ticona, Pérez & Benito, 2020).

El valor nutricional de la mashua es importante, siendo una fuente rica en compuestos esenciales que contribuyen a la salud humana. Contiene una importante cantidad de antioxidantes, así como vitaminas A y C, y un espectro de aminoácidos esenciales que ayudan al funcionamiento del organismo (Grau et al., 2025; Guevara-Freire et al., 2018). Esta riqueza en componentes bioactivos, incluyendo fenoles, flavonoides, antocianinas y carotenoides, es

la base de sus propiedades terapéuticas posicionándolo como un alimento funcional (Guevara-Freire et al., 2018; Behar et al., 2021).

Tradicionalmente, la mashua ha sido consumida hervida, proceso que no solo mejora su textura y sabor, sino que también permite reducir la concentración de glucosinolatos, responsables de su sabor amargo y picante. Este tratamiento térmico facilita la hidrólisis de estos compuestos y la eliminación de trazas de cianuro, incrementando su aceptabilidad y seguridad para el consumo humano (Ticona, Pérez & Benito, 2020). Así, el conocimiento empírico de las comunidades andinas ha permitido optimizar su uso alimentario y medicinal, preservando sus beneficios sin comprometer el bienestar del consumidor.

3.1.5.1. Propiedades medicinales y potenciales etnofarmacológico

La mashua tiene una historia importante en la medicina popular andina, donde sus usos medicinales son diversos. Tradicionalmente, se le atribuyen beneficios para la salud del hígado y los riñones, siendo un remedio común para afecciones relacionadas con estos órganos (Grau et al., 2025).

Una de las creencias extendidas y respaldadas por la medicina popular es su efecto reductor sobre la libido. Estudios científicos exploratorios han investigado esta propiedad, mostrando, por ejemplo, que la mashua puede reducir la producción y calidad del esperma en ratas macho; sin embargo, se ha observado que estos efectos son reversibles al suspender el tratamiento (Gonzales-Daga et al., 2020). En el ámbito de la salud masculina, el té de mashua es promovido como un remedio natural para prevenir la inflamación de la próstata, lo que indica su posible beneficio como agente profiláctico (Grau et al., 2025).

La importancia etnofarmacológica de la mashua abarca una gran cantidad de tratamientos. Diversos grupos étnicos de los Andes la emplean para combatir dolores e infecciones, incluyendo enfermedades venéreas, pulmonares y cutáneas. También es valorada por su capacidad para curar heridas internas y externas, y sirve como analgésico para

el dolor de riñón y vejiga (Ticona et al., 2020). Estas aplicaciones tradicionales son consistentes con las propiedades características del tubérculo.

3.2. Metabolitos Secundarios de la Mashua Morada

3.2.1. Introducción a los metabolitos secundarios

Los compuestos bioactivos son sustancias químicas naturales presentes en pequeñas cantidades en los alimentos, pero con un impacto biológico beneficioso para el organismo humano. Dentro de este amplio grupo, los metabolitos secundarios constituyen una categoría importante, ya que son sintetizados de forma natural por plantas, hongos y microorganismos, principalmente como mecanismo de defensa. Estos compuestos no son esenciales para la supervivencia básica del organismo productor, pero sí son claves en la interacción con el medio ambiente (Dable et al., 2023; Shahidi & Tan, 2010).

Entre los principales grupos de compuestos bioactivos se incluyen los fenólicos, carotenoides, fitoesteroles, ácidos grasos poliinsaturados, alcaloides, terpenoides y glucósidos (Sharma et al., 2022).

En el caso de la mashua morada (*Tropaelum tuberosum*), su coloración característica se debe principalmente a la presencia de antocianinas, un tipo de compuesto fenólico. Además, los compuestos azufrados presentes en este tubérculo aportan su sabor distintivo (Caloma et al., 2022; Medina et al., 2023).

Tabla 3. Comparación de los Compuestos Bioactivos de la Mashua Morada (Fenoles, Anticinas, Flavonoides) y capacidad antioxidante según varios autores.

Compuestos Bioactivos	Peso Seco - (Velásquez et al., 2020)	Peso Seco - (Coloma - 2022)	Peso Seco - (Coloma - 2022)	Peso Fresco - (Gonzales et al, 2020)
Fenoles (mg de ácido gálico/g)	39,87	3,85	11,43	2,24
Capacidad Antioxidante (uM trolox/100g)	169,16	4458	27235	2221,02
Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/100g)	34,58	29,2	148,9	186,07
Flavonoides (mg quercertina/100g)	1,39	10,9	45,3	-

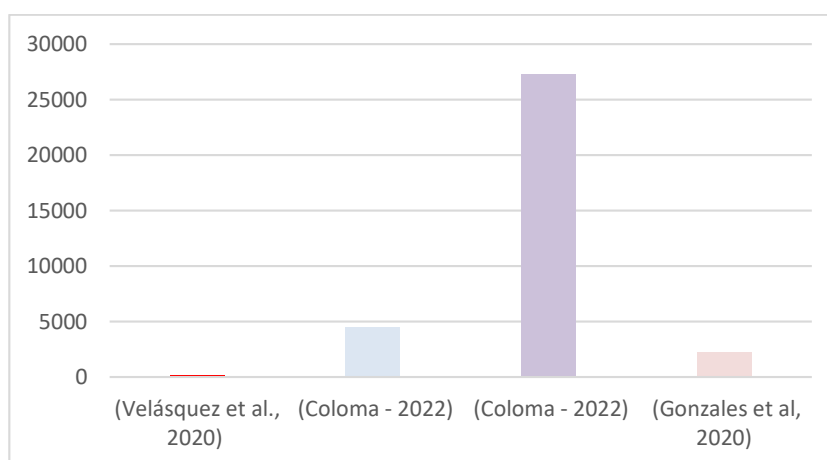


Figura 6. Capacidad Antioxidante (uM trolox/100g) de la mashua en base a varios estudios.

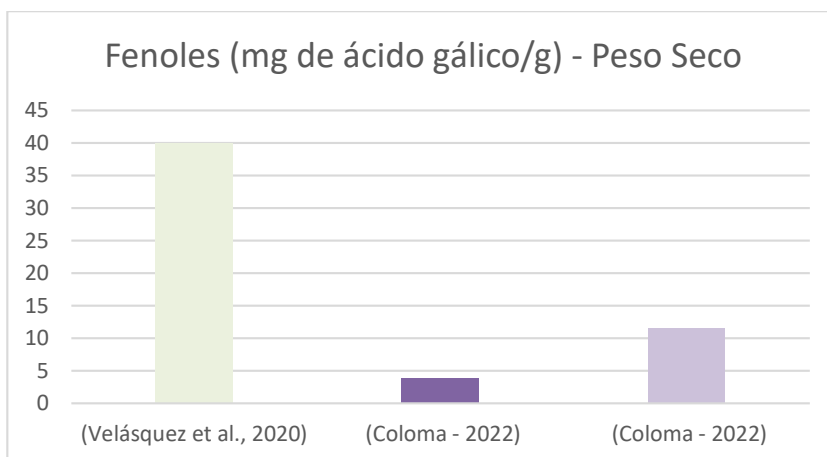


Figura 7. Fenoles (mg de ácido gálico/g) - Peso Seco de la mashua en base a varios estudios.

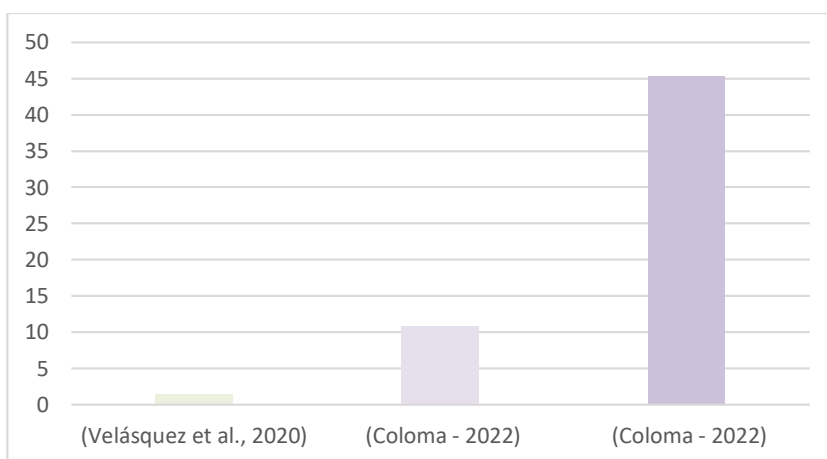


Figura 8. Flavonoides (mg quercertina/100g) - Peso Seco de la mashua en base a varios estudios.

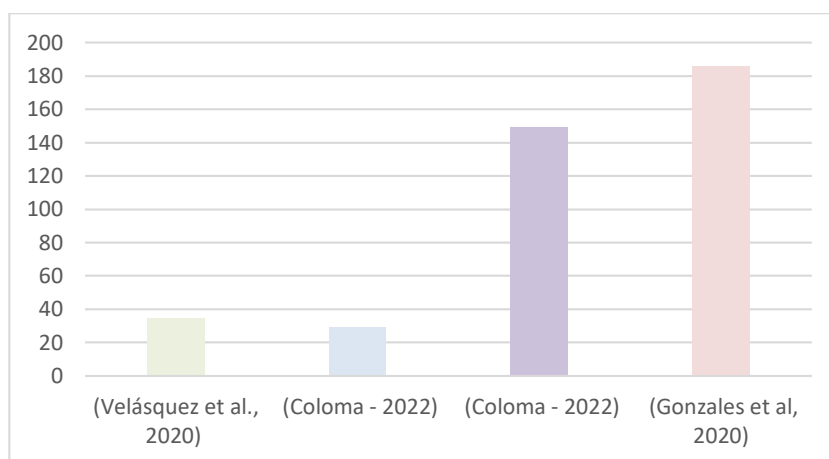


Figura 9. Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/100g) - Peso Seco de la mashua en base a varios estudios.

