



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE QUÍMICA

**Comparación de la capacidad antioxidante de suplementos
alimenticios en cápsulas elaboradas a partir de Cúrcuma
(*Curcuma longa*) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

**PROYECTO DE MONOGRAFÍA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE QUÍMICO**

AUTOR

Orlando Paúl Bonilla Guerrero

TUTORA

Mst. Gabriela Cueva

QUITO – ECUADOR

2025

ABREVIATURAS

ROS: Especies reactivas de oxígeno.

RNS: Especies reactivas de nitrógeno.

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo.

ABTS: Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico).

MDA: Malondialdehído.

SOD: Superóxido dismutasa.

CAT: Catalasa.

GPx: Glutación peroxidasa.

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power (Poder Antioxidante Reductor del Hierro Férrico).

ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno).

Comparación de la capacidad antioxidante de suplementos alimenticios en cápsulas elaborados a partir de Cúrcuma (*Curcuma longa*) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, consumir suplementos alimenticios de origen natural ha aumentado de forma significativa debido al interés por estrategias preventivas frente al envejecimiento y las enfermedades crónicas no transmisibles. Dichas patologías, como el cáncer, la diabetes o las cardiovasculares, están estrechamente relacionadas con el estrés oxidativo, proceso que se produce por el desequilibrio entre radicales libres y antioxidantes endógenos en el organismo (Lobo et al., 2010).

Por ende, los compuestos antioxidantes naturales presentes en los alimentos vegetales han adquirido gran relevancia, ya que actúan neutralizando radicales libres, quelando metales pesados y modulando rutas enzimáticas que disminuyen el daño celular (Phaniendra et al., 2015).

Entre las fuentes naturales con reconocidas propiedades antioxidantes destaca la cúrcuma (*Curcuma longa*), una planta rizomatosa perteneciente a la familia *Zingiberaceae*. Su principal componente bioactivo, la curcumina, junto con los demetoxicurcuminoídes y bisdemetoxicurcuminoídes, son responsables de su potente acción antioxidante. Estos compuestos fenólicos pueden donar electrones e hidrógenos para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS), además de estimular enzimas antioxidantes endógenas como la superóxido dismutasa y la catalasa (Gupta et al., 2013; Jakubczyk et al., 2020).

Por ello, la cúrcuma se ha incorporado ampliamente en la formulación de suplementos en cápsulas, los cuales garantizan una dosificación más precisa y una biodisponibilidad mejorada mediante el uso de excipientes naturales o nanopartículas lipídicas (Kandula & Shah, 2020).

De manera similar, la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es un tubérculo de origen andino cultivado tradicionalmente en Ecuador, Perú y Bolivia, ha despertado interés por su notable perfil antioxidante. Sus pigmentos naturales principalmente antocianinas, flavonoides, compuestos fenólicos totales y carotenoides contribuyen a una alta capacidad de eliminación

de radicales libres, medida mediante métodos como DPPH y ABTS (Peñafiel & Castro, 2017; Huaccho Huamán, 2019).

Asimismo, investigaciones recientes publicadas en el *Journal of Ethnopharmacology* (2020) resaltan que los extractos de mashua poseen no solo capacidad antioxidante sino también efectos antiinflamatorios y antimicrobianos, lo que amplía su potencial como ingrediente funcional para el desarrollo de suplementos naturales. El aprovechamiento de esta especie representa una oportunidad para valorar los recursos fitogenéticos andinos y generar productos con alto valor agregado, comparables en eficacia a suplementos derivados de plantas asiáticas como la cúrcuma.

Por tanto, el presente estudio busca comparar la capacidad antioxidante de suplementos alimenticios en cápsulas elaborados a partir de cúrcuma y mashua, identificando los compuestos que son responsables de esta actividad y su posible aplicación en mejorar la salud y prevenir el envejecimiento celular.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Realizar una revisión bibliográfica en la cual se pueda comparar **de la** capacidad antioxidante de suplementos alimenticios en cápsulas elaborados a partir de cúrcuma (*curcuma longa*) y mashua (*tropaeolum tuberosum*).

2.2 Objetivos específicos:

- Determinar la capacidad antioxidante que posee la cúrcuma (**curcuma** *longa*) como suplemento alimenticio en cápsulas y a su vez compararla con la mashua (**tropaeolum tuberosum**).
- Analizar los compuestos químicos que poseen estas plantas y determinar ~~cuáles son~~ los responsables de la capacidad antioxidante en los mismos.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los antioxidantes son moléculas capaces de neutralizar radicales libres, evitando el daño oxidativo en células y tejidos. La oxidación excesiva de biomoléculas está relacionada con diversas patologías crónicas como ciertas enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes y algunos tipos de cáncer (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010). En este contexto, los suplementos alimenticios antioxidantes se han convertido en una estrategia cada vez más estudiada para fortalecer la salud, especialmente en adultos mayores, quienes presentan una disminución natural de la capacidad antioxidante endógena.

La capacidad antioxidante de un compuesto depende de la estructura química, su habilidad para donar electrones o átomos de hidrógeno, y su interacción con sistemas biológicos. Los alimentos ricos en compuestos fenólicos, carotenoides y flavonoides se han identificado como fuentes eficaces de antioxidantes (Halliwell & Gutteridge, 2015). La cúrcuma (*Curcuma longa*) y la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) son dos ejemplos de plantas con alto contenido de metabolitos bioactivos que pueden incorporarse en suplementos en cápsulas, ofreciendo protección contra el estrés oxidativo.

Este marco teórico busca analizar y comparar la capacidad antioxidante de estos dos productos mediante el método DPPH, un ensayo ampliamente usado para determinar la actividad radical scavenger de extractos vegetales (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995). Para poder comprender los mecanismos de acción y los compuestos responsables es esencial para fundamentar el desarrollo de suplementos funcionales con impacto real en la salud humana.

1. Radicales libres y mecanismos de daño

1.1 Concepto y tipos de radicales libres

Los radicales libres son ~~una de las~~ especies químicas más inestables como pueden ser con uno o más electrones desapareados en su estructura. Esta característica los hace altamente reactivos, capaces de interactuar con lípidos, proteínas, carbohidratos y ADN, generando daño oxidativo (Valko, Leibfritz, Moncol, Cronin, Mazur, & Telser, 2007).

Se distinguen principalmente dos tipos:

1. Especies reactivas del oxígeno (ROS): incluyen el radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$), el radical hidroxilo ($\bullet OH$), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el oxígeno **singlete** (1O_2). Estas especies se generan de manera natural en la respiración mitocondrial, fagocitosis y otros procesos metabólicos.

