



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Determinación de componentes fenólicos y antioxidantes en harina de camote morado
(*Ipomeas batatas*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

Informe Final de Integración Curricular, Modalidad: Proyectos de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniero Biotecnólogo, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación interinstitucional Universidad Técnica de Ambato-Universidad Politécnica de Valencia: “Valorización de tubérculos andinos para la obtención de ingredientes alimentarios y su viabilidad. Concienciación de su valor nutritivo y funcional”, coordinado por Liliana Acurio, M.Sc (UTA-CONIN-2022-0269-R)

Autor: Jonnatan Franklin Chamba Maza

Tutor: Quim. Lander Vinicio Pérez Aldás

Ambato-Ecuador

Marzo - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Químico. Lander Pérez Aldas

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Integración Curricular bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato 09 de febrero de 2023

Mg. Quím Lander Vinicio Pérez Aldas

C.I: 1802706596

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jonnatan Franklin Chamba Maza, manifiesto que los resultados obtenidos en el Informe Final de Integración Curricular, modalidad proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo son absolutamente auténticos y personales a excepción de las citas bibliográficas.



Jonnatan Franklin Chamba Maza

C.I. 1950137727

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos docentes calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Mg. María Eugenia García Pazmiño
C.I. 21002248505

Dr. Irvin Ricardo Tubon Usca
C.I. 0604250357

Ambato, 07 de marzo del 2023

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que considere el presente Informe Final de Integración Curricular o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Jonnatan Franklin Chamba Maza

C.I. 1950137727

AUTOR

DEDICATORIA

A mis padres Franklin e Irene, por su apoyo incondicional durante todo mi proceso universitario, por sus grandes esfuerzos para permitirme estudiar y por sus excepcionales consejos de vida.

A mis hermanos y hermanas por sus infinitas motivaciones y cariño para culminar con esta meta.

Con gran cariño y afecto

Franklin Chamba

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la gracia de la vida, fuerzas y aliento para culminar con una meta más en mi vida.

A mi querido padre Franklin Chamba por sus inmensurables esfuerzos para hacer posible la culminación de mis estudios, por sus sabios consejos, su infinito amor y sus alientos para hacer de mí una mejor persona.

A mi madre Irene Maza por sus incesantes motivaciones, su afecto, su compañía y sus enseñanzas hacia mi persona.

A mi hermana Dayana por su apoyo emocional y por hacer posible que mi proceso educativo fuese provechoso y cómodo.

A mis hermanos y hermanas, por todo el apoyo emocional brindado.

A mi tutor Mg. Químico Lander Pérez por haberme guiado y compartir sus conocimientos durante mi proceso en el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular.

A mis amigas, Melanie, Joselyn, Daniela, Solimar y Jessica que me brindaron compañía en mi transcurso por la Universidad Técnica de Ambato, por su afecto, consejos y cariño.

Al proyecto de investigación “Valorización de tubérculos andinos para la obtención de ingredientes alimentarios y su viabilidad. Concienciación de su valor nutritivo y funcional”, coordinado por Liliana Acurio, M.Sc por permitirme formar parte del mismo y hacer posible mi Trabajo de Integración Curricular.

A mis docentes de la FCIAB, por su gran aporte al formarme profesionalmente, por sus conocimientos, consejos y guía durante mi transcurso en la facultad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1. Antecedentes investigativos	1
1.1 Cultivos Andinos en el Ecuador.....	1
1.2 Seguridad y soberanía alimentaria.....	1
1.3 Camote morado	2
1.4 Mashua	6
1.5 Compuestos fenólicos	10
1.5.3 Identificación de compuestos fenólicos por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-UV Vis).....	12
1.6 Objetivos.....	13
1.6.1 Objetivo General.....	13
1.6.2 Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II.....	14
METODOLOGÍA.....	14
2.1 Materiales.....	14
2.1.1 Material vegetal	14
2.1.2 Reactivos	14
2.1.3 Materiales de laboratorio	14
2.1.4 Equipos	15
2.1.5 Insumos y materiales de escritorio	16
2.2 Métodos	16

2.2.1 Obtención de la materia prima.....	16
2.2.2 Preparación de muestras	17
2.2.3 Deshidratación de los tubérculos	17
2.2.4 Obtención de harina.....	17
2.2.5 Obtención de extractos de muestras de harina de camote morado y mashua amarilla	18
2.2.6 Extracción de compuestos fenólicos	18
2.2.7 Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH	19
2.2.7 Análisis estadístico	20
CAPÍTULO III	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1 Análisis y discusión de resultados	21
3.1.1 Cromatografía de compuestos fenólicos en harina de camote morado y mashua.....	21
3.2 Actividades biológicas	29
3.3 Compuestos fenólicos como elementos beneficiosos	31
CAPÍTULO IV	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONE	33
4.1 Conclusiones	33
4.2 Recomendaciones	34
MATERIALES DE REFERENCIA	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS.....	44
Anexo A. Obtención de harina	44
Anexo B. Determinación de capacidad antioxidante.....	44
Anexo C. Análisis de varianza del porcentaje de inhibición presente en la harina de camote morado y mashua	47
Anexo D. Cromatograma correspondiente al estándar (ácido gálico) para el análisis de HPLC	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>)	3
Figura 2 Mashua amarilla (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	7
Figura 3 Cromatograma correspondiente a la muestra de harina de camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>)	22
Figura 4 Cromatograma correspondiente a la muestra de harina de mashua amarilla (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	25
Figura 5 Preparación del tubérculo. Pelado, deshidratado y molido del camote morado	44
Figura 6 Preparación del tubérculo. Pelado, deshidratado y molido de mashua amarilla	44
Figura 7 Pesado, macerado y filtrado de las soluciones metánolicas.....	44
Figura 8 Concentración en rotavapor de las soluciones metanólicas de las harinas	45
Figura 9 Prepración de la placa de 96 posillos con los extractos de cada harina y reactivo DPPH con 5 repeticiones.....	45
Figura 10 Medición de las palcas de 96 posillos.....	45
Figura 11 Cromatograma correspondiente al ácido gálico usado como estándar	47
Figura 12 Preparación de la fase móvil para la corrida de HPLC	48
Figura 13 Columna C18 utilizada en HPLC-UV Vis.....	48
Figura 14 Equipo HPLC-UV Visible utilizado	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>)	4
Tabla 2 Composición química de la harina de camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	5
Tabla 3 Taxonomía de camote mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	8
Tabla 4 Composición química de la harina de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	9
Tabla 5 Material vegetal	14
Tabla 6 Reactivos de laboratorio	14
Tabla 7 Materiales de laboratorio	15
Tabla 8 Equipos de laboratorio.....	15
Tabla 9 Insumos y material de escritorio.....	16
Tabla 10 Análisis de picos expresados en la cromatografía de la harina de camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>).....	23
Tabla 11 Análisis de picos expresados en la cromatografía de la harina de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	26
Tabla 12 Concentración de ácido gálico presente en las muestras de harina de camote morado y mashua amarilla.....	28
Tabla 13 Análisis estadístico de matrices Tukey en la actividad antioxidante de las muestras de harina	29
Tabla 14 Absorbancias obtenidas por el método de DPPH de la harina de Camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>).....	46
Tabla 15 Absorbancias obtenidas por el método de DPPH de la harina de Mashua amarilla (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	46
Tabla 16 Datos obtenidos para la elaboración de la curva de calibración de Trolox	46
Tabla 17 Análisis de la Varianza (SC tipo III) del % de inhibición de DPPH de las muestras de harina de camote morado y mashua	47