3.2.2. Clasificación de los metabolitos secundarios en la mashua morada

De forma general, los metabolitos secundarios se clasifican en tres grandes grupos: alcaloides, fenoles (flavonoides y antocianinas), y terpenoides. En la mashua morada, los compuestos bioactivos más relevantes pertenecen a los grupos de antocianinas, glucosinolatos, alcaloides y compuestos fenólicos (Malpartida et al., 2022).

A continuación, se describen cada uno de estos grupos, su presencia en la mashua morada y sus características más importantes.

3.2.3. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles que forman parte del grupo de los flavonoides. Se caracterizan por su estructura basada en el esqueleto 2-fenil-benzo-gamma-pirona y por su capacidad para formar glucósidos, generalmente en la posición 3 del anillo C (Kowalczyk et al., 2004; Pappalardo et al., 2024; Prior, 2012).

En la mashua morada, las antocianinas se presentan mayoritariamente como glucósidos de cianidina, delphinidina y pelargonidina, en formas libre o aciladas (Apaza Ticona et al., 2020, Santayana, 2018). Estos compuestos fenólicos se localizan principalmente en la porción externa del tubérculo y alcanzan concentraciones que superan a varias hortalizas

coloreadas, lo que explica su gran capacidad antioxidante. Mediante técnicas de HPL-DAD, se han identificado compuestos como cianidina-3-glucósido, delphinidina-3-glucósido y pelargonidina-3-glucósido, junto con sus derivados acilados. Estos compuestos trabajan en sinergia para neutralizar radicales libres, lo cual contribuye a las propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas atribuidas a esta especie andina (Chirinos et al., 2007).

Según Coloma et al. (2022), el contenido total de antocianinas en la mashua morada se encontró en un rango de 29.20 ± 0.44 a 148.90 ± 0.14 mg de equivalentes de cianidina-3-glucósido por gramo de materia seca. Estos valores superan notablemente a los observados en los genotipos amarillo-púrpura (0.79 ± 0.03 mg/g MS), mientras que en el genotipo amarillo no se detectaron antocianinas. La alta concentración de estos pigmentos en la variedad morada justifica su intensa pigmentación y refuerza su consideración como fuente valiosa de compuestos bioactivos en los Andes.

Chirinos et al. (2007) optimizaron las condiciones para la extracción de antocianinas en mashua morada por medio de la extracción sólido-líquido. Determinaron que una solución de metanol al 90% acidificada con 0.1% HCl, es eficiente para recuperar antocianinas, alcanzando mejores resultados que mezclas de metanol/acetona/agua.

González et al. (2020) estudiaron el efecto del clorpropham (CIPC) en la brotación y compuestos bioactivos de mashua morada durante el almacenamiento. Observaron que la aplicación de CIPC incrementa el contenido de antocianinas en los tubérculos. No obstante, el tiempo de almacenamiento afecta negativamente a la concentración de estos pigmentos, ya que tiende a disminuir con el tiempo. Aun así, una mayor concentración de CIPC ayuda a mantener su estabilidad.

Por otro lado, Velázquez-Barreto et al. (2020) evaluaron el impacto de las condiciones de pasteurización en el contenido de antocianinas de una bebida a base de mashua morada. Los autores encontraron que tanto la temperatura (75°C - 85°C) como el tiempo de

tratamiento (10-25 min) influyen significativamente en la estabilidad de las antocianinas. Concluyeron que el punto óptimo de procesamiento es de 77°C durante 13 min, logrando una menor degradación de antocianinas y manteniendo la aceptabilidad sensorial y organoléptica de la bebida.

3.2.4. Glucosinolatos

Los glucosinolatos son metabolitos secundarios tioglucosídicos típicos de las plantas del orden Brassicales (Limaymanta, 2018). La mashua contiene variedades de glucosinolatos (GLs), metabolitos secundarios ricos en azufre conocidos por su potencial bioactivo. El *Tropaeolum tuberosum*, especialmente en la variedad morada se han identificado hasta seis tipos de glucosinolatos, entre los que destacan el glucotropaeolin (benzil.GL), glucoaubrietin (p-metoxibenzil-GL) y glucosinalbin (p-hidroxibenzil-GL), presentes principalmente en los tubérculos (Ticona et al, 2020).

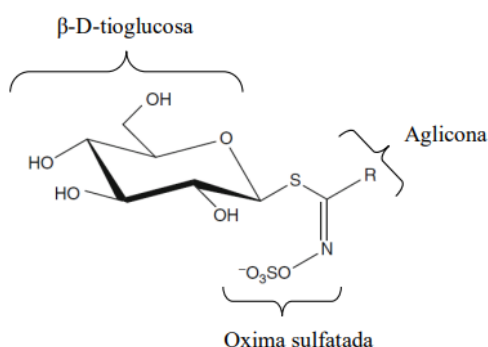


Figura 3. Estructura del glucosinolato (Limaymanta, 2018). Son aniones orgánicos solubles en agua que derivan del metabolismo de los aminoácidos. Su estructura básica es un resto β -D-tioglucosa, un grupo oxima sulfonado y una aglicona variable.

En el genotipo morado los principales glucosinolatos identificados son 5-metilsulfunilpentilo, 4-hidroxibencil, 4-hidroxi-3-indolilmetil, bencil, 4-metoxibencil. De estos,

el glucosinolato 4-metoxibencil es el más abundante representando el 95%-98% del total de glucosinolatos (Medina et al., 2023).

La concentración total de glucosinolatos en la mashua morada varía entre 74.22 y 110.60 micromoles por gramo ($\mu\text{mol/g}$ peso seco), lo que posiciona a este genotipo como uno de los más ricos en esos compuestos bioactivos. Sin embargo, esta concentración puede verse modificada por procesos de post-cosecha como el secado al sol, el blanqueo y la liofilización, los cuales influyen en la actividad de la enzima mironinasa, que hidroliza los glucosinolatos en compuestos activos con propiedades antimicrobianas y anticancerígenas (Medina et al., 2023).

3.2.5. Alcaloides

Los alcaloides son metabolitos secundarios nitrogenados que desempeñan un papel fundamental en los mecanismos de defensa de las plantas y poseen una amplia gama de actividades biológicas. Estos compuestos derivan de aminoácidos y, contienen un anillo heterocíclico nitrogenado en su estructura. Entre los alcaloides de origen vegetal los más conocidos se encuentran en la morfina y codeína (analgésicos), la vinblastina y taxol (anticancerígenos), la colchicina (utilizada en el tratamiento de la gota), la tubocurarina (relajante muscular), el sanguinarina (antibiótico), entre otros (Santayana, 2018).

Los alcaloides se agrupan en cuatro grupos: alcaloides indólicos terpenoides, alcaloides benzilisoquinólicos, alcaloides purínicos y alcaloides del tropano (Santayana, 2018).

En el caso de la mashua morada, se ha identificado la presencia de alcaloides en sus tubérculos. Aunque la información específica sobre las concentraciones y tipos de alcaloides en esta variedad es limitada, estudios en otras variedades de mashua, como la negra, confirman la presencia de estos compuestos. Por ejemplo, en el estudio realizado por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga se detectó alcaloides en el tubérculo

liofilizado de *Tropaeolum tuberosum* variación negra, junto con metabolitos secundarios como fenoles flavonoides, triterpenos, aminos, saponinas y glicósidos cardiotónicos (Ochoa, 2024).

3.2.6. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos constituyen un amplio grupo de metabolitos secundarios caracterizados por la presencia de uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático. En las plantas, estos compuestos cumplen funciones esenciales como la defensa contra patógenos y la protección frente al estrés oxidativo. En la dieta humana, se destacan por sus propiedades antioxidantes (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

La mashua morada presenta un contenido significativamente mayor de polifenoles y flavonoides en comparación con la variedad amarilla (Behar et al., 2021). Entre los compuestos fenólicos identificados en la mashua morada se encuentran ácidos fenólicos, como el ácido gálico, ácido protocatechuico, ácido p-cumárico y ácido o-cumárico; flavonoides como la rutina, la quercetina y derivados de epicatequina y galocatequina; además de proantocianidinas, los cuales contribuyen en su actividad antioxidante (Chirinos et al., 2008; Coloma et al., 2022).

Chirinos et al. (2007) señalaron que la variedad morada presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales en comparación con otras variedades. Además, se observó que, en el desarrollo del tubérculo. Asimismo, observaron que, durante el desarrollo del tubérculo, el contenido de estos compuestos aumentó progresivamente, alcanzando su valor máximo en la etapa de maduración.

En otro estudio, Huaccho (2016) evaluó 84 cultivares de mashua procedente del Cusco. Encontraron que el contenido de compuestos fenólicos varió entre 5.5 y 16.7 mg de ácido gálico equivalente por gramo de base seca. Los cultivares con coloración morada destacaron en su contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, mostrando una

correlación con la capacidad antioxidante medida por los métodos ABTS (2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6sulfonato)) y FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power).