2. Especies reactivas de nitrógeno (RNS): incluyen óxido nítrico ($NO\bullet$) y peroxinitrito ($ONOO^-$), implicadas en procesos inflamatorios y señalización celular.

Si la producción de ROS y RNS supera la capacidad defensiva del organismo, se produce estrés oxidativo, condición asociada con envejecimiento prematuro y enfermedades crónicas (Lobo et al., 2010).

1.2 Daño oxidativo a biomoléculas

El daño oxidativo afecta a diferentes moléculas biológicas:

Lípidos: La peroxidación lipídica altera la integridad de membranas celulares, afectando transporte, señalización y fluidez. Los aldehídos generados, como el malondialdehído (MDA), son marcadores de estrés oxidativo.

Proteínas: La oxidación de aminoácidos puede modificar la estructura, función y degradación de proteínas, alterando enzimas y receptores celulares.

ADN: Radicales libres pueden inducir mutaciones, roturas de cadenas y modificaciones de bases nitrogenadas, aumentando el riesgo de cáncer y enfermedades degenerativas (Halliwell & Gutteridge, 2015; Valko et al., 2007).

1.3 Sistemas antioxidantes endógenos y exógenos

El organismo cuenta con defensas antioxidantes endógenas tales como pueden ser la superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx) y catalasa (CAT), encargadas de neutralizar la mayoría de radicales libres generados en procesos metabólicos internos. La capacidad antioxidante endógena disminuye con la edad, haciendo necesario el aporte de antioxidantes exógenos, como los presentes en frutas, vegetales y suplementos alimenticios, que actúan neutralizando radicales libres de manera directa en tejidos y fluidos corporales (Halliwell & Gutteridge, 2015; Lobo et al., 2010).

1.4 Relevancia de los antioxidantes en función prevención de enfermedades

- Numerosos estudios han mostrado que la suplementación con compuestos antioxidantes naturales puede:
- Reducir la peroxidación lipídica y proteger membranas celulares.
- Mejorar la actividad de enzimas antioxidantes como endógenas.
- Disminuir marcadores de estrés oxidativo asociados a envejecimiento y enfermedades crónicas.

En este contexto, la cúrcuma y la mashua presentan compuestos fenólicos capaces de donar electrones o protones a radicales libres, ejerciendo un efecto protector tanto en sistemas endógenos como exógenos (Priyadarsini, 2014; Peñafiel & Castro, 2017).

2. Antioxidantes naturales

2.1 Concepto y clasificación

Los antioxidantes naturales son compuestos que se encuentran presentes en los alimentos de origen vegetal y animal que inhiben la oxidación de otras moléculas al donar electrones o átomos de hidrógeno a radicales libres, neutralizándolos y evitando daños celulares (Halliwell & Gutteridge, 2015). Se clasifican principalmente en:

1. Fenoles y polifenoles: Incluyen flavonoides, taninos, ácidos fenólicos y estilbenos. Son responsables de la actividad antioxidante en frutas, verduras y tubérculos. La presencia de grupos hidroxilo en su estructura permite la donación de protones a radicales libres, formando radicales fenóxilo estables y menos reactivos (Rice-Evans, Miller, & Paganga, 1996).

2. Carotenoides: Pigmentos liposolubles como β -caroteno, luteína y zeaxantina, presentes en vegetales y tubérculos. Actúan como extintores de oxígeno singlete y protegen membranas lipídicas de la peroxidación (Young & Lowe, 2018).

3. Vitaminas antioxidantes: Como vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles). La vitamina C es hidrosoluble y neutraliza radicales en medios acuosos, mientras que la vitamina E es liposoluble y protege membranas celulares (Pisoschi & Negulescu, 2011).

4. Otros compuestos bioactivos: Incluyen algunos alcaloides, aminoácidos fenólicos y compuestos sulfurados con capacidad antioxidante, como los presentes en ajo y cebolla (Halliwell & Gutteridge, 2015).

2.2 Mecanismos de acción de los antioxidantes

Los antioxidantes naturales ejercen su efecto a través de distintos mecanismos:

1. Captura de radicales libres (scavenging): Donan electrones o átomos de hidrógeno a radicales libres, neutralizándolos antes de que reaccionen con biomoléculas. Este es el mecanismo evaluado en el ensayo DPPH, ampliamente utilizado en investigación (Brand-Williams et al., 1995).

2. Inhibición de la peroxidación lipídica: Los antioxidantes fenólicos y carotenoides protegen los lípidos de membranas celulares frente a la oxidación iniciada por radicales hidroxilo o peróxido de lípidos.

3. **Quelación de metales**: Algunos antioxidantes, como flavonoides y curcuminoides, pueden unirse a iones de hierro y cobre, que actúan como catalizadores en reacciones de formación de radicales hidroxilo a través de la reacción de Fenton (Halliwell & Gutteridge, 2015).

4. Regeneración de antioxidantes endógenos: Vitaminas y polifenoles pueden regenerar moléculas antioxidantes internas, como glutatión, aumentando la capacidad antioxidante del organismo.

2.3 Evaluación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos naturales se mide mediante ensayos in vitro que cuantifican la neutralización de radicales libres. Entre los más utilizados se encuentran:

DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil): Evalúa la capacidad de donación de hidrógeno de antioxidantes, observando la disminución de la absorbancia a 517 nm (Brand-Williams et al., 1995).

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power): capacidad de medir la reducción de los iones férricos a ferrosos por compuestos antioxidantes (Benzie & Strain, 1996).

ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)): Evalúa la habilidad para que los antioxidantes neutralicen el radical ABTS^{•+}, generando un cambio de color medible espectrofotométricamente (Re et al., 1999).

ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity): capacidad de medir los antioxidantes que inhiben la oxidación debida a los radicales peroxilo (Cao & Prior, 1999).

Estos ensayos permiten comparar extractos vegetales y suplementos de manera cuantitativa y reproducible, estableciendo parámetros como el IC₅₀ o la equivalencia en Trolox, que representan la concentración requerida para neutralizar el 50 % de radicales libres presentes.