RESUMEN

La falta de concienciación sobre el consumo de alimentos funcionales y nutritivos ha generado múltiples problemas dentro del área de la salud, considerándose un factor negativo que ha ido en aumento con el paso de los años. Por este motivo y con la finalidad de brindar un aporte a la sociedad dentro del tema de la salud y nutrición humana, el presente proyecto de investigación tuvo como objetivo ser portador de información relevante de los cultivos andinos del Ecuador, como lo son el camote y la mashua, de tal manera que se exponga su composición en cuanto a su contenido fenólico y capacidad antioxidante. Esta información puede explotarse de forma que sea soporte para el desarrollo de alimentos nutricionales que permitan alcanzar una mejor calidad de vida reduciendo los problemas de salud alimenticios. Primeramente, se realizó la técnica de HPLC UV Visible en las muestras de harina para la identificación de compuestos fenólicos usando ácido gálico como estándar, determinándose compuestos como ácido p-cumárico, cianidina, ácido cafeico y derivados, tirosol glucósido y catequina. La capacidad antioxidante se determinó por la técnica de DPPH, obteniéndose un porcentaje de 60,976 por ciento para camote y 69,974 por ciento para mashua, mismos que se consideran significativos, encontrándose la harina de mashua con una mayor capacidad antioxidante.

Palabras clave: HPLC UV Visible, *Ipomeas batatas*, *Tropaeolum tuberosum*, metabolitos secundarios, compuestos fenólicos, actividad antioxidante

ABSTRACT

The lack of awareness about the consumption of functional and nutritious foods has generated multiple problems in health, being considered a negative factor that has been increasing over the years. For this reason and with the purpose of providing a contribution to society around health and human nutrition, this research project aimed to provide relevant information on the Andean crops of Ecuador, such as sweet potato and mashua, to expose its composition in terms of its phenolic content and antioxidant capacity. This information can be exploited in a way that supports the development of nutritional foods that allow achieving a better quality of life by reducing nutritional health problems. First, the HPLC UV Visible technique was performed on flour samples for the identification of phenolic compounds using gallic acid as standard, determining compounds such as p-coumaric acid, cyanidin, caffeic acid and derivatives, tyrosol glycoside and catechin. The antioxidant capacity was determined by the DPPH technique, obtaining a percentage of 60.976 percent for sweet potato and 69.974 percent for mashua, which are considered significant, finding the mashua flour with a higher antioxidant capacity.

Key words: HPLC UV Visible, *Ipomeas batatas*, *Tropaeolum tuberosum*, secondary metabolites, phenolic compounds, antioxidant activity

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes investigativos

1.1 Cultivos Andinos en el Ecuador

En la región central de los andes en donde la agricultura de montaña rodea los 1500 a 4000 metros sobre el nivel del mar, existe una gran variedad de especies vegetales de interés agrícola, siendo Ecuador uno de los diez países con gran biodiversidad en el mundo. Los tubérculos presentan muchas ventajas agrícolas, con potencial médico y gran campo como componentes de interés nutricional. Ecuador posee tubérculos como yacón, mashua, melloco, boniato, camote, zanahoria blanca, entre otros **(Pacheco et al., 2020)**.

Los tubérculos de origen ecuatoriano presentan similitud en cuanto a los compuestos bioactivos con variedades cultivadas en otros países. Tubérculos como el yacón, mashua presentan altos niveles de compuestos fenólicos, carotenos, fructosa y glucosa, por otro lado, el melloco presenta elevados contenidos de proteína y fibra, mientras que, el camote morado es una gran fuente de antocianinas y almidón alto en amilosa. Los elevados contenidos de carbohidratos, compuestos fenólicos, antocianinas, carotenoides, almidón y minerales en las variedades de tubérculos ecuatorianos son considerados como fuente de actividad benéfica para la salud y/o con fuertes propiedades tecnológicas, así como fuentes ricas en nutrientes para el consumo humano **(López et al., 2020)**.

1.2 Seguridad y soberanía alimentaria

La mejora de la seguridad alimentaria ha sido expresada frecuentemente como un objetivo que los gobiernos, agencias de desarrollo nacionales, multinacionales e incluso transnacionales pretenden alcanzar **(Weis, 2020)**. La soberanía alimentaria va más allá de la seguridad alimentaria incluyendo la cultura, prácticas laborales, así como la dinámica de los ecosistemas **(Ferguson et al., 2022)**. La seguridad y soberanía alimentaria son una problemática que se ha considerado en

todo el mundo y han sido considerados como una prioridad y derecho de todo ser humano para garantizar su buena alimentación.

En el año 2016 la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura emitió estadísticas para garantizar la orientación y sensibilización en la educación nutricional de Ecuador, destacando que; 3.4 millones de personas mueren al año por problemas de obesidad y sobrepeso; 815 millones de personas sufren de hambre crónica; 155 millones de infantes por debajo de los cinco años de edad padecen de retraso en su desarrollo físico, además, 3.5 billones de dólares al año corresponden al coste de malnutrición. Así mismo, se recalca que, la nutrición se constituye como la defensa fundamental frente a enfermedades, una diete inadecuada puede desencadenarse en una gran variedad de problemas nutricionales (FAO, 2017).

El mundo se encuentra enfrentando un desafío imponente y es el proveer de alimentación a la población que continúa creciendo y con ello aumenta el hambre. Aunque ya se han alcanzado logros en cuanto a la satisfacción de la demanda mundial de alimentos, la desnutrición sigue presentando niveles elevados, de manera especial en aquellos países de bajos ingresos. La generación de alimentos de origen indígenas y tradicionales, africanos, euroasiáticos, estadounidenses y australianos consumidos en todo el mundo se presenta como una forma de diversificación de la agricultura para mejorar la atención en cuanto a las necesidades nutricionales humanas (Merchant & Simon, 2022).

1.3 Camote morado

1.3.1 Generalidades

El camote morado (*Ipomeas batatas*) se ha convertido en unos de los siete cultivos de mayor relevancia en el mundo en términos de producción. Este cultivo se encuentra en mayor frecuencia dentro de países en vías de desarrollo entre latitudes de 32°S y 40°N, constituyéndose ahí en un elemento de nutrición humana básico. Todo esto gracias a sus requerimientos bajos en insumos y cuidados en su producción (Lado et al., 2021).

El camote morado presenta una coloración de su pulpa de entre purpura a purpura oscuro y es fuente importante de fibra dietética, minerales, vitaminas,

antocianinas, etc. Específicamente el camote de coloración rojo purpura posee un contenido de antocianinas, fenoles totales y una elevada actividad antioxidante (Li et al., 2019).

Figura 1

Camote morado (Ipomeas batatas)



Nota. En la imagen se muestra el tubérculo de camote morado en su proceso para obtención de harina en las instalaciones de la OUDIDE.