De manera complementaria, Díaz (2019) analizó la mashua morada procedente de la provincia de Otuzco (Perú), encontrando un contenido de 779.14 ± 32.81 μg de ácido gálico equivalente por mililitro de extracto hidroalcohólico. Además, se determinó una capacidad antioxidante con un IC50 (Inhibitory Concentration 50) de 146.46 $\mu\text{g}/\text{mL}$, lo que indica una importante eficacia del extracto para neutralizar radicales libres (Díaz, 2019).

3.2.7. Otros metabolitos secundarios

Además de los metabolitos secundarios mencionados anteriormente, la mashua morada contiene otros compuestos bioactivos que contribuyen a sus propiedades funcionales y nutricionales. Entre estos se encuentran los caratenoides, triterpenos y esteroides (Guevara et al., 2018; Malpartida et al. 2022)

3.2.8. Carotenoides en la mashua morada

Los carotenoides son una amplia familia de pigmentos liposolubles distribuidos en la naturaleza, conocidos por ser los responsables de los colores amarillo, naranja y rojo que se observa en numerosas plantas, frutas, y vegetales. Además de su estética, los carotenoides son compuestos de gran interés debido a sus propiedades antioxidantes, capaces de neutralizar radicales libres y proteger a las células del estrés oxidativo (Perera & Yen, 2007). En la dieta humana, son precursores de la vitamina A y están asociados con beneficios para la salud ocular y la reducción del riesgo de ciertas enfermedades crónicas (Maoka, 2020; Langi et al., 2018; Perera & Yen, 2007). Según la investigación de Jacobo et al. (2022) sobre veintisiete morfotipos de mashua peruana (*Tropaeolum tuberosum*), el contenido total de carotenoides en diferentes morfotipos fue de $12,8 \pm 0,6$ mg/kg y $85,8 \pm 3,1$ mg/kg . Esta variabilidad resalta la importancia de la diversidad genética de la mashua en la determinación de su perfil fotoquímico.

El estudio de Jacobo et al. (2020) destacó que los resultados del contenido de carotenoides no mostraron una correlación directa y evidente con el color superficial del tubérculo. Contrario a lo que podría esperarse, los morfotipos de color gris-morado y marrón fueron los que presentaron una mayor cantidad de carotenoides, en lugar de las variedades con tonalidades más claras y brillantes asociadas típicamente con estos pigmentos.

Este hallazgo sugiere que la presencia de pigmentos más oscuros, como las antocianinas, en las variedades gris-moradas y marrones de la mashua (incluyendo la mashua morada), podría estar enmascarando los colores amarillo, naranja y rojo característicos de los carotenoides. Las antocianinas, que son responsables de tonos azules, púrpuras y rojos intensos, pueden predominar visualmente, ocultando la contribución de los carotenoides al espectro de color general del tubérculo (Campos et al., 2006; Chirinos et al., 2007; Jacobo et al., 2022).

Este fenómeno de enmascaramiento es importante para entender el valor nutricional de la mashua morada. A pesar de su apariencia predominantemente oscura, es plausible que la mashua morada sea una fuente significativa de carotenoides, incluso si estos no son visualmente dominantes. Esto implica que el color de la piel o la pulpa no es el único indicador de la riqueza en carotenoides, y que la investigación fotoquímica profunda es esencial para revelar el perfil completo de sus compuestos bioactivos. Comprender esta dinámica permite promover el consumo de la mashua morada por sus beneficios para la salud, más allá de lo su color puede indicar (Huaccho, 2016).

3.2.9. Triterpenos y esteroides en la mashua morada

Por otro lado, los triterpenos y esteroides forman parte de una diversa clase de compuestos que muestran propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas (Guevara et al., 2018). Específicamente, los triterpenos de tipo pentacíclico, han sido reportados en extractos

etanólicos de la mashua morada. Estos compuestos presentan actividad antiinflamatoria por medio de la inhibición de enzimas como la ciclooxigenasa (COX) y la lipooxigenasa (LOX) (Limaymanta I., 2018).

La identificación y cuantificación de estos metabolitos secundarios en la mashua morada refuerzan su potencial como alimento funcional y abre paso a investigaciones más profundas para comprender sus mecanismos de acción y aplicaciones terapéuticas. Asimismo, el conocimiento de estos compuestos es importante para optimizar su uso en la industria alimentaria y farmacéutica, promoviendo productos que aprovechen sus beneficios para la salud (Behar, 2021; Coloma et al., 2022; Malpartida et al., 2022).

3.3. Propiedades Funcionales de la Mashua Morada

La mashua, en particular la variedad morada, es un tubérculo originario de los Andes que se ha utilizado ancestralmente para la alimentación y medicina tradicional de los pueblos indígenas. En los últimos años, ha despertado el interés de la comunidad científica por su notable contenido de compuestos bioactivos y sus propiedades funcionales (Ticona et al., 2020; Cisneros et al., 2022).

Entre los principales beneficios de la mashua morada, se encuentran su alta capacidad antioxidante, efectos antimicrobianos, y actividad antiinflamatoria. Estas propiedades han sido atribuidas a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y glucosinolatos, los cuales tienen un papel importante en la prevención del daño celular, la regulación de procesos inflamatorios.

3.3.1. Alta capacidad antioxidante

Una de las propiedades destacables de la mashua morada es su capacidad antioxidante, que se debe a su contenido elevado de antocianinas, polifenoles y flavonoides. Diversos estudios han destacado esta característica, que varía dependiendo del cultivar y la etapa de desarrollo del tubérculo. Se ha reportado que el contenido de antocianinas en la mashua morada se encuentra entre 45.5 y 131.9 mg de equivalentes de cianidina 3-glucósido por 100 g de peso fresco (PF), mientras que el contenido fenólico total varía de 174.9 a 275.5 mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de peso fresco. La diversidad de antocianinas presentes, incluyendo aquellas derivadas de delfinidina y cianidina, desempeñan un papel importante en esta actividad antioxidante (Chirinos et al., 2006).

La efectividad antioxidante de la mashua morada ha sido comprobada por diversos ensayos in vitro, como ORAC (Capacidad de absorción de radicales de oxígeno) , ABTS (ácido

2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), FRAP (Poder antioxidante reductor férrico) y DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo). Estos análisis en las variedades moradas han demostrado una alta capacidad antioxidante, con valores de ORAC entre 271 y 446 μmol Trolox equivalentes por gramo de materia seca (MS). Además, se ha evidenciado que los extractos de mashua morada pueden inhibir eficazmente el daño oxidativo en estructuras biológicas ricas en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), como las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y los eritrocitos (Chirinos et al., 2008).

3.3.2. Efectos antimicrobianos

La mashua morada ha sido objeto de varios estudios que exploran su potencial como agente antimicrobiano natural. Las investigaciones han revelado una notable capacidad de este tubérculo para combatir una variedad de microorganismos. Extractos de *Tropaeolum tuberosum* han mostrado efectos inhibidores significativos sobre *Staphylococcus aureus* y *Candida tropicalis*, con halos de inhibición que alcanzan los 17-22 milímetros (mm) y 27 mm, respectivamente (Djabayan et al., 2024). Además, compuestos aislados de la mashua morada han evidenciado efectos antibacterianos contra *Enterococcus faecalis* y *Salmonella enteritidis*. En algunos casos, el potencial de inhibición de estos compuestos ha sido comparable al de antibióticos como la ampicilina (Ticona et al., 2020).

Las propiedades antimicrobianas de la mashua morada se atribuyen a compuestos bioactivos clave, como los glucosinolatos y los isotiocianatos. Estos compuestos son reconocidos por sus efectos antimicrobianos y se encuentran en gran cantidad en la mashua morada (Median et al., 2023; Ticona et al., 2020). Se destaca que el glucosinolato de 4-metoxibencilo es el más abundante en esta variedad, constituyendo entre el 95% y el 98% del total de glucosinolatos presentes (Medina et al., 2023). Cabe mencionar que la eficacia de la actividad antimicrobiana varía según el método utilizado para obtener los compuestos bioactivos. Los extractos obtenidos por medio de fluidos supercríticos han mostrado una

actividad antimicrobiana contra *Salmonella spp.*, con diámetros de inhibición de hasta 20 mm (Bayas et al., 2022).

3.3.3. Actividad antiinflamatoria

La mashua morada ha sido valorada tradicionalmente por sus propiedades medicinales, destacándose por sus efectos antiinflamatorios. La investigación científica reciente ha validado estos usos etnobotánicos, proporcionando una base empírica para sus aplicaciones terapéuticas (Apaza et al., 2019).

La actividad antiinflamatoria observada en la mashua morada se atribuye a la presencia de compuestos bioactivos específicos. Entre ellos, se ha identificado la N-oleoildopamina, la cual posee una capacidad para modular la respuesta inflamatoria. Este compuesto ejerce su efecto al inhibir el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), una citocina proinflamatoria. Adicionalmente, la N-oleoildopamina suprime la activación del factor nuclear kappa B (NF- κ B), un complejo proteico central en la transcripción de genes relacionados con la inflamación (Apaza et al., 2019). Estos hallazgos sugieren que los compuestos presentes en la mashua morada actúan interfiriendo directamente con las vías moleculares que producen las respuestas inflamatorias (Apaza Ticona et al., 2022).