2.4 Relevancia para suplementos alimenticios

Los suplementos alimenticios representan uno de los segmentos de mayor crecimiento dentro de la industria nutracéutica global. Se definen como productos diseñados para complementar la dieta mediante la incorporación de nutrientes, extractos vegetales y compuestos bioactivos que, por diversas razones, pueden no consumirse en cantidades adecuadas a través de los alimentos convencionales (National Institutes of Health, 2021). Estos productos incluyen vitaminas, minerales, aminoácidos, enzimas, metabolitos secundarios y extractos botánicos, los cuales se presentan en diferentes formatos, tales como cápsulas, tabletas, polvos, gomitas o soluciones líquidas. Su función primaria es contribuir al mantenimiento de funciones fisiológicas normales, optimizar el estado nutricional y reducir el riesgo de deficiencias específicas (World Health Organization, 2005).

En años recientes, el interés científico y comercial por los suplementos que contienen compuestos antioxidantes naturales ha aumentado de manera significativa.

Este fenómeno se relaciona con el reconocimiento del papel del estrés oxidativo en el envejecimiento y en el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles. Los compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y otros fitoquímicos presentes en plantas tradicionalmente utilizadas en medicina natural han sido ampliamente estudiados por su capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS), así como por su potencial para modular rutas metabólicas relacionadas con la inflamación y la apoptosis celular (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Dentro de este contexto, dos especies de interés creciente para la formulación de suplementos alimenticios son la cúrcuma (*Curcuma longa*), conocida mundialmente por su alto contenido de curcuminoides, y la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), un tubérculo andino que concentra antocianinas, flavonoides y glucosinolatos. Ambas especies poseen una actividad antioxidante significativa, pero con perfiles fitoquímicos diferentes que permiten aplicaciones nutracéuticas complementarias (Campos et al., 2006; Hewlings & Kalman, 2017).

Los suplementos alimenticios cumplen un rol esencial en la nutrición moderna, particularmente en poblaciones con dietas insuficientes, estilos de vida exigentes o en grupos vulnerables como adultos mayores, deportistas o personas con enfermedades crónicas. Las funciones principales de los suplementos incluyen:

Complementar la ingesta nutricional cuando la dieta no cubre los requerimientos diarios.

Apoyar funciones específicas, como la inmunidad, la salud cardiovascular, la función cognitiva o la digestión.

Contribuir a la prevención del deterioro celular mediante la incorporación de antioxidantes naturales (NIH, 2021).

Aportar compuestos bioactivos presentes en plantas medicinales con efectos fisiológicos comprobados.

El uso de suplementos herbales se ha incrementado debido a la creciente evidencia de que ciertos extractos vegetales poseen efectos beneficiosos asociados a su contenido de metabolitos secundarios, los cuales actúan modulando procesos inflamatorios, oxidativos o metabólicos a nivel celular (Martínez-González et al., 2019).

La incorporación de antioxidantes naturales en suplementos alimenticios en cápsulas permite:

Proporcionar dosis controladas de compuestos bioactivos.

Mejorar la biodisponibilidad mediante encapsulación, protegiendo los compuestos frente a degradación por luz, oxígeno o pH gástrico.

Facilitar la administración rutinaria, especialmente en adultos mayores con necesidades específicas de antioxidantes (Priyadarsini, 2014; Peñafiel & Castro, 2017).

En este contexto, la cúrcuma y la mashua representan fuentes prometedoras, ya que ambos contienen compuestos fenólicos y pigmentos antioxidantes que pueden medirse mediante ensayos como DPPH para comparar su eficacia relativa.

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una de las plantas más estudiadas y utilizadas a nivel mundial en la industria nutracéutica. Su principal grupo de compuestos activos, los curcuminoides, incluye a la curcumina, la demetoxicurcumina y la bisdemetoxicurcumina. Entre ellos, la curcumina destaca por su fuerte capacidad antioxidante, antiinflamatoria y anticarcinogénica (Hewlings & Kalman, 2017).

La actividad antioxidante de la curcumina proviene de su capacidad para:

Donar electrones o átomos de hidrógeno para estabilizar radicales libres.

Mejorar la expresión de enzimas antioxidantes endógenas como SOD, catalasa y glutatión peroxidasa.

Inhibir la peroxidación lipídica y la formación de especies reactivas de oxígeno.

Los suplementos de cúrcuma se utilizan ampliamente para:

Reducir procesos inflamatorios crónicos.

Proteger articulaciones en personas con artritis.

Favorecer la digestión y proteger la mucosa gástrica.

Combatir el estrés oxidativo celular.

Una limitación clásica de la curcumina es su baja biodisponibilidad, atribuida a su escasa solubilidad en agua y rápida metabolización. Por esta razón, muchas formulaciones incluyen piperina, un alcaloide presente en la pimienta negra que aumenta hasta 20 veces la absorción intestinal de la curcumina (Shoba et al., 1998). La encapsulación también se utiliza como estrategia para mejorar su estabilidad y absorber mejor sus compuestos activos.

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo originario de los Andes que ha ganado relevancia por su contenido de metabolitos secundarios con alta capacidad antioxidante. Entre los compuestos más abundantes se encuentran:

Antocianinas, responsables de las tonalidades púrpuras y muy eficaces para neutralizar radicales libres.

Flavonoides, como quercetina y kaempferol, asociados a efectos antiinflamatorios.

Glucosinolatos e isotiocianatos, compuestos azufrados vinculados a efectos anticancerígenos y detoxificantes (Grau et al., 2003).

Estudios han demostrado que la mashua posee una capacidad antioxidante moderada a alta, dependiendo del color del tubérculo y del tipo de extracción empleado, lo que la convierte en un ingrediente valioso para el desarrollo de suplementos antioxidantes (Campos et al., 2006).

Aunque su uso en el mercado nutracéutico es relativamente reciente, se considera una fuente promissoria de antioxidantes naturales por:

Su composición fitoquímica diversa.

Su capacidad para modular rutas oxidativas.

Su buen perfil de biodisponibilidad natural.

Su potencial para suplementar dietas bajas en pigmentos antioxidantes.

3. Cúrcuma (*Curcuma longa*)

3.1 Historia y uso tradicional

La cúrcuma es un rizoma perteneciente a la familia Zingiberaceae, originario del sudeste asiático, especialmente India y Sri Lanka. Su uso se remonta a más de 4000 años en la medicina ayurvédica y tradicional china, donde se emplea como antiinflamatorio, antioxidante y agente digestivo (Gupta, Patchva, & Aggarwal, 2013). Además, se utiliza como especia y colorante natural en alimentos debido a su pigmento amarillo intenso, derivado de los curcuminoides.