Elaborado por: Chamba (2023).

1.3.2 Usos

El camote ha tomado gran relevancia durante los últimos tiempos a nivel industrial. El tubérculo presenta una gran diversidad en cuestión de sus usos y algunos países han optado por usos particulares, en China es empleado para desarrollar almidón, en Perú se procesa el camote para la obtención de harinas que posteriormente emplean en la elaboración de fideos y alimentos panificados. En Japón emplean la raíz para el desarrollo de salmueras, así como bebidas lácteas. En Filipinas realizan procesos de extracción de antocianinas del camote para usarlas en leche fermentada, de forma que se fortalece el sistema inmune gracias a la actividad antioxidante. En Estados Unidos se han extraído compuestos bioactivos del tubérculo como vitaminas, fibra, carotenoides y polifenoles para ser usados en zumos de frutos con el fin de efectuar una actividad protectora contra enfermedades crónicas (Vidal et al., 2018).

Según **Basílio et al., (2022)**, el camote morado puede emplearse en bebidas mixtas sin alcohol con potencial fitoquímico, esto gracias a los perfiles de compuestos fenólicos y aminas biogénicas presentes en los jugos de la pulpa. De acuerdo con la bebida obtenida a base de camote, esta presenta una alta actividad antioxidante debido al contenido de compuestos fitoquímicos como antocianinas, ácido gálico, catequina, dopamina, entre otros.

1.3.3 Taxonomía

Tabla 1

Taxonomía de camote morado (Ipomeas batatas)

Reino:	Viridiplantae
SubReino:	Embryophyta
División:	Magnoliophyta
SubDivisión:	Angiospermae
Clase:	Magnoliopsida
SubClase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Convolvulaceae
Género:	Ipomoea
Especie:	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lamk

Nota. Tomada de **Tong Kwee Lim., (2016)**.

1.3.4 Composición Química

El Manual No. 106 sobre el cultivo de camote, muestra valores proximales para la variedad morada de Ecuador, misma que se compone de un 72,06% de humedad, con un 15,08% de grasa, las cenizas oscilan en un 5,19%, por otro lado, la proteína ocupa un 2.0% y por último la fibra se encuentra en un 2,91%, así mismo el valor estándar de pH corresponde a 7,0 (**Cobeña et al., 2017**).

La variedad morada de camote en Ecuador presenta un contenido de polifenoles de alrededor de 1726,46 mg/100 g, un valor de antocianinas totales de alrededor de 0,03 mg/100 g, las antocianinas manométricas ocupan un valor oscilante de 0,24 mg/100 g, por otro lado, el contenido de vitamina C presenta un valor de alrededor de 46,01 mg/100 g, así mismo la actividad antioxidante medida en el tubérculo en estado fresco presenta un valor de 2228,12g Equivalente Trolox/g. También se ha reportado la presencia de macro minerales como Ca, P, Mg, K, Na y microminerales como Cu, Fe, Mn y Zn (Armijos et al., 2020).

Por otra parte, existen algunos estudios en donde se ha evaluado la composición química del camote morado tras un proceso para la obtención de su harina (Tabla 2).

Tabla 2

Composición química de la harina de camote (Ipomoea batatas)

Parámetro	Camote
	341.73
Calorías (kcal/100g)	
Proteína (%)	4,65 ± 0,24
Almidón (%)	40,5 ± 0,55
Amilopectina (%)	33,82
Amilosa (%)	6,23 ± 0,13
Fibra (g)	11,19 ± 0,11
Grasa (%)	0,37
Acidez (%)	0,25
HC totales (%)	74,35
Humedad (%)	6,20 ± 0,27
Ceniza (%)	3,24 ± 0,49
pH	5,85 ± 0,01

Nota. Tomada de Salazar et al., (2021).

1.3.5 Beneficios de su consumo

Según investigaciones realizadas por **Renee et al., (2018)**, el camote morado posee grandes cantidades de magnesio, mismo mineral empleado para combatir el estrés promoviendo la relajación, fortaleciendo la salud arterial, sanguínea, ósea, muscular y nerviosa. Se considera como una excepcional fuente de vitamina B6 (piridoxina), contiene potasio, que contribuye a la disminución de la presión arterial. Se le han conferido propiedades para aumentar la producción de leche materna, además posee vitamina A que otorga beneficios antienvjecimiento, mejorando la visión, así como, el mantenimiento de las membranas de la piel y las mucosas.

Los compuestos bioactivos contenidos en este tubérculo toman gran relevancia en la promoción de la salud, teniendo beneficios directos sobre el sistema inmunológico, sobre la reducción del estrés oxidativo y los radicales libres logrando una disminución de las enfermedades cardiovasculares (**López et al., 2020**).

1.4 Mashua

1.4.1 Generalidades

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo cuyo origen se sitúa en los Andes Peruanos y que a lo largo del tiempo se ha extendido a Ecuador, Colombia y Bolivia. Este tubérculo contiene altos contenidos de carbohidratos, proteínas y vitamina C, así mismo posee propiedades medicinales y un elevado rendimiento en condiciones de poco cuidado. La mashua se desarrolla de mejor manera entre los 3700 y 4000 metros sobre el nivel del mar. La mashua muestra una considerable resistencia frente a plagas y enfermedades y se considera como una excelente fuente de actividad antioxidante gracias a la presencia de flavonoides y polifenoles (**Arteaga et al., 2022**).

Durante siglos este tubérculo ha sido empleado en la medicina tradicional y últimamente se considera como una excelente fuente para el desarrollo de alimentos funcionales gracias su rico valor nutricional y propiedades

nutracéuticas. La mashua se encuentra compuesta de almidón, proteínas, fibra, vitaminas y minerales, también cuenta con compuestos bioactivos como los fenólicos, principalmente flavonolignanos, ácidos fenólicos y flavonoides (Paucar et al., 2020).

Figura 2

Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum)



Nota. En la imagen se muestra el tubérculo de mashua amarilla en su proceso para obtención de harina en las instalaciones de la OUDIDE.

Elaborado por: Chamba (2023).

1.4.2 Usos

Gracias a su gran variedad de propiedades nutricionales, dentro de las industrias pueden obtenerse harinas a base de este tubérculo como base para el desarrollo de varios productos. La mashua tiene potenciales utilidades tales como productos de panificación, espesante, embutidos y soluciones para bebidas (Dilas & Ascurra, 2020).

En el campo medicinal se emplea contra afecciones como la prostatitis y el alivio de la blenorragia, también ha sido usada como un antiafrodisiaco. Por otro lado, gracias a su propensa floración y sus atractivos colores se han usado como plantas ornamentales, de igual manera se ha usado a este tubérculo como biopesticida, gracias a la presencia de glucosianatos en su composición (Arteaga et al., 2022).

1.4.3 Taxonomía

Tabla 3

Taxonomía de camote mashua (Tropaeolum tuberosum)

Reino:	Plantae
SubReino:	Viridaeplantae
División:	Magnoliophyta (angiospermas)
SubDivisión:	Spermatophytina (fanerógama)
Clase:	Magnoliopsida (dicotiledoneas)
SubClase:	Rosidae
Orden:	Brassicales
Familia:	Tropaeolaceae
Género:	Tropaeolum
Especie:	Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón

Nota. Tomada de **T. K. Lim., (2016)**.