La eficacia antiinflamatoria de la mashua morada no solo se ha caracterizado a nivel molecular, sino que también se ha comparado con agentes antiinflamatorios. Diversos estudios han revelado que la actividad de *T. tuberosum* es comparable a otras plantas medicinales y fármacos convencionales. Jiménez-Heinert et al. (2020) mostro que un extracto hidroalcohólico de una variedad rosa de mashua posee actividad antiinflamatoria similar a la de la indometacina, un fármaco antiinflamatorio no esteroideo estándar, logrando la inhibición del edema superior al 50%. Este paralelismo en la actividad antiinflamatoria sugiere que las variedades de mashua, incluida la morada, poseen potentes propiedades antiinflamatorias que pueden ser explotadas en el desarrollo de nuevas terapias (Jiménez-Heinert et al., 2020).

3.4. Relevancia funcional y sociocultural de la mashua morada en el contexto andino

Debido a las propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias de la mashua morada, se comprende porque este tubérculo andino se posiciona como uno de los alimentos funcionales más prometedores dentro de su grupo. Su perfil nutricional y funcional la distingue de productos similares, no solo por su composición bioactiva previamente detallada, sino también por su densidad mineral y su versatilidad tecnológica y su relevancia socioeconómica.

3.4.1. Perfil nutricional y tecnológico de la mashua morada en comparación con otros alimentos funcionales

En términos nutricionales, la mashua morada presenta una composición rica en minerales esenciales como potasio, hierro, calcio y zinc, los cuales aportan al funcionamiento de procesos fisiológicos en el organismo (Arteaga et al., 2022; Malpartida et al., 2022; Santillán et al., 2016). A esto se suma su contenido de carbohidratos complejos como el almidón, lo que la convierte en una fuente energética con un perfil saludable para la formulación de alimentos funcionales (Arteaga et al., 2022).

Comparada con otros alimentos funcionales de origen vegetal, como el ñame morado, la batata morada, el arroz negro o el maíz morado, la mashua morada ha demostrado una capacidad antioxidante destacable. Si bien estos cultivos también contienen antocianinas, la variedad y concentración presentes en la mashua, junto con la presencia de otros metabolitos secundarios como glucosinolatos e isotiocianatos, le otorgan una ventaja funcional única (Chirinos et al., 2006; Del Águila, 2018; Muñoz et al., 2023)

Desde una perspectiva tecnológica, la mashua morada puede ser procesada en diferentes formas, como harina, extractos, polvos o ingredientes para productos fermentados, lo que amplía su aplicabilidad tanto en la industria alimentaria como en la cosmética y farmacéutica (Arteaga et al., 2022; Malpartida et al., 2022).

3.4.2. Importancia cultural y socioeconómica de la mashua morada en contextos tradicionales

El profundo valor cultural y socioeconómico de la mashua morada radica en su milenaria historia andina. Domesticada desde tiempos preincaicos, este tubérculo ancestral ha sido cultivada por comunidades indígenas, consolidándose como un pilar en los sistemas agrícolas tradicionales (Chirinos et al., 2006). Su presencia constante en estas prácticas no es causalidad; la mashua representa una fuente de seguridad alimentaria y autonomía campesina. Se destaca por su resistencia a plagas y su capacidad de adaptación a suelos pobres, lo que minimiza la necesidad de agroquímicos y la convierte en un cultivo resistente y amigable (Arteaga et al., 2022; Dilas & Ascurra, 2020). Esta resiliencia la convierte en un componente importante para una agricultura andina sostenible y resiliente al cambio climático, como se ha observado en corredores agrícolas como el de Cusco-Puno (Luque Revuelto & Valle Buenestado, 2024).

Culturalmente, la mashua trasciende su función alimentaria; se encuentra en las tradiciones, rituales y cosmovisión de las comunidades andinas, elementos que estructuran la vida reafirman la identidad de los grupos sociales (Calva Beltrán & Guayllas Guayllas, 2016; Viteri et al., 2020). Su cultivo y consumo se asocian con conocimientos ancestrales sobre el manejo del suelo, la rotación de cultivos y la conservación de la agro biodiversidad, abarcando rituales específicos de siembra y cosecha (Flores, 2013; Viteri et al., 2020). Además, su diversidad de variedades, como la mashua morada, muestra la riqueza genética mantenida a lo largo de los años por los agricultores locales, quienes han sido guardianes de este patrimonio genético y cultural (Flores, 2010; Begazo et al., 2019). Este conocimiento tradicional, transmitido de generación en generación, resalta el valor intrínseco de la mashua como parte de la identidad cultural andina, no solo como un alimento, sino como un símbolo de la persistencia y sabiduría de sus pueblos (Almeida et al., 2021).

Desde una perspectiva socioeconómica, la mashua contribuye significativamente a las economías locales y a la subsistencia de familias campesinas en los andes, formando parte de la seguridad alimentaria a través del autoconsumo o la generación de ingresos por su venta (Grau et al., 2025). Su fácil cultivo y bajos requerimientos de insumos la hacen accesible para pequeños productores, proporcionando ingresos adicionales por su venta en mercados locales (Clavijo Ponce & Pérez Martínez, 2014). En un contexto de seguridad alimentaria global y sostenibilidad agrícola, la mashua morada es una alternativa prometedora. Su adaptabilidad la convierte en un cultivo con potencial para sistemas de agricultura urbana o periurbana, donde puede contribuir a la alimentación de las ciudades (Sáenz et al., 2019). Revalorizar y promover el consumo y cultivo de la mashua y sus variedades como la morada no solo honra su legado histórico, sino que también ofrece soluciones a los desafíos alimentarios y ambientales del presente y el futuro.

4. APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA MASHUA MORADA

La mashua morada por su elevado contenido de compuestos bioactivos, especialmente fenólicos, flavonoides y antocianinas, le confiere propiedades antioxidantes prometedoras para conversiones industriales (Behar et al, 2021). Si bien se han explorado y documentado sus compuestos bioactivos, actividad antimicrobiana y antiinflamatoria, el potencial de la mashua morada en el ámbito industrial se encuentra en desarrollo, a pesar de las prometedoras evidencias científicas. Este capítulo profundiza en las diversas aplicaciones industriales que la mashua morada podría ofrecer, basándose en su composición y sus propiedades funcionales, con énfasis en su pigmentación característica y su perfil de compuestos bioactivos.

4.1. Pigmentos Naturales: Antocianinas de la Mashua Morada como colorantes alimentario e industriales

Una de las características más distintivas de la mashua morada es su intensa coloración, atribuida a la presencia de antocianinas. Estos pigmentos, pertenecientes al grupo de flavonoides, son responsables de los tonos rojos, púrpuras y azules en muchas frutas y vegetales. A diferencia de los colorantes sintéticos, las antocianinas se consideran seguras para el consumo humano y, lo que es más importante, poseen propiedades bioactivas adicionales, como su capacidad antioxidante. Esta doble funcionalidad permite reemplazar a los aditivos artificiales en diversas industrias (Behar et al., 2021; Campos et al., 2006; Garzón, 2008; Huacco, 2016; Inostroza et al., 2015; Lara et al., 2024).

La extracción de antocianinas de la mashua morada presenta oportunidades industriales. Diversos estudios han caracterizado las antocianinas presentes en la mashua. Por ejemplo, Puma Jihuallanca & Fernandez Gallardo (2021) identificaron y cuantificaron varias antocianinas en ecotipos de mashua, incluyendo cianidina y delfinidina, que son pigmentos comunes en la variedad morada.

La estabilidad de esos pigmentos es importante para su aplicación industrial. La estabilidad de las antocianinas está influenciada por factores como el pH, la temperatura, la luz y la presencia de otros compuestos. A pH ácido, las antocianinas se presentan en su forma catiónica flavilio, responsable de los tonos rojos y púrpuras, mientras que, a pH más neutro o alcalino, pueden degradarse o adoptar formas incoloras, lo que es un desafío en la formulación de productos (He & Giusti, 2010; Oancea, 2021;). Sin embargo, las investigaciones exploran métodos para mejorar su estabilidad, como la co-pigmentación, la micro encapsulación o el uso de aditivos protectores (Ljod et al., 2024; Popowska & Oracz, 2025).

Las aplicaciones de estos pigmentos son amplias. En la industria alimentaria, las antocianinas de la mashua morada podrían emplearse como colorantes naturales en

productos como yogures, bebidas, confitería, helados y productos de panadería. Su capacidad para proporcionar una coloración atractiva y, al mismo tiempo, aportar beneficios para la salud por su actividad antioxidante, le da un valor diferencial de los demás tubérculos (Aguirre, 2017; Arellano Arellano, 2022; Chanca Anquipa, 2024; Inostroza et al., 2015; Orellano Gonzales & Valverde Torres, 2017). Por ejemplo, el estudio de Tapia Echarri (2022) muestra el potencial de los extractos de la mashua en la formulación de bebidas funcionales, resaltando la contribución de los pigmentos a la aceptabilidad del producto.

Una aplicación destacada de la mashua morada es su uso como colorante natural en productos lácteos, en particular helados. En un estudio reciente, Chanca Anquipa (2024) optimizó la extracción de antocianinas mediante un tratamiento térmico controlado (50°C durante 6 horas), obteniendo un alto contenido de pigmentos bioactivos y una aceptabilidad sensorial superior al 90%. Este uso que presenta la mashua morada representa una solución efectiva para reemplazar colorantes artificiales por ingredientes naturales con beneficios adicionales para la salud, promoviendo el desarrollo de productos lácteos saludables.