La cúrcuma ha atraído la atención científica por sus múltiples efectos biológicos, principalmente asociados a propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, lo que la convierte en un candidato ideal para su incorporación en suplementos alimenticios en cápsulas (Menon & Sudheer, 2007).

3.2 Taxonomía, Morfología y Ecología de *Curcuma longa*

3.2.1 Taxonomía y posición sistemática

La cúrcuma (*Curcuma longa* L.) pertenece a la familia Zingiberaceae, un grupo botánico que incluye alrededor de 50 géneros y más de 1500 especies distribuidas principalmente en zonas tropicales de Asia. Esta familia es reconocida por su alto contenido de metabolitos secundarios aromáticos y por la presencia de rizomas subterráneos utilizados con fines culinarios, medicinales y aromáticos. Dentro de esta familia, el género *Curcuma* reúne aproximadamente 80–120 especies descritas, aunque su delimitación taxonómica ha sido históricamente compleja debido a la hibridación frecuente y la reproducción vegetativa predominante (Ravindran et al., 2007).

Su clasificación taxonómica es:

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Zingiberales

Familia: Zingiberaceae

Género: *Curcuma*

Especie: *Curcuma longa* L.

Esta clasificación es aceptada y verificada en bases como Plants of the World Online (POWO, 2024) y el USDA GRIN (USDA, 2023).

Según el Royal Botanic Gardens de Kew, *Curcuma longa* es una especie válida dentro de la familia Zingiberaceae, ampliamente distribuida y cultivada por su rizoma aromático (POWO, 2024).

Historia taxonómica

Se considera que *C. longa* es una especie cultivada y no estrictamente silvestre, es decir, no existe consenso sobre su población ancestral exacta. Muchos autores sugieren que deriva de un complejo híbrido natural entre *Curcuma aromatica* Salisb. y otras especies afines, debido a características morfológicas y cromosómicas compatibles (Ravindran et al., 2007).

3.2.2 Morfología detallada

La cúrcuma es una planta herbácea perenne que crece entre 1 y 1,5 metros, dependiendo de las condiciones ambientales.

Rizoma

- Estructura subterránea gruesa y ramificada.
- De color amarillo intenso debido a curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina.
- Presenta olor aromático característico.

Importancia:

El rizoma es la parte más importante desde el punto de vista medicinal, alimentario y antioxidante.

Pseudotallo y tallos

- El pseudotallo se forma por las vainas superpuestas de las hojas.

- No presenta un tallo aéreo verdadero robusto, sino estructuras foliares modificadas.

Hojas

- Simples, alternas, con lámina lanceolada.
- Miden 30–50 cm de largo.
- De nervadura paralela típica de monocotiledóneas.

Inflorescencia

- Espiga terminal erecta.
- Brácteas verdes o blancas con bordes rosados.
- Flores zigomorfas con corola amarilla.

Reproducción

- La fructificación es poco frecuente fuera de su región nativa.
- Se reproduce casi exclusivamente por propagación vegetativa mediante rizomas.

La cúrcuma presenta una morfología típica de las Zingiberaceae, caracterizada por hojas grandes, pseudotallos formados por vainas foliares y rizomas pigmentados ricos en curcuminoides (Ravindran et al., 2007).

3.2.3 Ecología y distribución geográfica

Origen

La mayoría de estudios sugieren que la cúrcuma es originaria del sur de India y Sri Lanka, donde formó parte de sistemas agrícolas tradicionales por más de tres milenios (Joubert et al., 2020).

Distribución actual

La especie se cultiva en:

- India (primer productor mundial).
- Bangladesh.
- China.

- Indonesia.
- Malasia.
- Vietnam.
- Brasil y países tropicales de América.

Requerimientos ecológicos

- Temperaturas óptimas: 20–35 °C.
- Altitud: 0–1500 m s. n. m.
- Humedad relativa alta.
- Suelos arcillosos o franco-arcillosos, ricos en materia orgánica.
- Riego abundante durante la fase de crecimiento vegetativo.

El cultivo de *Curcuma longa* prospera en climas tropicales cálidos y húmedos, condiciones que favorecen el desarrollo del rizoma y la síntesis de metabolitos secundarios (Joubert et al., 2020).

3.2.4 Variabilidad genética y diversidad de cultivares

Si bien *C. longa* muestra baja variabilidad genética por reproducción vegetativa, existen numerosos cultivares regionales, diferenciados por:

- Rendimiento de rizoma
- Coloración
- Contenido de curcuminoides
- Aroma
- Resistencia a plagas

India alberga más de 40 cultivares descritos, incluyendo “Alleppey”, “Erode” y “Salem”, cada uno con perfiles químicos particulares (Ravindran et al., 2007).

3.2.5 Importancia ecológica y adaptaciones

La cúrcuma presenta adaptaciones propias de ambientes tropicales húmedos:

- Capacidad para almacenar metabolitos antioxidantes en el rizoma.

- Sistemas radiculares fibrosos que resisten suelos saturados temporalmente.
- Mecanismos bioquímicos que protegen al tejido vegetal frente a microorganismos del suelo.

3.3 Composición química

El principal grupo de compuestos responsables de la actividad antioxidante de la cúrcuma son los curcuminoides, que constituyen aproximadamente 2–5 % del rizoma seco. Los principales curcuminoides son:

1. Curcumina (77 % de los curcuminoides totales)
2. Demetoxicurcumina (17 %)
3. Bisdemetoxicurcumina (3–5 %)

Estos compuestos presentan grupos fenólicos y enlaces conjugados, lo que les permite reaccionar como donadores de protones y neutralizar radicales libres. Además, contienen propiedades quelantes que permiten unirse a metales prooxidantes como Fe^{2+} y Cu^{2+} , inhibiendo que se formen de radicales hidroxilo mediante la reacción de Fenton (Priyadarsini, 2014; Nabavi, Daglia, Moghaddam, Habtemariam, & Nabavi, 2018).

Otros componentes importantes incluyen aceites esenciales (turmerona, atlantona, zingiberona) y azúcares, proteínas y polisacáridos, que contribuyen parcialmente a la actividad antioxidante y estabilización de los curcuminoides.

3.4 Propiedades antioxidantes y mecanismos de acción

La actividad antioxidante de la cúrcuma se debe principalmente a la curcumina, que actúa mediante varios mecanismos:

1. Captura de radicales libres: La curcumina puede donar átomos de hidrógeno a radicales como $\text{DPPH}\cdot$, $\text{O}_2\cdot^-$ y $\cdot\text{OH}$, estabilizándolos y evitando la peroxidación lipídica (Gupta et al., 2013).