1.4.4 Composición química

La mashua posee un elevado valor en cuanto a sus nutrientes, tales como hierro, fosforo y calcio, así como contenidos considerables de fibra, proteína, calorías, carbohidratos y antocianinas. Las proteínas contenidas en la mashua ocupan un 15% rico en potasio, fosforo, manganeso cobre y zinc, además, cuenta con cualidades antioxidantes tales como el ácido ascórbico (**Arteaga et al., 2022**).

También, **Malpartida et al., (2022)** menciona en su revisión que la mashua de variedad amarilla en estado fresco posee un valor de humedad de alrededor de 78,04%, un porcentaje de cenizas de 0,59%, el porcentaje de la proteína en el tubérculo ocupa un valor que oscila en un 1,526%, por otro lado, los carbohidratos presentan un valor de 12,606%, así mismo el contenido de grasa del tubérculo presenta un porcentaje de 0,31%, los sólidos solubles mantienen

un valor de 8,5%, la mashua tiene un valor de pH de alrededor de 6,22 mientras que el valor de acidez oscila en un 1,59%.

La mashua cuenta con algunos estudios de evaluación en cuanto a su composición química tras un proceso para la obtención de su harina Tabla 4.

Tabla 4
Composición química de la harina de mashua (Tropaeolum tuberosum)

Parámetro	Mashua
Calorías (kcal/100g)	288,48 ± 0,98
Proteína (%)	9,12
Almidón (%)	22,21 ± 0,30
Amilopectina (%)	12,56 ± 0,17
Amilosa (%)	9,68
Fibra (g)	9,60 ± 0,05
Grasa (%)	0,59
Acidez (%)	1,03 ± 0,03
HC totales (%)	56,89 ± 0,25
Humedad (%)	18,87
Ceniza (%)	4,94 ± 0,05
pH	5,88 ± 0,01

Nota. Tomada de Salazar et al., (2021).

1.4.5 Beneficios de su consumo

Gracias a sus elevados contenidos de isotiocianatos se ha considerado a este tubérculo como ingrediente activo para el desarrollo de varias técnicas terapéuticas, esto gracias a las propiedades nematocidas, antibióticas, anticancerígenas, nematocidas e insecticidas. Hay varios estudios que muestran que este tubérculo posee amplias aplicaciones en la medicina. Las infusiones de mashua pueden ayudar el alivio de afecciones al riñón, malestares urinarios, de próstata y mejora la agudeza visual (Arteaga et al., 2022).

Según, el consumo de mashua es frecuentemente usado para la prevención de la inflamación de la próstata, trastornos urinarios, efecto diurético, tratamiento de enfermedades de la piel, reducción de la función reproductiva de los hombres, entre otros (Aguilar et al., 2020). Su consumo aporta beneficios tales como el actuar como antibiótico frente a *Candida albicans*, *Echerichia coli* y *Staphylococcus*, así mismo, tiene acción al reducir los niveles de testosterona y ayuda a la prevención de diversas afecciones a los riñones y el hígado (Ayol, 2020).

1.5 Compuestos fenólicos

1.5.1 Generalidades

Los compuestos fenólicos son una clase de metabolitos secundarios de las plantas, mismos que poseen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo bencénico. De forma estructural estos compuestos pueden variar desde fenólicos simples hasta polímeros complejos, también conocidos como polifenoles, en función del número y posición de los grupos hidroxilo unidos, así como los elementos estructurales que se unen a los anillos fenólicos (Chaudhary et al., 2018).

Los compuestos fenólicos poseen propiedades antioxidantes que presentan actividad de inhibición ante el daño oxidativo, mismo que se encuentra relacionado a la aparición de varias enfermedades (Cereceres et al., 2019).

Los compuestos fenólicos se clasifican en dos grandes grupos; flavonoides y no flavonoides. Los flavonoides se subdividen a su vez en; flavonoles, flavonas, favanoles, flavanonas, antocianinas e isoflavonas. Por otro lado, el grupo no flavonoides se subdivide en; ácidos fenólicos, ligninas y taninos. Estos compuestos presentan una gran variedad de propiedades biológicas beneficiosas para la salud. Investigaciones actuales sugieren que la ingesta de vegetales ricos en bioactivos como carotenoides, vitaminas y compuestos fenólicos incide a tener menor padecimientos de enfermedades crónicas (González et al., 2017).

Estructuralmente los compuestos fenólicos son un grupo amplio que constituye desde estructuras simples como ácidos fenólicos, hasta polímeros de estructura compleja como taninos condensados (**Martin. G, 2018**). Se pueden presentar en forma libre como agliconas o su vez unidos a una fracción de azúcar encontrándose como glucósidos. Su presencia en los vegetales está claramente evidenciada gracias a la pigmentación desarrollada por las antocianidinas generando colores como; rojo, violeta, naranja y azul (**Saucedo et al., 2018**).

1.5.2 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son compuestos estables que tienen reacciones con los radicales libres y permanecen en forma estable. Su estabilidad se debe a los dobles enlaces conjugados y es así como, los electrones radicales pueden deslocalizarse, dando como resultado a que dichos antioxidantes puedan prevenir el daño al eliminar los radicales y detener las reacciones en cadena (**Moazzen et al., 2022**).

Los antioxidantes se consideran sustancias que poseen la capacidad de actuar en contraposición a la oxidación. La capacidad antioxidante se encuentra estructurada por un grupo de compuestos que en concentraciones bajas frente a un sustrato oxidante presentan una acción retardante o en tal caso prevenir de forma significativa la propia oxidación. La acción antioxidante se constituye como el impedimento de la unión de moléculas orgánicas o inorgánicas presentes en la célula con el oxígeno, es decir, el mecanismo antioxidante está mediado por la inhibición de la generación de los radicales libres (**Trejo, 2017**).

La estructura de los compuestos fenólicos tiene influencia directa sobre su actividad antioxidante, específicamente el número de los grupos hidroxilo, así como su posición, de igual manera, la naturalidad de los anillos aromáticos. La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos incluye la donación de átomos de hidrogeno, así como la quelación de metales de forma que se logra la estabilidad de los radicales libres al impedir la abstracción de hidrogeno por medio del sustrato (**González et al., 2017**).

1.5.3 Identificación de compuestos fenólicos por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-UV Vis)

1.5.3.1 Generalidades

El desarrollo de métodos cromatográficos genéricos de amplio espectro para la separación y determinación simultánea de varios compuestos es una tendencia moderna en análisis bioquímicos y farmacológicos (**Baker & Belal, 2018**). La técnica HPLC se basa en los diferentes coeficientes de distribución de las moléculas de soluto dentro de las fases fija y móvil, la cromatografía realiza la separación en el punto de equilibrio luego de llevar a cabo múltiples distribuciones y esta se divide en HPLC de análisis y preparación, el primero es usado mayoritariamente en la identificación, detección y preparaciones a pequeña escala, mientras que el segundo se usa para la preparación y separación de materiales (**Mu & Sun, 2019**).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) dentro de áreas industriales es usada frecuentemente como un método preciso y confiable para la determinación simultánea de una gran variedad de compuestos (**Boke et al., 2019**). Frecuentemente dentro de análisis de rutina de compuestos fenólicos en especies vegetales se emplea cromatografía con columnas C₁₈, un sistema de solvente binario con agua acidificada, un solvente orgánico polar, que comúnmente es acetonitrilo o metanol y un sistema UV-Vis, método que se constituye como una herramienta de elevada confiabilidad.