Aparte del sector alimentario, los pigmentos de mashua morada también tienen potencial en la industria cosmética, como colorantes naturales para labiales, como sombras de ojos o productos para el cuidado de la piel (Brudzynska et al., 2021; Castillo et al., 2019). En la industria textil, podrían ofrecer una alternativa sostenible a los tintes sintéticos, especialmente en los productos ecoamigables. La investigación en esta área aún es emergente, pero el interés en colorantes naturales biodegradables y no tóxicos está creciendo (Alegbe & Uthman, 2024; Pizzicato et al., 2023).

El escalado industrial de la extracción de antocianinas de mashua morada requiere la optimización de procesos de extracción eficientes y sostenibles, como la extracción asistida por fluidos supercríticos o la extracción con disolventes eutécticos profundos, que son

métodos más amigables con el medio ambiente y mejoran el rendimiento y la pureza del extracto (Azmir et al., 2013; Moreno, 2017).

La fermentación controlada emerge como una técnica ecológica y eficiente para la extracción de antocianinas de la mashua, particularmente de la variedad morada. En una tesis dirigida por Carrera Huamán y Torres Castro (2024) se optimizaron condiciones de fermentación (pH 3.19, temperatura 38.99°C, durante 72 h), obteniendo un contenido de 200.865 mg de cianidina-3-glucósido por gramo de muestra seca, junto a 867.72 mg EAG/100 g de fenoles totales y una capacidad antioxidante de 366.85 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$. El estudio de Puma Jhuallanca y Fernández Gallardo (2021) compararon extractos fermentados de mashua con los de maíz morado y arándano, determinando que, en mashua morada, las concentraciones fueron de 0.0298 mg/g de cianidina-3-glucósido y 0.0195 mg/g de delphinidina-3-glucósido, junto con una capacidad antioxidante de 180.342 mg/TE/100 g, similar a la de maíz morado y superior a la del arándano.

4.2. Ingredientes Funcionales y Nutraceuticos: valor agregado de los compuestos bioactivos de la mashua morada

La mashua morada es una fuente de diversos compuestos bioactivos, además de las antocianinas, que la proporcionan propiedades funcionales y un potencial en el desarrollo de ingredientes nutraceuticos. La actividad antimicrobiana y antiinflamatoria se ha mencionado anteriormente, pero es fundamental destacar como estas propiedades se traducen en aplicaciones industriales concretas.

Los glucosinolatos y sus isotiocianatos derivados, presentes en la mashua, son conocidos por sus propiedades anticancerígenas y antimicrobianas. Por ejemplo, Campos et al. (2006) han investigado el perfil de glucosinolatos en diferentes variedades de mashua (incluyendo la variedad morada), resaltando su contribución al valor nutraceutico del tubérculo. La extracción y concentración de estos compuestos puede dar lugar a ingredientes

funcionales específicos. Extractos ricos en isotiocianatos pueden reducir la necesidad de aditivos sintéticos y ser incorporados en formulaciones para productos de limpieza, desinfectantes naturales o incluso como conservantes alimentarios sintéticos (Lara Moya, 2019). Los isotiocianatos derivados de glucosinolatos han demostrado ser eficaces como antimicrobianos en envases activos de alimentos, inhibiendo bacterias y hongos (Yaqoob et al., 2020).

La actividad antiinflamatoria, atribuida a compuestos fenólicos y flavonoides, permite el desarrollo de suplementos nutracéuticos y productos farmacéuticos. La inflamación crónica es un factor subyacente en muchas enfermedades modernas. Extractos estandarizados de mashua morada, ricos en estos compuestos, pueden ser utilizados en la formulación de cápsulas o bebidas funcionales destinadas a personas con condiciones inflamatorias o para la prevención de enfermedades relacionadas con la inflamación. Por ejemplo, Vila Sosa et al. (2024) evaluaron in vitro la actividad antiinflamatoria de extractos hidroalcohólicos liofilizados de mashua negra (ecotipo cercano a la morada), reportando una inhibición del 78.7% en la estabilización de membrana de eritrocitos a 3 mg/mL, similar a antiinflamatorios sintéticos como diclofenaco y dexametasona.

La mashua morada posee un potencial para su inclusión en la dieta como alimento funcional por sus propiedades nutricionales y bioactivas. Una de las aplicaciones innovadoras de este tubérculo se evidencia en el desarrollo de bebidas funcionales. La optimización de dichas bebidas, ha demostrado resultados prometedores, especialmente en cuanto a su capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas. Estas características han permitido obtener productos con alta aceptabilidad sensorial (Velásquez et al., 2020).

Además de las bebidas, la mashua morada puede ser transformada en harina precocida, lo que aumenta su uso en la industria alimentaria. La harina de cubio (mashua) ha

sido objeto de caracterización fisicoquímica, funcional y reológica, demostrando propiedades que la hacen apta para la fabricación de diversos productos. Se ha encontrado que la fertilización orgánica puede mejorar la calidad de los cubios y las harinas derivadas, lo que resalta la importancia de las prácticas agrícolas en la composición final de los alimentos (Romero de la Hoz & Tuiran Prado, 2017). Esta harina puede ser incorporada en panadería, respotería, pastas y sopas, aportando no solo nutrientes sino también fibra dietética y compuestos antiinflamatorios (Acurio et al., 2023).

El almidón de tubérculos andinos, incluido la mashua morada, pueden ser utilizados en la creación de alimentos funcionales a través de modificaciones como la esterificación con anhídrido octenil succínico (OSA). Estos almidones modificados adquieren propiedades emulsificantes, estabilizantes, encapsulantes y reológicas mejoradas, lo que los hace versátiles para la formulación de productos alimentarios que requieren características texturales y de estabilidad específica (Velásquez Barreto, 2019).

Una aplicación novedosa y de alto valor nutracéutico se demostró en el estudio de Chávez (2023), donde se evaluó la eficiencia de la microencapsulación y la supervivencia del probiótico *Lactobasillus caseo ATCC 393* con jugo de mashua morada, encontrando resultados positivos. El jugo de mashua no solo actuó como agente encapsulante, sino que también proporcionó un medio protector rico en compuestos antioxidantes y fenólicos, mejorando la viabilidad del probiótico en comparación con otros medios. Esta sinergia entre compuestos bioactivos y microorganismos benéficos permite el desarrollo de productos simbióticos, con un potencial para la salud intestinal y el sistema inmune, consolidando a la mashua morada como una excelente materia prima para el diseño de alimentos funcionales avanzados.

Asimismo, la mashua morada ha mostrado propiedades antioxidantes aplicables en aceites comestibles, como se evidenció en el estudio de Chan Moromisato (2015), quien evaluó la actividad antioxidante de sus compuestos fenólicos en aceite de linaza. A

concentraciones de 240 ppm, estos extractos mostraron una eficiencia antioxidante superior al BHT, un antioxidante sintético. Esta sustitución de aditivos sintéticos por extractos naturales posiciona la mashua morada como alternativa para mejorar la vida útil y la calidad de productos lipídicos, contribuyendo a la formulación de alimentos más seguros y funcionales.

Jumpa y Encinas (2018) diseñaron un filtrante bioactivo a base de mashua morada y tusa de maíz morado, aprovechando la sinergia de sus pigmentos y antioxidantes. Este producto posee un alto valor nutricional por sus propiedades funcionales y puede ser usado en aplicaciones para tratamientos digestivos, o incluso como agente antimicrobiano en su uso terapéuticos.

4.3. Aplicación de la Mashua Morada en Bioplásticos y Materiales Biodegradables

El creciente interés global por alternativas sostenibles al plástico tradicional ha impulsado el desarrollo de bioplásticos a partir de recursos naturales. La mashua morada, gracias a su alto contenido de almidón y polisacáridos, se perfila como una materia prima para este propósito. Un estudio realizado en Perú evaluó la elaboración de bioplásticos combinando residuos de mashua con tocosh (*Solanum tuberosum*), como matriz principal. Se fabricaron pelotas plásticas mediante moldeos, y se sometieron a pruebas de degradación por 30 días a temperatura baja. El tratamiento con 100% de mashua mostró una degradación sostenida, evidenciando que estos materiales son biodegradables en condiciones ambientales (Minchola Segovia, 2019).

Otro enfoque se centra en el diseño de procesos industriales para la extracción y manejo de almidón de mashua. Robalino et al., 2019 describieron una planta piloto que logra un rendimiento de 1 kg de almidón por cada 58 kg de tubérculo, con un costo estimado de USD 0.30/kg. Este nivel de eficiencia permite proyectar una producción escalable y rentable al almidón como materia prima base para biopolímeros.

El almidón de mashua posee características funcionales, como un alto contenido de amilosa, elevada capacidad de hinchamiento y formación de geles, lo que le confiere propiedades físicas útiles en la fabricación de películas bioplásticas. Además, puede ser modificado químicamente para mejorar su flexibilidad, solubilidad y resistencia mecánica, adaptándose a requisitos industriales (Quispe Ruiz, 2018).

En la industria, el uso de mashua morada para bioplásticos representa una doble contribución ambiental y económica. Primero, al ser de una fuente de biopolímeros renovables, permite reducir la dependencia de los derivados del petróleo, siguiendo las tendencias globales hacia materiales biodegradables en reemplazo de plásticos convencionales. En segundo lugar, la valorización de residuos agroindustriales, restos del procesamiento de tubérculos que se desechan, así estos se reintegran a una economía circular, reduciendo el impacto ambiental (Jayarathana et al., 2022).