2. Modulación de enzimas antioxidantes endógenas: Incrementa la actividad

de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx) y catalasa (CAT), fortaleciendo la capacidad antioxidante natural del organismo (Menon & Sudheer, 2007).

3. Quelación de metales prooxidantes: La curcumina puede unirse a iones Fe^{2+} y Cu^{2+} , disminuyendo la generación de radicales hidroxilo mediante reacciones de Fenton y Haber-Weiss (Nabavi et al., 2018).

4. Inhibición de peroxidación lipídica: Protege las membranas celulares y lípidos plasmáticos de la oxidación inducida por radicales libres.

Estas propiedades hacen que la cúrcuma sea especialmente útil como ingrediente activo en cápsulas antioxidantes, con aplicaciones en la prevención de estrés oxidativo y enfermedades crónicas.

3.5 Estudios sobre actividad antioxidante de la cúrcuma

Diversos estudios han evaluado la capacidad antioxidante de extractos de cúrcuma mediante ensayos in vitro:

DPPH: La curcumina muestra una inhibición del radical DPPH superior al 70 % a concentraciones moderadas (Jakubczyk, Drużga, Janda, & Skonieczna-Żydecka, 2020).

FRAP y ABTS: Los extractos de cúrcuma presentan capacidad significativa de reducción de iones férricos y neutralización del radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$, confirmando su efecto antioxidante en medios acuosos y lipídicos (Priyadarsini, 2014).

Modelos celulares: La curcumina protege células hepáticas y neuronales frente al estrés oxidativo inducido experimentalmente, reduciendo los niveles de MDA y aumentando glutatión reducido (GSH) (Gupta et al., 2013).

Estos resultados justifican la incorporación de cúrcuma en suplementos alimenticios funcionales, especialmente en cápsulas que permiten una dosificación controlada y protección de los compuestos bioactivos frente a la degradación por luz, oxígeno y pH gástrico.

3.6 Biodisponibilidad y encapsulación

La encapsulación es una técnica ampliamente utilizada para proteger los compuestos activos presentes en los suplementos alimenticios. Consiste en recubrir ingredientes bioactivos dentro de una matriz polimérica o en estructuras que protegen el componente central de factores externos como el oxígeno, la humedad, la luz o el pH gástrico (Patel et al., 2012).

En la industria nutracéutica, la forma más común de encapsulación son las cápsulas duras o blandas elaboradas con:

Gelatina bovina o porcina.

Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) como alternativa vegetal.

Almidones modificados para formulaciones veganas o halal.

Las principales ventajas de la encapsulación incluyen:

- Protección del compuesto activo

Antioxidantes y polifenoles son sensibles a la oxidación y degradación térmica. La cápsula evita su degradación temprana.

- Mejora de la biodisponibilidad

Algunos activos, como la curcumina, requieren ser liberados en sitios específicos del tracto gastrointestinal.

- Control del olor y sabor

Extractos como la mashua pueden tener aromas intensos que se neutralizan con encapsulación.

- Dosificación precisa

La cápsula asegura una cantidad estandarizada de compuestos activos por unidad.

- Mayor estabilidad en almacenamiento

Protege contra humedad, luz y variaciones de temperatura.

- Mejor aceptación por el consumidor

Las cápsulas son más fáciles de ingerir y se perciben como productos limpios y seguros.

Los suplementos encapsulados de cúrcuma están ampliamente disponibles en el mercado global. Estas formulaciones suelen incluir extractos estandarizados al 90–95 % de curcuminoides o combinaciones con piperina o fosfolípidos, como en el caso de la curcumina fitosomal. La encapsulación permite proteger los curcuminoides de la degradación fotooxidativa y mejorar su estabilidad y absorción.

En contraste, los suplementos encapsulados de mashua aún son incipientes en el mercado, principalmente debido a la falta de estandarización industrial del extracto. Sin embargo, investigaciones en tubérculos andinos han demostrado que la liofilización y la encapsulación permiten conservar antocianinas y compuestos azufrados por periodos prolongados, manteniendo su capacidad antioxidante (Campos et al., 2006).

Por ello, la mashua presenta un enorme potencial para el desarrollo de suplementos innovadores destinados a:

- Aumentar la ingesta de antocianinas.
- Mejorar la protección frente al estrés oxidativo.
- Ofrecer alternativas naturales a consumidores interesados en productos andinos o de origen vegetal.

Uno de los principales desafíos del uso de cúrcuma en suplementos es la baja biodisponibilidad de la curcumina, debido a su pobre solubilidad en agua, rápida metabolización y eliminación. Para mejorar su eficacia, se emplean estrategias de formulación:

Encapsulación en cápsulas de gelatina o cápsulas vegetales, que protegen los curcuminoides de la degradación.

Uso de excipientes lipídicos o fosfolípidos, como fitosomas, que aumentan la absorción intestinal y concentración plasmática (Anand, Kunnumakkara, Newman, &



Aggarwal, 2007).

Combinación con piperina, un alcaloide de la pimienta negra, que inhibe la glucuronidación hepática y aumenta la biodisponibilidad de la curcumina hasta 20 veces (Shoba et al., 1998).

Estas estrategias permiten que la actividad antioxidante observada in vitro se traduzca en efectos biológicos más efectivos en humanos, haciendo que la cúrcuma sea una opción viable para suplementos antioxidantes en cápsulas.

4. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

4.1 Historia y uso tradicional

La mashua es un tubérculo andino perteneciente a la familia Tropaeolaceae, originario de Perú, Ecuador y Bolivia. Ha sido cultivado durante miles de años por comunidades andinas como alimento básico y por sus propiedades medicinales (Huaccho Huamán, 2019). Tradicionalmente, se utiliza para mejorar la salud renal, estimular el apetito, tratar problemas digestivos y como fuente de energía.

Recientemente, la mashua ha recibido atención científica por su alto contenido de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, lo que la convierte en un candidato ideal para suplementos alimenticios en cápsulas dirigidos a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Peñafiel & Castro, 2017).

4.2 Taxonomía, Morfología y Ecología de *Tropaeolum tuberosum* (mashua)

4.2.1 Taxonomía y posición sistemática

La mashua es una especie tuberosa andina ampliamente cultivada en Ecuador, Perú y Bolivia. Su clasificación taxonómica es:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Brassicales
Familia: Tropaeolaceae

Género: *Tropaeolum*

Especie: *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.