Según **Mu & Sun, (2019)** en la actualidad, los métodos de análisis cualitativo y cuantitativo de polifenoles más utilizados incluyen espectrofotometría ultravioleta (UV), cromatografía en capa fina y cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). La HPLC es el método analítico más común descrito en la bibliografía. Se caracteriza por sus evidentes efectos de separación, alta sensibilidad y buena reproducibilidad.

La cromatografía líquida de alta eficiencia proporciona una cuantificación más exacta y precisa en cuanto a los compuestos fenólicos, de tal manera que es posible identificar estos compuestos de forma individual gracias al paso de

estos por la columna HPLC. Luego de la elución, los compuestos se identifican a diferentes longitudes de onda de mediante un detector UV-Visible (**Aleixandre et al., 2018**). La región visible representa una mínima región del espectro y la luz visible se diferencia de otro tipo de radiaciones por la frecuencia de energía de sus fotones. La absorción de la luz dentro de la longitud de onda UV-Vis se encuentra en un rango de 180 a 800 nm y esta se da con mucha frecuencia en varias moléculas que en su mayoría corresponden a moléculas orgánicas (**Passos & Saraiva, 2019**).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar el contenido de componentes fenólicos y antioxidantes contenidos en la harina de camote morado y mashua.

1.6.2 Objetivos específicos

- Identificar los componentes fenólicos presentes en harina de camote y mashua mediante HPLC.
- Analizar la capacidad antioxidante presente en harina de camote y mashua mediante DPPH.
- Establecer la relación de componentes fenólicos y antioxidantes como elementos nutritivos en la dieta de los consumidores.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Material vegetal

Tabla 5
Material vegetal

Material vegetal	Cantidad
Camote morado (<i>Ipomeas batatas</i>)	10 kg
Mashua amarilla (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	5 kg

2.1.2 Reactivos

Tabla 6
Reactivos de laboratorio

Reactivos	Cantidad	Casa comercial
Metanol al 97 % de pureza	750 mL	Casa del químico-Ambato
Metanol al 99 % de pureza	500 mL	Casa del químico-Ambato
Ácido gálico grado cromatográfico 98 %	10 mL	Laboratorios Cevallos-Guayaquil
Acetonitrilo al 100 %	10 mL	Espectrocrom-Guayaquil
DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)	100 mL	Espectrocrom-Guayaquil
Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico)	100 mL	Espectrocrom-Guayaquil
Agua destilada	750 mL	Casa del químico-Ambato

2.1.3 Materiales de laboratorio

Tabla 7
Materiales de laboratorio

Materiales	Cantidad
Morteros	2
Vasos de precipitación de 250 mL	3
Probeta de 50 mL	1
Probeta de 100 mL	1
Balón de aforo de 100 mL	3
Erlenmeyer para vació de 500 mL	1
Erlenmeyer para vació de 1 L	1
Embudos de filtración	2
Tubos falcon de 15 mL	4
Tubos falcon de 30 mL	4
Envases de plástico de 1 L	4
Espátulas	2
Placas multipocillos de 96	2
Micropipetas de 20-10 μ L	2
Micropipetas de 20-200 μ L	2
Puntas de micropipeta	20

2.1.4 Equipos

Tabla 8
Equipos de laboratorio

Equipo	Marca
Deshidratador por convección	CABELAS 591650.1
Deshidratador electrónico	ROSPC FD-1200E
Molino de café electrónico	HAMILTON BEACH 80350R
Molino de café	DAEWOO DC6-362
pH-metro	ACCUMENT AB200
Balanza de humedad	KERN MLS 50-3
Rotavapor	IKA HB100
Rotavapor	EYELA 05b-2100
Bomba al vacío	GAST 1HAB-25B-M100X

Espectrofotómetro	FISHER SCIENTIFIC
Refrigeradora	Indurama RI-470
Equipo de HPLC	Perkin Elmer 200

2.1.5 Insumos y materiales de escritorio

Tabla 9
Insumos y material de escritorio

Insumos	Cantidad
Guantes de nitrilo	Caja x 100 unidades
Mascarillas	Caja x 100 unidades
Cofias	Caja x 100 unidades
Gafas protectoras	2 unidades
Cinta adhesiva de papel	1 rollo
Alcohol antiséptico al 70 %	1 L
Papel aluminio	1 rollo
Papel absorbente reutilizable	2 rollos
Papel filtro	1 pliego
Fundas ziploc aluminizadas	10 unidades
Fundas aislantes	10 unidades
Rotulador permanente	2 unidades
Esferos	3 unidades
Hojas papel bond A4	100 unidades
Ordenador portátil	1
Impresora	1

2.2 Métodos

2.2.1 Obtención de la materia prima

Los tubérculos frescos de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua amarilla (*Tropaelum tuberosum*), fueron adquiridos en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Se obtuvo una cantidad de camote y mashua de 10 y 5 kg respectivamente. Cada muestra fue seleccionada de forma que visiblemente presentara las condiciones adecuadas, es decir, sin rayaduras, estado sano y completo.

Las muestras se almacenaron en fundas aislantes durante su transporte hasta su tratamiento y uso en los laboratorios OUDIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. La mashua se indujo a un proceso de maduración ante la luz solar durante cinco días antes de su uso (**Salazar et al., 2021**).

2.2.2 Preparación de muestras

Los tubérculos fueron seleccionados y lavados eliminando todo tipo de impurezas, para posteriormente ser pelados. Luego se llevó a cabo un proceso de laminado que contó con un grosor de 2 mm. Las láminas de camote morado y mashua amarilla fueron sometidas a un pretratamiento de choque térmico en microondas a 560 W por 20 segundos, para posteriormente ser sumergidas en agua fría por menos de un minuto. Los tratamientos térmicos se usan a menudo para la inactivación de enzimas que pueden deteriorar a los vegetales, así como la eliminación de oxígeno retenido (**Lupano, 2013**). El choque térmico en ciertos alimentos inhibe el pardeamiento, así como la necrosis superficial.

2.2.3 Deshidratación de los tubérculos

Se realizó el proceso de deshidratado en un equipo de deshidratación por convección a una temperatura de 65 °C por 8 horas para eliminar toda la humedad presente en las muestras (**Salazar et al., 2021**). Todas las láminas de camote y mashua fueron colocadas por separado en rejillas con una distancia adecuada de forma que el calor se distribuyó uniformemente en el proceso de secado (**Akther et al., 2023**). Posteriormente las muestras secas fueron almacenadas en fundas aislantes.

2.2.4 Obtención de harina

Las muestras deshidratadas fueron trituradas por separado con la ayuda de tres molinos eléctricos. Cada muestra fue sometida a trituración por tres series en intervalos de 10 segundos de forma que se evitó que las muestras aumentaran de temperatura a su vez evitando la desnaturalización de los compuestos de interés, este método corresponde al usado en la

investigación de **Salazar et al., (2021)** con modificaciones de acuerdo a la matriz del caso.