Los residuos generados durante el procesamiento del tubérculo, como las cáscaras y los restos fibrosos después de la extracción de almidón o pigmentos, también pueden ser eficientemente valorizados. Estos subproductos pueden ser ricos en fibra dietética insoluble, por lo que podría ser reincorporada en alimentos funcionales para mejorar la salud intestinal y la digestión, o bien en pectina, que poseen valiosas aplicaciones como agentes gelificantes, espesantes, y estabilizadores en la industria alimentaria (Ccana & Consuelo, 2017; Jiménez & Toro, 2020).

4.4. Desarrollo de Productos Cosméticos y Farmacéuticos a partir de Mashua Morada

En el ámbito industrial, la mashua morada se perfila como una fuente prometedora de ingredientes naturales para formulaciones cosméticas y farmacéuticas, debido a la sinergia de sus compuestos bioactivos (Vila Sosa et al., 2024). Estos compuestos han demostrado ser efectivos en la inhibición de procesos inflamatorios y en la protección contra daños causados por radicales libres, responsables del envejecimiento celular y diversas enfermedades

cutáneas (Behar et al., 2021). Por ello, extractos de mashua morada se investigan como ingredientes naturales para formulaciones dermocosméticas, como cremas, lociones y ungüentos, que buscan ofrecer beneficios terapéuticos sin los efectos adversos asociados a algunos productos sintéticos (Behar et al., 2021; Vila Sosa et al., 2024).

Investigaciones recientes han evidenciado que los extractos hidroalcohólicos liofilizados de mashua morada pueden inhibir la estabilización de membranas de eritrocitos, un indicador de actividad antiinflamatoria, con una eficacia comparable a antiinflamatorios convencionales como diclofenaco (Vila Sosa et al., 2024). Además, la actividad antimicrobiana de los glucosinolatos e isotiocianatos derivados de esta especie aporta un valor agregado para la prevención de infecciones cutáneas (Campos et al., 2006; Lara Moya, 2019). Estas propiedades posicionan a la mashua morada como una fuente natural para el desarrollo de productos farmacéuticos tópicos y cosméticos que además de mejorar la salud cutánea también cumplen con la demanda de productos naturales y sostenibles en el mercado (Campos et al., 2006; Vila Sosa et al., 2024).

Por otra parte, la estabilidad de estos compuestos en las formulaciones es un factor crítico para asegurar la eficacia y vida útil del producto. Estudios de formulación han optimizado la incorporación de extractos de mashua a lociones, garantizando una aceptabilidad sensorial favorable y la conservación de las propiedades antioxidantes durante el almacenamiento (Chanca AnQUIPA, 2024). Así, la mashua morada no solo representa un recurso funcional sino también competitivo para la industria cosmética y farmacéutica (Chana AnQUIPA, 2024).

4.5. Mashua morada para combatir el Cáncer de Próstata

La mashua morada ha sido tradicionalmente empleada en los Andes para tratar problemas de próstata, infecciones urinarias y afecciones reproductivas masculinas (Ticona et al., 2020). Diversos estudios experimentales han evaluado el impacto de la mashua sobre la

función reproductiva masculina. En el estudio de Cárdenas-Valencia et al. (2008) administraron 1 g/kg de extracto deshidratado a ratas durante 7 a 42 días, observando una reducción en la producción diaria de espermatozoides, conteo espermático en epidídimo y morfología alterada, sin cambios en testosterona sérica. Estos efectos fueron reversibles, tras cuatro semanas sin tratamiento, confirmando su carácter anti-androgénico y la seguridad temporal del uso.

En el estudio de Pichazaca y Solano (2022) se recopiló estudios donde la mashua, administrada a dosis de 800 mg/kg, logró una reducción del volumen prostático en ratas macho inducidas con HPB (Hiperplasia Prostática Benigna), con resultados comparables a los obtenidos con finasterida. Los investigadores destacan que estos efectos se atribuyen a la inhibición de 5 α -reductasa a través de glucosinolatos e isotiocianatos, lo que impide la conversión de testosterona a dihidrotestosterona (DHT), alimento celular prostático.

A pesar del respaldo preclínico, aun no hay ensayos clínicos con humanos que validen los efectos de la mashua en próstata. La falta de estudios humanizados limita su uso terapéutico. Las principales carencias identificadas en la revisión etnofarmacológica de Apaza et al incluyen ausencia de estudios de dosificación segura y biodisponibilidad humana, poca presencia de reportes de efectos adversos crónicos, ni interacciones con medicamentos convencionales y escasa caracterización de compuestos bioactivos específicos.

4.6. Tecnología de almacenamiento y procesamiento para prolongar la vida útil de la Mashua morada

El manejo postcosecha y el procesamiento adecuado de la mashua morada son importantes para preservar sus valiosas propiedades funcionales y bioactivas. Varios estudios han señalado que factores como la temperatura, la humedad y el tiempo de almacenamiento impactan en la estabilidad de las antocianinas, flavonoides y otros compuestos antioxidantes

presentes en la mashua (Velásquez et al., 2020). Por ello, la implementación de técnicas adecuadas de almacenamiento es clave para mantener la calidad del tubérculo.

La aplicación más investigada de la mashua morada es la producción de harinas precocidas, que facilitan su uso industrial en panadería, repostería, entre otros. Romero de la Hoz y Tuiran Prado (2017) demostraron que los tratamientos térmicos controlados permiten conservar las propiedades nutricionales y funcionales del tubérculo, aumentando su vida útil y facilitando su transporte y almacenamiento. Esto posiciona a la harina de mashua como una materia prima versátil para la industria alimentaria (Romero de la Hoz & Tuiran Prado, 2017).

Además, técnicas emergentes como el uso de atmósferas controladas y envases activos enriquecidos con antioxidantes naturales se están explorando para prolongar la calidad de los productos derivados de la mashua morada. Orellano González y Valverde Torres (2017) destacan que estas tecnologías pueden retardar la degradación de pigmentos y compuestos fenólicos, manteniendo las propiedades funcionales del tubérculo durante más tiempo, lo que permite su comercialización a escala industrial (Orellano González & Valverde Torres, 2017).

4.7. Análisis económico y Comercialización de productos derivados de la mashua morada

El desarrollo de la mashua morada como producto industrial enfrenta desafíos económicos y comerciales, aunque posee considerable potencial para activar las economías rurales andinas. Estudios realizados en Perú y Ecuador indican que, a pesar de su alto valor nutracéutico y funcional, la mashua morada tienen presencia limitada en los mercados debido a la escasa industrialización y falta de canales de comercialización formalizados (Manzano Herrera, 2023; Minchola Segovia, 2019).

Los pequeños productores por lo general comercializan de manera informal, lo que restringe su potencial de ingresos y desarrollo. Para superar estas barreras, es necesario fortalecer las cooperativas agrícolas, mejorar las prácticas de producción y postcosecha, y

promover la certificación de productos que valoricen su origen y propiedades (Robalino et al., 2019). La incorporación de mashua morada en productos de mayor valor agregado, como harinas, extractos, y bioplásticos, puede aumentar la rentabilidad y generar empleo local, activando la economía rural (Minchola Segovia, 2019).

La inversión en investigación y desarrollo también permiten optimizar los procesos productivos, garantizar la calidad y ampliar la oferta de productos derivados para así consolidar la posición de la mashua morada en mercados nacionales e internacionales. Sectores como alimentos funcionales, cosméticos naturales y materiales biodegradables presentan alta demanda y un potencial de crecimiento (Manzano Herrera, 2023; Minchola Segovia, 2019).

5. CONCLUSIONES

1. Se ha analizado la composición química de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*), identificando y caracterizando sus principales compuestos bioactivos, tales como antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides y glucosinatos. Este análisis ha permitido evaluar su potencial para diversas aplicaciones industriales, incluyendo su uso como pigmentos naturales, ingredientes funcionales, materia prima para bioplásticos, y en el desarrollo de productos cosméticos y farmacéuticos.
2. Se han evaluado las propiedades funcionales de los compuestos bioactivos de la mashua morada, destacando su actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana. Esta evaluación confirma su alta aplicabilidad en la industria alimentaria para la formulación de bebidas funcionales, harinas, productos probióticos y como conservante natural; así como en la industria farmacéutica y cosmética para el desarrollo de productos tópicos y nutracéuticos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acurio, L., Salazar, D., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2023). Third-generation snacks manufactured from Andean tubers and tuberous root flours: microwave expansion kinetics and characterization. *Foods*, 12(11), 2168.

Alegbe, E. O., & Uthman, T. O. (2024). A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. *Heliyon*.

Alfredo, G., Dueñas, R. O., Cabrera, C. N., & Hermann, M. (2003). Mashua (*tropaeolum tuberosum* ruíz & pav.). promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 25. international potato center, lima, peru/international plant genetic resources institute, rome, italy. IPGRI Via dei Tre Denari, 472.

Almeida, E., Cajas, D., & Amaru Chimba, J. (2021). Aspectos relevantes de la cosmovisión andina mediante narrativas para el fortalecimiento de la identidad y el orgullo cultural de las comunidades kichwa del norte del Ecuador. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 9(2).

Aguirre Huayhua, C. (2017). Evaluación de las concentraciones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y aguaymanto (*Physalis peruviana*) en la formulación de una bebida funcional.

Apaza, L., Pérez, V. T., Serban, A. M., Navarro, M. J. A., & Rumbero, A. (2019). Alkamides from *Tropaeolum tuberosum* inhibit inflammatory response induced by TNF- α and NF- κ B. *Journal of Ethnopharmacology*, 235, 199-205.

Arellano Arellano, J. C. (2022). Evaluación de la aceptabilidad de un yogur batido saborizado con mermelada de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) ecotipos amarilla y morada (Master's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2022).