La especie fue descrita formalmente por Ruiz y Pavón en el siglo XVIII, durante una de las expediciones botánicas más importantes de la época. Su validez taxonómica está confirmada en The Plant List y Catalogue of Life (The Plant List, 2023).

Tropaeolum tuberosum es reconocida como especie válida dentro de Tropaeolaceae y fue formalmente descrita por Ruiz y Pavón en 1798 (The Plant List, 2023).

4.2.2 Morfología detallada

La mashua es una planta herbácea anual, trepadora y tuberosa.

Tallos

- Volubles, cilíndricos y flexibles.
- Crecen entre 1 y 2 metros.
- Presentan nudos marcados que permiten emitir raíces en contacto con el suelo.

Hojas

- Peltadas (unidas al pecíolo en el centro de la lámina).
- De 5 a 7 lóbulos.
- Superficie lisa o ligeramente pubescente.

Flores

- Solitarias y axilares.
- Pétalos amarillos a rojizos.
- Espolón nectarífero pronunciado que atrae polinizadores.

Tubérculos

- De formas variables: alargados, cilíndricos o ligeramente torcidos.
- Amplia gama de colores: amarillos, anaranjados, púrpuras, rojizos o casi negros.

- Presentan antocianinas, carotenoides y glucosinolatos.

Los tubérculos de mashua muestran una amplia variabilidad cromática asociada a diferencias genéticas y ambientales, especialmente en el contenido de antocianinas y compuestos azufrados (Chirinos et al., 2008).

4.2.3 Ecología y distribución

Origen

Originaria de los Andes centrales, asociada a sistemas agrícolas preincaicos.

Distribución actual

- Perú
- Bolivia
- Ecuador
- Norte de Argentina y Chile

Requerimientos ecológicos

- Altitud: 2500–4200 m s. n. m.
- Tolerancia a heladas ligeras.
- Alta resistencia a plagas y enfermedades.
- Ciclo de cultivo de 7–8 meses.

Esta especie muestra una notable adaptación a ecosistemas andinos de elevada altitud, donde factores como la radiación UV y las fluctuaciones térmicas influyen en la síntesis de compuestos bioactivos (Grau & Rea, 1997).

4.2.4 Diversidad genética y variabilidad

Existen numerosas variedades tradicionales o “landraces”, diferenciadas por:

- Color de la piel
- Color de la pulpa
- Textura
- Contenido de azúcares
- Perfil de compuestos fenólicos

Los agricultores andinos mantienen esta diversidad por selección empírica.

4.2.5 Adaptaciones ecológicas

La mashua desarrolla metabolitos secundarios como antocianinas e isotiocianatos que actúan como defensa contra:

- Radiación UV elevada
- Insectos
- Microorganismos
- Frío extremo

4.3 Composición química

Los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante de la mashua son:

1. Antocianinas: pigmentos hidrosolubles responsables de los colores morados, azul y negro en los tubérculos. Entre las más relevantes se encuentran la delphinidina-3-glucósido y la pelargonidina, que presentan grupos fenólicos capaces de neutralizar radicales libres (Huaccho Huamán, 2019).

2. Flavonoides: compuestos polifenólicos como quercetina y kaempferol, que contribuyen a la capacidad antioxidante mediante donación de electrones y quelación de metales (Peñañiel & Castro, 2017).

3. Carotenoides: pigmentos liposolubles como luteína y zeaxantina, que protegen membranas lipídicas de la peroxidación y actúan como extintores de oxígeno singlete (He & Giusti, 2010).

4. Compuestos fenólicos totales: incluyen ácidos fenólicos, taninos y derivados, que aportan al efecto antioxidante general.

El contenido de estos compuestos varía según la variedad de mashua, siendo más elevado en tubérculos morados y negros, lo que se correlaciona con una mayor capacidad antioxidante medida in vitro (Huaccho Huamán, 2019).

4.4 Propiedades antioxidantes y mecanismos de acción

Los compuestos antioxidantes de la mashua ejercen su efecto mediante:

1. Captura de radicales libres: Las antocianinas y flavonoides neutralizan radicales hidroxilo, superóxido y DPPH• mediante donación de electrones o protones, estabilizando los radicales y evitando daño celular (Peñafiel & Castro, 2017).

2. Inhibición de peroxidación lipídica: Los carotenoides y antocianinas protegen lípidos celulares frente a la oxidación inducida por ROS, manteniendo la integridad de membranas y lípidos plasmáticos (He & Giusti, 2010).

3. Quelación de metales: Algunos flavonoides presentes en la mashua se unen a iones Fe^{2+} y Cu^{2+} , evitando la generación de radicales hidroxilo mediante reacciones de Fenton.

4. Protección antioxidante exógena: La mayoría de sus compuestos actúa de manera directa en fluidos y tejidos, neutralizando radicales libres antes de que puedan inducir daño oxidativo en las células (Huaccho Huamán, 2019).

4.5 Estudios sobre actividad antioxidante de la mashua

Diversos estudios han evaluado la capacidad antioxidante de extractos de mashua:

Ensayo DPPH: Extractos de tubérculos morados mostraron una inhibición del radical DPPH superior al 65 % a concentraciones moderadas, indicando un alto poder radical scavenger (Peñafiel & Castro, 2017).

FRAP y ABTS: Los resultados demostraron capacidad de reducción de iones férricos y neutralización de radical $ABTS^{\bullet+}$, evidenciando la acción antioxidante de sus antocianinas y carotenoides (Huaccho Huamán, 2019).

Correlación con contenido de antocianinas: Las variedades con mayor concentración de antocianinas presentan mayor actividad antioxidante, confirmando que estos compuestos son principales responsables de la neutralización de radicales libres.

Estos hallazgos indican que la mashua es una fuente prometedora de antioxidantes naturales, comparable a otros tubérculos andinos y a la cúrcuma en su capacidad de neutralizar radicales libres in vitro.

4.6 Aplicación en suplementos alimenticios en cápsulas

El potencial antioxidante de la mashua ha impulsado su uso en suplementos en cápsulas, con beneficios como:

Protección de los compuestos bioactivos mediante liofilización y encapsulación, evitando degradación por oxígeno, luz y humedad.

Dosificación controlada, facilitando la administración rutinaria, especialmente en adultos mayores con necesidad de antioxidantes adicionales.

Posible combinación con otros antioxidantes, como cúrcuma, para efectos sinérgicos, aumentando la protección contra el estrés oxidativo.