2.2.5 Obtención de extractos de muestras de harina de camote morado y mashua amarilla

Para la obtención de las soluciones metanólicas se empleó la metodología de **Makhuvele et al., (2022)** con algunas modificaciones. Se pesaron 10 gramos de cada harina y se añadió 250 ml de metanol al 99 %, cada solución fue depositada en envases plásticos para luego ser maceradas por 24 horas a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad.

Posterior al tiempo de reposo, cada solución se filtró con ayuda de una bomba al vacío. El extracto obtenido de cada muestra fue sometido a rotavaporización por un tiempo de 7 minutos a 250 rpm con una temperatura de 67.8 °C, finalmente los extractos concentrados resultantes se depositaron en tubos falcon y se almacenaron en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

2.2.6 Extracción de compuestos fenólicos

2.2.6.1 Caracterización de compuestos fenólicos por HPLC

La caracterización de los compuestos fenólicos presentes en las muestras de harina se llevó a cabo siguiendo la metodología de **Pacheco et al., (2019)** y **Giusti et al., (2017)**, con algunas modificaciones de acuerdo con la disposición de materiales, equipos y reactivos necesarios para el análisis cromatográfico.

Se usó como disolvente de fase móvil una solución de agua y acetonitrilo en una relación 90:10. La separación de compuestos fenólicos se llevó a cabo en una columna C₁₈ (5µm, 250 mm * 4,6 mm). El estándar para la determinación de compuestos fenólicos fue ácido gálico de grado cromatográfico (98%).

El volumen de inyección para la muestra de harina de camote morado fue de 50 μ l, mientras que el volumen de la muestra de harina de mashua se ajustó a 5 μ l, para bajar su concentración. Para la determinación del tiempo de detección de los polifenoles se inyectó 20 μ l de ácido gálico (estándar) en fase móvil de una solución inicial de 50 μ l/mL. La detección de polifenoles en las muestras de harina se ajustó a un pH de 3 y a un modo de operación tipo isocrático con temperatura ambiente y a una longitud de onda de 272 nm.

2.2.7 Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

2.2.7.1 Preparación del reactivo de DPPH y Trolox

La determinación de la actividad antioxidante se llevó a cabo siguiendo la metodología de **Sawczuk et al., (2022)** modificando ciertos parámetros de forma que se ajustó la técnica para las muestras de harina.

Se preparó la solución madre de DPPH a una concentración de 150 μ M, para lo cual se pesaron 0,0059 g de DPPH y se disolvieron en 100 ml de una solución correspondiente a metanol-agua (80:20) en un balón de aforo. La solución se llevó a agitación constante por 35 minutos y se mantuvo en condiciones de oscuridad y refrigeración a 4°C (**Guamán, 2022**).

Para la curva de calibración se preparó una solución madre de Trolox con una concentración de 500 μ M, en donde, se pesaron 0,0125 g de Trolox y se disolvieron en 100 ml de una solución correspondiente a metanol-agua (50:50) y se llevó a agitación constante por 30 minutos. Posteriormente se tomaron concentraciones de 50, 100, 200, 300, 400 y 500 μ M de la solución madre para curva de calibración (**Bobo et al., 2015**).

2.2.7.2 Determinación de actividad antioxidante

Se uso una placa de 96 pocillos en donde se colocó el blanco (180 μ l de la solución metanol-agua (80:20) con 20 μ l de metanol al 97%), el

control (180 µl de solución DPPH con 20 µl de metanol al 97%) y el extracto de la muestra (180 µl de solución DPPH con 20 µl de muestra). Una vez colocada cada solución la placa se mantuvo aislada de la luz por 40 minutos. Posteriormente se tomaron lecturas de absorbancia con ayuda de un espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm, a una temperatura de 25 °C con incubación de 30 segundos. Se realizaron 5 réplicas (**Guamán, 2022**).

2.2.7.3 Determinación del porcentaje de inhibición de DPPH

Para el cálculo del porcentaje de inhibición de DPPH se empleó la ecuación 1 (**Guamán, 2022**).

$$\% \text{ Inibición DPPH} = \left[1 - \frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right] * 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de inhibición de DPPH

En donde:

A_m: Absorbancia de la muestra

A_b: Absorbancia del blanco

A_c: Absorbancia del control

2.2.7 Análisis estadístico

Se realizó el análisis ANOVA de la capacidad antioxidante por quintuplicado, de modo que se logró identificar la variación existente en cada una de las réplicas de cada muestra de harina, además, se llevó a cabo una prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 95%, $p < 0.05$.

CAPÍTULO III

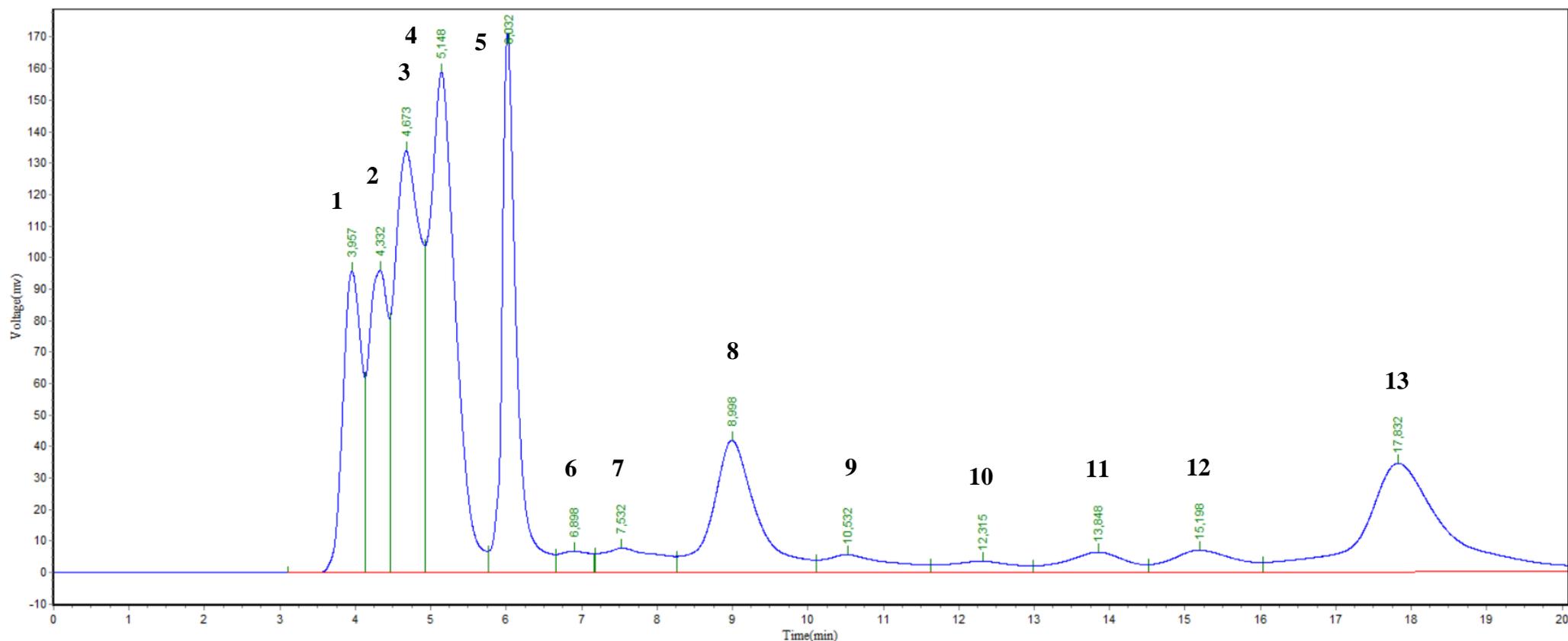
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Cromatografía de compuestos fenólicos en harina de camote morado y mashua