Arteaga-Cano, D., Chacón-Calvo, L., Samamé-Herrera, V., Valverde-Cerna, D., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95-101.

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.

Bayas-Chacha, F., Bermeo-Sanchez, M., Herrera-Chavez, B., & Bayas-Morejón, F. (2022). Antimicrobial and antioxidant properties of *Tropaeolum tuberosum* extracts from Ecuador.

Begazo, D., Torres, I., Márquez-Castellanos, E., Segovia, J., Zarazúa, M., Casas, A., ... & Torres-Guevara, J. (2019). Sacha, aracca, k'ipay cultura andina: Las bases de la diversidad de papas. *LEISA revista de agroecología*, 35(2), 12-15.

Behar, H., Reategui, O., Liviach, D., Arcos, J., & Best, I. (2021). Phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of six accessions of mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.) from Puno Region, Peru. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), 9707-9714.

Brudzyńska, P., Sionkowska, A., & Grisel, M. (2021). Plant-derived colorants for food, cosmetic and textile industries: A review. *Materials*, 14(13), 3484.

Calva Beltrán, C. I., & Guayllas Guayllas, J. (2016). Caracterización etnobotánica de tres especies andinas: melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*) y mashua (*Tropaeolaceae tuberosum*), domesticadas en el cantón Saraguro.

Bulacio, E., & Ayarde, H. (2012). Aspectos ecológicos y distribución de *Tropaeolum tuberosum* Ssp. *silvestre* (*Tropaeolaceae*) en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 47(1-2), 97-101.

Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1481-1488.

Cárdenas-Valencia, I., Nieto, J., Gasco, M., Gonzales, C., Rubio, J., Portella, J., & Gonzales, G. F. (2008). *Tropaeolum tuberosum* (Mashua) reduces testicular function: effect of different treatment times. *Andrologia*, 40(6), 352-357.

Carrera Huaman, D. S., & Torres Castro, R. D. P. (2024). Extracción de antocianinas de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón "mashua" por fermentación como antioxidante y colorante en la industria farmacéutica.

Castañeda, P., & Chasquibol, N. (2024, November). Development of Instant Puree from Native Potatoes (*Solanum andigenum*) and Black Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) Fortified with Black Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In *Biology and Life Sciences Forum* (Vol. 37, No. 1, p. 7). MDPI.

Castillo Shimohira, Y. M., Falconi Sarmiento, G. A., Manrique Nuñez, Y. K., & Roca Lira, F. J. (2019). Industrialización de mashua negra como polvo atomizado y su exportación al mercado estadounidense de industria cosmética natural: plan de negocios en alianza con la Asociación de Productores Agropecuarios de Pazos (ASPAPA).

Ccana, R., & Consuelo, F. (2017). Efecto del estrés abiótico post-cosecha en las características físico-químicas y de algunos metabolitos primarios de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón).

Chan Moromisato, J. P. (2015). Eficacia antioxidante de los compuestos fenológicos de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en la estabilidad del aceite de linaza (*Linum usitatissimum* L.).

Chanca Anquiqa, P. M. (2024). Optimización de la obtención de antocianinas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) para la elaboración de un colorante natural aplicable en helados.

Chávez Escalante, A. A. (2023). Eficiencia del microencapsulado del *Lactobacillus casei* ATCC 393 con jugo de mashua y supervivencia en condiciones gastrointestinales simuladas.

Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C., Rogez, H., Rees, J.-F., Larondelle, Y., ... Cisneros-Zevallos, L. (2007). Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 437–446. doi:10.1002/jsfa.2719

Chirinos, R., Campos, D., Betalleluz, I., Giusti, M. M., Schwartz, S. J., Tian, Q., ... Larondelle, Y. (2006). High-Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection (HPLC–DAD)/HPLC–Mass Spectrometry (MS) Profiling of Anthocyanins from Andean Mashua Tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón) and Their Contribution to the Overall Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7089–7097. doi:10.1021/jf0614140

Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J. F., & Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food chemistry*, 111(1), 98-105.

Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., & Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55(2), 217-225.

Cisneros, F. H., Talavera, M. J., & Cisneros-Zevallos, L. (2022). The Impact of Andean Biodiversity on a Healthy Diet and Assessment of the Anti-Inflammatory Potential of the Peruvian Cuisine. In *Native Crops in Latin America* (pp. 115-159). CRC Press.

Clavijo Ponce, N. L., & Pérez Martínez, M. E. (2014). Tubérculos andinos y conocimiento agrícola local en comunidades rurales de Ecuador y Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(74), 149-166.

Coloma, A., Flores-Mamani, E., Quille-Calizaya, G., Zaira-Churata, A., Apaza-Ticona, J., Calsina-Ponce, W. C., ... & Huanca-Rojas, F. (2022). Characterization of Nutritional and Bioactive Compound in Three Genotypes of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón) from Different Agroecological Areas in Puno. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 7550987.

Dable-Tupas, G., Tulika, V., Jain, V., Maheshwari, K., Brakad, D. D., Naresh, P. N., & Suruthimeenakshi, S. (2023). Bioactive compounds of nutrigenomic importance. In *Role of nutrigenomics in modern-day healthcare and drug discovery* (pp. 301-342). Elsevier.

Del Águila Lopez, S. G. (2018). El cultivo e importancia socio-económico-cultural del cultivo de la mashua.

Díaz, A. (2019). Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales de la mashua morada *Tropaeolum tuberosum*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).

Dilas-Jimenéz, J. O., & Ascurra-Toro, D. I. L. M. A. (2020). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) cultivo subutilizado con alto potencial para zonas altoandinas en el Perú. *Alpha Centauri*, 1(1), 15-24.

Djabayan Djibeyan, P., Cantos Jiménez, M. G., Lucena de Ustariz, M. E., Caiza Ruíz, M. V., & Ustariz Fajardo, F. J. (2024). Actividad biológica in vitro de los extractos acuosos y alcohólicos de tubérculos andinos. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 53(1).

Flores, D. V. (2013). Recopilación de saberes ancestrales sobre las especies andinas alimenticias. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) Pesillo, Cayambe–Ecuador, 2010.

Garzón, G. A. (2008). Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds: A review. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.

Gonzales-Daga, J., Alvis-Dávila, R., Pino-Gaviño, J. L. R., & Iziga-Goicochea, R. (2020). Efecto de la solución acuosa de "mashua" en la capacidad reproductiva de machos y su implicancia en el desarrollo embrionario preimplantacional. Prueba preclínica: Effect of the aqueous solution of "mashua" on the reproductive capacity of male *mus musculus* and its implication in preimplantation embryonic development. Preclinical test. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(4).

Gonzales-Torre, H., Aliaga-Barrera, I., & Velásquez-Barreto, F. F. (2020). Efecto del Chlorpropham (CIPC) en la brotación y compuestos bioactivos de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) durante el almacenamiento. *Bioagro*, 32(1), 49-58.

Grau, A., Andrade, N. J. P., & Sørensen, M. (2025). Traditional uses, processes, and markets: the case of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). *Traditional Starch Food Products*, 269-278.

Guevara-Freire, D. A., Valle-Velástegui, L., Barros-Rodríguez, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Dobronski-Arcos, J., & Pomboza-Tamaquiza, P. (2018). Nutritional composition and bioactive components of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(1).

Guevara Peñaherrera, H. A. (2019). Fenología floral de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la escala BBCH para mejora de la productividad (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019).

He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual review of food science and technology*, 1(1), 163-187.

Huaccho Huamán, C. V. (2016). Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas de 84 cultivares de mashua (*tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón).

Ijod, G., Nawawi, N. I. M., Anwar, F., Rahim, M. H. A., Ismail-Fitry, M. R., Adzahan, N. M., & Azman, E. M. (2024). Recent microencapsulation trends for enhancing the stability and functionality of anthocyanins: a review. *Food Science and Biotechnology*, 33(12), 2673-2698.

Inostroza, L. A., Castro, A. J., Hernández, E. M., Carhuapoma, M., Yuli, R. A., Collado, A., & Córdova, J. S. (2015). Actividad antioxidante de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón (mashua) y su aplicación como colorante para yogur. *Ciencia e investigación*, 18(2), 83-89.

Jacobo-Velázquez, D. A., Peña-Rojas, G., Paredes-Avila, L. E., Andía-Ayme, V., Torres-Contreras, A. M., & Herrera-Calderon, O. (2022). Phytochemical characterization of twenty-seven peruvian Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) morphotypes and the effect of postharvest methyl jasmonate application on the accumulation of antioxidants. *Horticulturae*, 8(6), 471.

Jayarathna, S., Andersson, M., & Andersson, R. (2022). Recent advances in starch-based blends and composites for bioplastics applications. *Polymers*, 14(21), 4557.

Jiménez, J. O. D., & Toro, D. A. (2020). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) cultivo subutilizado con alto potencial para zonas altoandinas en el Perú. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Alpha Centauri*, 1(1), 15-24.

Jiménez-Heinert, M. E., Gutiérrez-Gaitén, Y. I., Chóez-Guaranda, I., & Miranda-Martínez, M. (2020). Pharmacognostic, chemical and anti-inflammatory activity study of two varieties of *Tropaeolum tuberosum* (Ruiz & Pav.) Kuntze (*Tropaeolaceae*). *International Journal of Pharmacy and Chemistry*, 6(4), 41-53.

Jumpa, M., & Encinas, L. Formulación y evaluación sensorial de un filtrante bioactivo basado en mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y tusa de maíz morado (*Zea mays*).