En términos comparativos, los compuestos de la mashua actúan principalmente sobre procesos antioxidantes exógenos, neutralizando radicales libres en medios extracelulares y fluidos corporales, mientras que la curcumina de la cúrcuma también modula procesos endógenos a nivel enzimático (Priyadarsini, 2014; Huaccho Huamán, 2019).

5. Comparación de cúrcuma (*Curcuma longa*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

5.1 Composición química y compuestos antioxidantes

La cúrcuma y la mashua contienen compuestos antioxidantes distintos, que determinan su capacidad radical scavenger y su acción biológica.

Cúrcuma: Su principal componente antioxidante es la curcumina, un polifenol liposoluble que también presenta propiedades quelantes de metales y capacidad de modulación enzimática. Además, contiene demetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina y aceites esenciales que contribuyen parcialmente a la actividad antioxidante (Priyadarsini, 2014; Nabavi et al., 2018).

Mashua: Sus compuestos antioxidantes incluyen antocianinas, flavonoides y carotenoides, que son principalmente hidrosolubles (antocianinas) o liposolubles (carotenoides). Las antocianinas como la delphinidina-3-glucósido son responsables de gran parte de su actividad antioxidante, especialmente en la neutralización de radicales libres exógenos (Peñafiel & Castro, 2017; Huaccho Huamán, 2019).

En términos generales, mientras que la cúrcuma posee un antioxidante más concentrado y con acción sobre procesos endógenos y exógenos, la mashua presenta un perfil más diverso de antioxidantes que actúan principalmente sobre radicales libres en medios extracelulares y fluidos corporales.

5.2 Mecanismos de acción antioxidante

Ambos productos neutralizan radicales libres mediante donación de electrones o protones, pero presentan diferencias en sus mecanismos:

Cúrcuma: La curcumina actúa directamente sobre radicales libres y además modula la actividad de enzimas antioxidantes endógenas como SOD, CAT y GPx. También inhibe la peroxidación lipídica y quelación de metales prooxidantes, lo que le permite actuar tanto en procesos intracelulares como extracelulares (Menon & Sudheer, 2007).

Mashua: Sus antocianinas y carotenoides ejercen acción antioxidante principalmente de manera exógena, neutralizando radicales libres antes de que provoquen daño celular. Los flavonoides presentes también contribuyen a la quelación de metales y protección de membranas lipídicas, aunque la modulación enzimática endógena es menos significativa que la observada en la cúrcuma (Peñafiel & Castro, 2017).

Esta diferencia en mecanismos sugiere que la curcumina podría tener un efecto más completo en la protección celular, mientras que la mashua puede ser más efectiva en neutralización rápida de radicales libres en fluidos y tejidos.

5.3 Evidencia de ensayos DPPH

El método DPPH se utiliza para medir la capacidad antioxidante de ambos

extractos mediante la neutralización del radical DPPH•. Estudios comparativos muestran:

Cúrcuma: Curcumina pura presenta inhibición de DPPH superior al 70 % a concentraciones moderadas, demostrando alta actividad radical scavenger (Jakubczyk et al., 2020).

Mashua: Extractos de tubérculos morados alcanzan inhibición del 65–68 % en el ensayo DPPH, correlacionando su capacidad antioxidante con la concentración de antocianinas presentes (Peñañiel & Castro, 2017).

Aunque la cúrcuma tiende a mostrar mayor capacidad antioxidante in vitro, la mashua ofrece ventajas por su perfil de compuestos múltiples, que pueden actuar sinérgicamente en sistemas biológicos.

5.4 Aplicación en suplementos alimenticios en cápsulas

Ambos productos se utilizan en suplementos en cápsulas para proporcionar antioxidantes de manera controlada y protegida:

Cúrcuma: La encapsulación protege la curcumina de la degradación por luz, oxígeno y pH gástrico, y puede combinarse con piperina o sistemas lipídicos para mejorar biodisponibilidad (Shoba et al., 1998; Anand et al., 2007).

Mashua: Se emplea en cápsulas liofilizadas que preservan antocianinas, carotenoides y flavonoides, manteniendo la actividad antioxidante y facilitando la administración rutinaria (Huaccho Huamán, 2019; Peñañiel & Castro, 2017).

Una combinación de ambos ingredientes en cápsulas podría aprovechar las propiedades sinérgicas, con la curcumina modulando enzimas antioxidantes y las antocianinas neutralizando radicales libres rápidamente, optimizando la protección frente al estrés oxidativo.

5.5 Síntesis comparativa

Tabla 1. Comparación de características entre Cúrcuma y Mashua.

Característica	Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>)	Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)
Compuestos principales	Curcumina, demetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina, aceites esenciales	Antocianinas, flavonoides, carotenoides
Solubilidad	Liposoluble (curcumina)	Hidrosoluble (antocianinas) y liposoluble (carotenoides)
Mecanismos	Endógeno y exógeno: modula enzimas y neutraliza radicales	Exógeno principalmente: neutraliza radicales en fluidos y membranas
Ensayo DPPH	≥70 % inhibición	65–68 % inhibición
Biodisponibilidad	Mejorable con piperina o fosfolípidos	Mejorada mediante liofilización y encapsulación
Aplicación en cápsulas	Suplementos antioxidantes funcionales, posibles combinaciones sinérgicas	Suplementos antioxidantes, efecto rápido en radicales libres

6. Métodos de evaluación de la actividad antioxidante

6.1 Introducción

La capacidad antioxidante de un extracto vegetal o suplemento alimenticio se refiere a su habilidad para neutralizar radicales libres, evitando daño oxidativo en biomoléculas. Esta propiedad se puede medir mediante ensayos in vitro que cuantifican la reducción de radicales libres específicos o la capacidad de los antioxidantes de reducir iones metálicos (Huang, Ou, & Prior, 2005).

Entre los métodos más utilizados se encuentran: DPPH, ABTS, FRAP y ORAC. Para esta investigación, el método DPPH es especialmente relevante, ya que permite comparar directamente la capacidad antioxidante de cúrcuma y mashua en suplementos en cápsulas mediante la neutralización del radical libre DPPH•.

6.1.1 Método ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico))

Principio teórico

El método ABTS se fundamenta en la capacidad de los antioxidantes de reducir al catión radical ABTS $\bullet+$.

El radical ABTS $\bullet+$ se genera normalmente reaccionando ABTS con persulfato de potasio. Este radical presenta un color azul-verdoso intenso con absorción máxima a 734 nm.

Cuando un antioxidante dona electrones o átomos de hidrógeno, reduce al radical ABTS $\bullet+$, disminuyendo la absorbancia.