Figura 3

Cromatograma correspondiente a la muestra de harina de camote morado (*Ipomeas batatas*)



Nota. Cromatograma obtenido de la muestra de harina de camote morado a 272 nm, usando ácido gálico como estándar con una concentración de 0,0089376 mg/ml cuyo tiempo de retención corresponde a 7,890 min. La concentración de ácido gálico presente en la muestra de harina corresponde a 0,27 mg/kg, valor obtenido de la interpretación de los datos arrojados por el software HPLC.

Tabla 10

Análisis de picos expresados en la cromatografía de la harina de camote morado (Ipomeas batatas)

N° de picos	R _t (min)	Identificación provisional	Referencia
1	3,95	Ácido ascórbico	(Boke et al., 2019)
2	4,33	Ácido sináptico-C-hexósido	(López et al., 2017)
3	4,67	Ácido cafeico glucósido	(López et al., 2017)
4	5,14	Ácido cafeico	(Boke et al., 2019)
5	6,03	Ácido p-cumárico glicósido isómero 1	(López et al., 2017)
6	6,89	Acido trans-4-OH-cinámico	(Boke et al., 2019)
7	7,53	Derivado hexóxido ferúlico	(Pacheco et al., 2019)
8	8,99	Ácido cafeoilquínico isómero 2	(Pacheco et al., 2019)
9	10,53	Ácido clorogénico	(Lopes dos Santos et al., 2017)
10	12,31	Pelargonidina 3-dihexósido-5-hexósido	(Pacheco et al., 2019)
11	13,84	Quercetina	(Lopes dos Santos et al., 2017)
12	15,19	Ácido transcinámico	(Lopes dos Santos et al., 2017)
13	17,83	Cianidina 3-p-hidroxibenzoldihexósido-5-hexósido	(Pacheco et al., 2019)

Elaborado por: Chamba (2023).

En la Figura 3 se observa el cromatograma correspondiente a la muestra de harina de camote morado, en donde se puede apreciar la existencia de 13 picos presuntamente correspondientes a compuestos fenólicos y flavonoides. Cromatogramas expuestos en investigaciones realizadas por **Pacheco et al., (2019)** con el mismo tubérculo, muestran similitud en cuanto a los tiempos de retención obtenidos en esta investigación, mismos que se evidencian en la Tabla 10. En la investigación mencionada los parámetros cromatográficos se ajustaron de tal manera que los picos fuesen representativos para ácidos fenólicos y flavonoides con actividad antioxidante con longitudes de onda que van desde los 326 a 520 nm.

Los resultados de **Pacheco et al., (2019)** muestran similitud en cuanto a los tiempos de retención de los picos 7, 8 y 13, cuyos tiempos de retención en su investigación se encontraron a 7.70, 8.41, y 18.74 minutos respectivamente, valores que se acercan a los

obtenidos en este estudios y al tratarse de la misma muestra bajo diferentes tratamientos se considera que la identificación provisional de los picos antes mencionados es considerablemente aceptada.

Resultados cromatográficos presentados en las investigaciones de **Boke et al., (2019)** empleando como matriz variedades de *Cephalaria* a diferentes longitudes de onda con una columna C₁₈ para la detección de compuestos fenólicos, muestran tiempos de retención de 3.87, 5.04 y 6.51 minutos, mismos que se asemejan a los obtenidos en esta investigación en los picos 1, 4 y 6, por lo que podemos inferir que la identificación provisional es probablemente correcta.

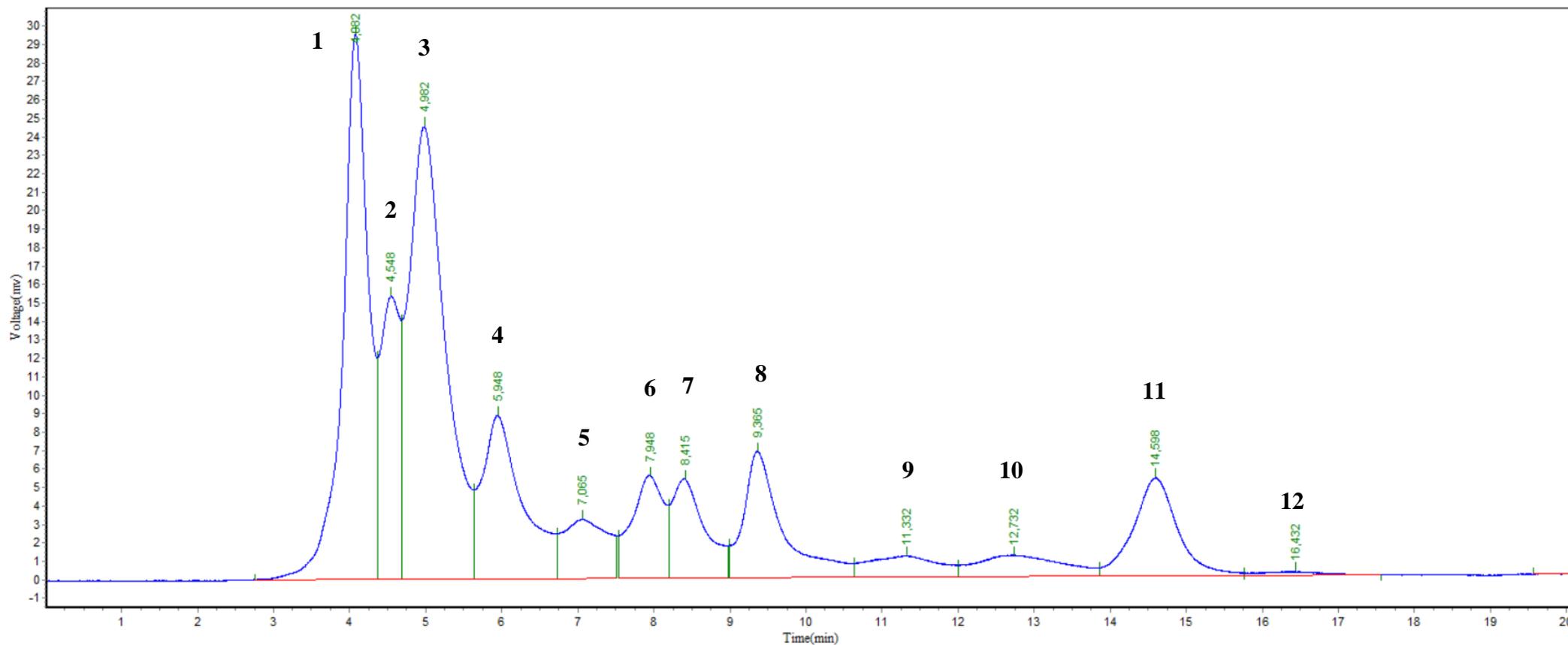
Por otro lado **Lopes dos Santos et al., (2017)** en su investigación de compuestos bioactivos fenólicos dentro de guayaba (*Psidium guajava L.*), usando longitudes de onda de 280, 330 y 360 nm, obtuvo tiempos de retención de 10.60, 13.43 y 15.28 minutos, valores similares a los obtenidos en esta investigación en los picos 9, 11 y 12 como se muestra en la Figura 3 y Tabla 10, considerándose que en dicha investigación se usaron estándares para los tiempos de retención mencionados, se puede afirmar que la identificación provisional es ligeramente certera.