Kowalczyk, E., Krzesiński, P., Kura, M., & Kopff, M. (2004). Anthocyanins--"pigmental allies" of physicians. *Wiadomosci Lekarskie (Warsaw, Poland: 1960)*, 57(11-12), 679-681.

Lara, K. P. S., Flores, J. G. P., López, R. E. C., Vega, K. S., Curiel, L. G., Escalante, E. P., ... & Torres, L. A. P. (2024). Exploración Integral de los Colorantes Naturales en la Industria Alimentaria: Desafíos y Oportunidades. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(3), 4586-4614.

Langi, P., Kiokias, S., Varzakas, T., & Proestos, C. (2018). Carotenoids: From plants to food and feed industries. *Microbial carotenoids: Methods and protocols*, 57-71.

Lara Moya, L. M. (2019). Evaluación del contenido de Isotiocianatos de los extractos vegetales de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), mostaza (*Raphanus raphanistrum* L.) y mastuerzo (*Tropaeolum majus*) y su actividad nematocida in vitro para el control de *Meloidogyne*.

Limaymanta Carhuallanqui, E. (2018). Efecto del estrés abiótico post-cosecha en la síntesis de glucosinolatos, actividad mirosinasa y carotenoides en mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

Luque Revuelto, R. M., & Valle Buenestado, B. (2024). Una agricultura sostenible y resiliente al cambio climático en los Andes: el corredor Cusco-Puno (Perú).

Malpartida Yapias, J. R., Astete Adama, J., Cajachagua, Y., & Rosales Sánchez, M. C. Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): una revisión. *Rev Tecnológica Espol.* 2022; 34 (2): 41–51.

Manzano Herrera, D. A. (2023). Análisis de las técnicas postcosecha aplicadas a la mashua (*tropaeolum tuberosum*) en la asociación de mujeres indígenas Mushuk Kausay, 2022 (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of natural medicines*, 74(1), 1-16.

Mejía Lotero, F. M., Salcedo Gil, J. E., Vargas Londoño, S., Serna Jiménez, J. A., & Torres Valenzuela, L. S. (2018). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tubérculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* y *Ullucus tuberosus*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 449-456.

Medina-Marroquín, L. A., Yucra-Condori, H. R., Gárate, J., Mendoza, C., & Deflorio, E. (2023). Effect of heat processing on bioactive compounds of dehydrated (lyophilized) purple mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 321-333.

Minchola Segovia, G. V. (2019). Elaboración y degradación de bioplástico de residuos de *Solanum tuberosum* y *Tropaeolum tuberosum* en lugares de bajas temperatura-Oyón, 2019.

Moreno Ramírez, D. R. (2017). Evaluación del efecto de la presión y temperaturas en la extracción con CO₂-supercrítico, de glucosinolatos de mashua chispeada (*Tropaeolum tuberosum*).

Muñoz, A. M., Jimenez-Champi, D., Contreras-López, E., Fernández-Jerí, Y., Best, I., Aguilar, L., & Ramos-Escudero, F. (2023). Valorization of extracts of Andean roots and tubers and its byproducts: bioactive components and antioxidant activity in vitro. *Food Research*, 7(4), 55-63.

Nieto Jaramillo, G. J. (2004). Cuantificación de la erosión genética de melloco (*Ullucus tuberosus* Caldas), oca (*Oxalis tuberosa* Molina.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon.) en localidades de las provincias de Chimborazo y Tungurahua.

Oancea, S. (2021). A review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. *Antioxidants*, 10(9), 1337.

Ochoa Rivera, X. A. (2024). Efecto diurético y dosaje de electrolitos del tubérculo liofilizado de *Tropaeolum tuberosum* R. &P. "mashua negra" en ratas Holtzman. Ayacucho, 2024.

Orellano Gonzales, E. V., & Valverde Torres, J. M. (2017). Propiedades físicas, antocianinas y capacidad antioxidante del atomizado de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) encapsulado con maltodextrina.

Ortega, O. R., Duran, E., Arbizu, C., Ortega, R., Roca, W., Potter, D., & Quiros, C. F. (2007). Pattern of genetic diversity of cultivated and non-cultivated mashua, *Tropaeolum tuberosum*, in the Cusco region of Perú. *Genetic resources and crop evolution*, 54, 807-821.

Pappalardo, I., Convertini, P., & Infantino, V. (2024). Anthocyanins. In *Natural Molecules in Neuroprotection and Neurotoxicity* (pp. 1221-1239). Academic Press.

Paucar Anasi, S. (2014). Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (*tropaeolum tuberosum*): amarilla chaucha y zapallo (Doctoral dissertation, Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador).

Perera, C. O., & Yen, G. M. (2007). Functional properties of carotenoids in human health. *International Journal of Food Properties*, 10(2), 201-230.

Pichazaca, R. J. S., & Solano, J. C. S. (2022). Andean phytotherapy: systematic review of its application in prostate cancer. *Revista Cubana de Urología*, 11(2), 16-25.

Pissard, A., Arbizu, C., Ghislain, M., & Bertin, P. (2008). Influence of geographical provenance on the genetic structure and diversity of the vegetatively propagated Andean tuber crop, mashua (*Tropaeolum tuberosum*), highlighted by intersimple sequence repeat markers and multivariate analysis methods. *International journal of plant sciences*, 169(9), 1248-1260.

Pizzicato, B., Pacifico, S., Cayuela, D., Mijas, G., & Riba-Moliner, M. (2023). Advancements in sustainable natural dyes for textile applications: a review. *Molecules*, 28(16), 5954.

Popowska, A., & Oracz, J. (2025). Influence of Copigmentation and encapsulation on stability and antioxidant activity of anthocyanins from blue and pink cornflower (*Centaurea cyanus* L.) flowers. *Molecules*, 30(7), 1467.

Prior, R. L. (2012). Anthocyanins: understanding their absorption and metabolism (pp. 79-92). CRC Press, Boca Raton, FL.

Puma Jihuallanca, R. H., & Fernandez Gallardo, A. B. (2021). Comparación de la capacidad antioxidante y el contenido de antocianinas en el extracto fermentado de *Tropaeolum tuberosum* (Mashua) frente a los extractos fermentados de *Zea mays*.

Quispe Ruiz, Y. (2018). Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra.

Robalino, P., Heredia, S., Chango, G., Flores, L., Salazar, K., & Brito, H. (2019). Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *La ciencia al servicio de la salud y nutrición*, 10(Ed. Esp.), 202-209.

Romero de la Hoz, D. M., & Tuiran Prado, L. S. (2017). Caracterización fisicoquímica, funcional, reológica y composicional de la harina precocida de cubio (*Tropaeolum tuberosum* R&P) cultivado en diferentes fuentes de fertilización.

Sáenz-Torres, S., López-Molinello, A., Prieto-Contreras, L., & Rodríguez, T. (2019). El cubio como una alternativa productiva sostenible en condiciones de agricultura urbana de Bogotá. *Equidad & Desarrollo*, (34), 121-142.

Santayana Rivera, M. L. (2018). Efecto del estrés abiótico post-cosecha en la síntesis de metabolitos secundarios y capacidad antioxidante de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*).

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897.

Shahidi, F., & Tan, Z. (2010). Physiological effects of sesame bioactive and antioxidant compounds. *Sesame-The genus Sesamum*, CRC Press, Boca Raton, 139-153.

Sharma, S., Kataria, A., & Singh, B. (2022). Effect of thermal processing on the bioactive compounds, antioxidative, antinutritional and functional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Lwt*, 160, 113256.

Takahashi, C., Vílchez, H., Poemape, J., Alvia, A., & Olortegui, A. (2023). Diversity of bioactive compounds from *Tropaeolum tuberosum* (mashua). *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 52(3).

Tapia Echarri, A. G. (2022). Elaboración de una bebida funcional a base de Mashua Negra (*Tropaeolum tuberosum*) con adición de extracto de maracuyá y enriquecida con colágeno hidrolizado y edulcorada con Estevia (*Stevia rebaudiana*).

Ticona, L. N. A., Pérez, V. T., & Benito, P. B. (2020). Local/traditional uses, secondary metabolites and biological activities of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón). *Journal of Ethnopharmacology*, 247, 112152.

Ticona, L. A., Sánchez, Á. R., Gonzáles, Ó. O., & Doménech, M. O. (2020). Antimicrobial compounds isolated from *Tropaeolum tuberosum*. *Natural Product Research*, 1–5. doi:10.1080/14786419.2019.1710700

Velásquez Barreto, F. F. (2019). Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos.

Velásquez, F., Ramírez, E., Chuquilín, R., & Aliaga, I. (2020). Optimization of the functional properties of a drink based on tubers of purple mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz y Pavón). *Agroindustrial Science*, 10(1), 63-70.

Vila Sosa, T. T. (2024). Actividad antiinflamatoria y antioxidante in vitro del extracto hidroalcohólico liofilizado de los tubérculos de *Tropaeolum tuberosum* R. & P. "mashua negra". *Ayacucho* 2023.

Viteri-Robayo, C., Naranjo, M. C., Dávila, T. M., & Jácome, M. R. (2020). Alimentos sagrados en la cosmovisión andina. *Ciencia e Interculturalidad*, 27(02), 173-189.

Yaqoob, M., Aggarwal, P., Kumar, M., & Purandare, N. (2020). Isothiocyanates; Sources, physiological functions and food applications. *Plant Archives*, 20(2), 2758-2763.