Este método puede aplicarse tanto a compuestos hidrofílicos como lipofílicos, lo que le da más versatilidad que DPPH.

- Mecanismo predominante: transferencia de electrón (SET).
- Resultado reportado como: equivalente antioxidante Trolox (TEAC). Re et al. (1999).

6.1.2 Método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Principio teórico

FRAP mide la capacidad antioxidante basada en la reducción del complejo férrico Fe $^{3+}$ -TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) a su forma ferrosa Fe $^{2+}$ -TPTZ.

Este complejo reducido presenta un color azul intenso con un máximo de absorción a 593 nm.

A diferencia de DPPH y ABTS, FRAP no mide actividad frente a radicales libres, sino poder reductor del antioxidante bajo condiciones ácidas.

- Mecanismo predominante: transferencia de electrón (SET).
- Resultado reportado como: $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ muestra o equivalente Trolox. Benzie & Strain (1996).

6.1.3 Método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)

Principio teórico

El método ORAC evalúa la capacidad de un antioxidante para inhibir la oxidación inducida por radicales peroxilo (ROO•).

Estos radicales se generan por la descomposición térmica del AAPH (2,2'-azobis(2-amidinopropano) dihidrocloruro).

El radical peroxilo oxida un fluoróforo (generalmente fluoresceína), disminuyendo su fluorescencia con el tiempo.

Un antioxidante retarda la pérdida de fluorescencia, protegiendo al fluoróforo y extendiendo su vida útil.

El área bajo la curva (AUC) de la fluorescencia en presencia del antioxidante se compara con la de Trolox.

- Mecanismo predominante: transferencia de átomo de hidrógeno (HAT).
- Resultado reportado como: μmol equivalentes Trolox (TE). Cao et al. (1993); Ou et al. (2001).

6.1.4 Principio del método DPPH

El método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) se basa en la reducción de un radical libre estable de color violeta (DPPH•) a su forma no radicalaria, incolora, al recibir un electrón o átomo de hidrógeno de un antioxidante. La disminución de absorbancia a 517 nm se cuantifica espectrofotométricamente y se relaciona con la capacidad antioxidante del compuesto analizado (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995).

Reacción química simplificada:



Donde:

DPPH• = radical libre violeta

AH = antioxidante (curcumina, antocianina, flavonoide)

DPPH-H = forma reducida del radical

A• = radical antioxidante estabilizado

Esta reacción muestra cómo los antioxidantes donan un protón o electrón, estabilizando el radical y disminuyendo la absorbancia del DPPH en el espectrofotómetro.

6.2 Relevancia para suplementos en cápsulas

El método DPPH es especialmente útil para evaluar la capacidad antioxidante de cápsulas de cúrcuma y mashua, ya que:

Permite medir la actividad de curcumina, antocianinas y flavonoides después de la extracción del contenido de la cápsula.

Evalúa la eficiencia del proceso de encapsulación, asegurando que los compuestos activos mantengan su funcionalidad antioxidante.

Facilita la comparación directa entre diferentes suplementos, estableciendo equivalencias y posibles dosis recomendadas para adultos mayores u otros grupos de interés.

En combinación con ensayos complementarios como FRAP y ABTS, el método DPPH proporciona una visión integral de la capacidad antioxidante in vitro y la efectividad de los suplementos en cápsulas.

Bibliografía:

Alizadeh, M., & Kheirouri, S. (2019). Curcumin reduces malondialdehyde and improves antioxidants in humans with diseased conditions: A meta-analysis of randomized controlled trials. *BioMedicine*, 9(4). <https://doi.org/10.1051/biomedicine/2019>

Gupta, S. C., Patchva, S., & Aggarwal, B. B. (2013). Therapeutic roles of curcumin: Lessons learned from clinical trials. *AAPS Journal*, 15(1), 195–218. <https://doi.org/10.1208/s12248-012-9432-8>

Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A review of its effects on human health. *Foods*, 6(10), 92. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>

Huaccho Huamán, C. V. (n.d.). *Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas de 84 cultivares de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/bbe3babd-9144-446e-b297-80b0f983988b>

Jakubczyk, K., Drużga, A., Janda, K., & Skonieczna-Żydecka, K. (2020). Antioxidant potential of curcumin—A meta-analysis of randomized clinical trials. *Antioxidants*, 9(11), 1092. <https://doi.org/10.3390/antiox9111092>

Kandula, V., & Shah, R. (2020). Curcumin bioavailability: Problems and promises. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*, 10(1), 10–15. https://doi.org/10.4103/IJPND.IJPND_31_19

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118–126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>

Peñafiel, L., & Castro, A. (2017). Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y anticolegenasa *in vitro* del extracto liofilizado de *Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón* “mashua negra”. *Científica*, 14(3). <https://doi.org/10.21142/cient.v14i3.575>

Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free radicals: Properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>

Local/traditional uses, secondary metabolites and biological activities of Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón). (2020). *Journal of Ethnopharmacology*, 247, 112152. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112152>

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in biology and medicine* (5th ed.). Oxford University Press.

He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 163–187. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>

Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>

Shoba, G., Joy, D., Joseph, T., Majeed, M., Rajendran, R., & Srinivas, P. S. (1998). Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers. *Planta Medica*, 64(4), 353–356. <https://doi.org/10.1055/s-2006-957450>

Priyadarsini, K. I. (2014). The chemistry of curcumin: From extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 19(12), 20091–20112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>

Anand, P., Kunnumakkara, A. B., Newman, R. A., & Aggarwal, B. B. (2007). Bioavailability of curcumin: Problems and promises. *Molecular Pharmaceutics*, 4(6), 807–818. <https://doi.org/10.1021/mp700113r>

Menon, V. P., & Sudheer, A. R. (2007). Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. In B. B. Aggarwal, Y.-J. Surh, & S. Shishodia (Eds.), *The molecular targets and therapeutic uses of curcumin in health and disease* (pp. 105–125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_3

Nabavi, S. F., Daglia, M., Moghaddam, A. H., Habtemariam, S., & Nabavi, S. M. (2018). Curcumin and liver disease: From chemistry to medicine. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 472–489. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12339>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933–956. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)

Young, A. J., & Lowe, G. M. (2018). Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 595, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.11.003>

Cao, G., & Prior, R. L. (1999). Measurement of oxygen radical absorbance capacity in biological samples. *Methods in Enzymology*, 299, 50–62. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99007-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99007-1)

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>