Por último, los picos 2, 3 y 5 se compararon con resultados obtenidos en investigaciones realizadas por **López et al., (2017)** en la determinación de compuestos fenólicos de aguacate empleando cromatografía, en donde se usó longitudes de onda de 233, 234 y 237 nm, obteniéndose tiempos de retención de 4.50, 4.71 y 6.05 minutos, valores semejantes a los obtenidos en los picos antes mencionados y por lo cual se ha realizado la identificación provisional dada la similitud de resultados.

En el libro “Polifenoles en plantas” de **Mu & Sun, (2019)**, en la sección de polifenoles en camote, muestra la existencia de derivados del ácido cafeoilquínico (CQA), y ácido cafeico en tiempos de retención de 1.47 a 6.87 minutos, específicamente si comparamos algunos de ellos, a un tiempo de 4.16 min se encuentra el 4,5-CQA, 4.54 min el 3,5-CQA y a 4.88 min el 3,4-CQA, valores cercanos a los obtenidos en el estudio presente. Al considerar que la matriz de estudio es la misma y que la columna usada fue una C₁₈ se puede decir que bibliográficamente el camote posee ácido cafeico y ácido cafeoilquínico. De igual manera **Im et al., (2021)**, en su investigación determina compuestos fenólicos en camote morado como ácido cafeico, ácido ferúlico, glucósido y cianidina.

Figura 4

Cromatograma correspondiente a la muestra de harina de mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum)



Nota. Cromatograma obtenido de la muestra de harina de camote morado a 272 nm, usando ácido gálico como estándar con una concentración de 0,0089376 mg/ml, cuyo tiempo de retención corresponde a 7,890 min. La concentración de ácido gálico presente en la muestra de harina corresponde a 59,03 mg/kg y este valor se obtuvo de la interpretación de los datos arrojados por el software HPLC.

Tabla 11

*Análisis de picos expresados en la cromatografía de la harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)*

N° de picos	R _t (min)	Identificación provisional	Referencia
1	4,06	Tirosol glucósido	(López et al., 2017)
2	4,54	Ácido sináptico-C-hexósido	(López et al., 2017)
3	4,98	Delfinidina 3,5-glucósido	(Giusti et al., 2017a)
4	5,94	Ácido p-cumárico hexóxido penntósido	(López et al., 2017)
5	7,06	Ácido cafeico	(Giusti et al., 2017a)
6	7,94	Rutina	(Giusti et al., 2017a)
7	8,41	Epigalocatequina	(Pacheco et al., 2019)
8	9,36	Catequina	(Lopes dos Santos et al., 2017)
9	11,33	Ramnosidilhexósido de miricetina	(Pacheco et al., 2019)
10	12,73	Ácido ferúlico	(Lopes dos Santos et al., 2017)
11	14,59	Quercetina rhamnosilhexósido	(Pacheco et al., 2019)
12	16,43	Quercetina pentosil rhamnosilhexósido	(Pacheco et al., 2019)

Elaborado por: Chamba (2023).

En la Figura 4 se observa el cromatograma correspondiente a la muestra de harina de mashua amarilla, en donde se aprecian la existencia de 12 picos presuntamente correspondientes a compuestos fenólicos y flavonoides con actividad antioxidante.

En los resultados obtenidos por **Giusti et al., (2017)** en la determinación de compuestos fenólicos en legumbres, mediante estándares, a longitudes de onda desde 265 a 520 nm y usando una columna C₁₈, obtuvo tiempos de retención de 4.90, 7.20 y 7.90 minutos, mismo muy cercanos a los obtenidos en los picos 3, 5 y 6 en este estudio, y al tratarse de estándares con una columna semejante en el estudio mencionado, la identificación provisional es aceptada.

Por otro lado, los picos 1, 2, y 4 se compararon con picos obtenidos en la investigación de **López et al., (2017)**, en donde, se obtuvieron tiempos de retención de 4.01, 4,50 y 5.96 minutos usando una columna C₁₈ a longitudes de onda de 240, 280 y 330 nm, observando la Figura 4 y Tabla 11 se puede apreciar la cercanía entre estos valores y los obtenidos en la harina de mashua, por lo que, se deduce que puede tratarse de los mismos compuestos.

Dentro de las investigaciones realizadas por **Lopes dos Santos et al., (2017)** se realizó un análisis de compuestos bioactivos fenólicos dentro de guayaba (*Psidium guajava L.*) usándose estándares para la técnica de cromatografía. En esta investigación los tiempos de retención a una longitud de onda de 280 nm para los estándares de ácido gálico, catequina y ácido ferúlico corresponden a 9.85 y 12.67 minutos respectivamente, tiempos muy aproximados a los obtenidos en el cromatograma de harina de mashua, por lo tanto, se puede inferir que en este caso los picos 8 y 10 corresponden a los identificados provisionalmente.

Por otro lado la investigación de compuestos fenólicos presentes en mashua realizada por **Pacheco et al., (2019)** muestra similitudes con los tiempos de retención de los picos 7, 9, 11 y 12, en donde a longitudes de onda que van desde de 272 a 358 nm, obtuvo tiempos de retención de 8.12, 11.18, 14.50 y 16.40 minutos respectivamente, valores que se asemejan a los obtenidos en este estudio como se observa en la Tabla 11. Considerándose que se trata de la misma matriz, se puede asumir que la identificación provisional de los picos antes mencionados es aceptable.

Cabe mencionar la existencia de asimetría y sobreposiciones de picos en los cromatogramas obtenidos tanto para la muestra de harina de camote morado, como para la de harina de mashua, hecho que repercute directamente sobre la incertidumbre de medición. Es así, que los compuestos previamente identificados de forma provisional que mantienen esta condición de asimetría, superposición o áreas de picos muy cercanas se mantendrán como compuestos no identificados y por lo tanto, es necesario la aplicación de una técnica más avanzada de cromatografía, siendo en este caso cromatografía líquida acoplada a espectrofotometría de masas (HPLC-MS) para una determinación más eficiente y exacta de los compuestos correspondientes a estos picos característicos.

La relación señal ruido (S/R) es usado para la definición de la detectabilidad del método y un nivel bajo de ruido se encuentra relacionado con la sensibilidad del método, condicionando el límite de detección y cuantificación. En el caso de HPLC-UV Vis este ruido está relacionado a el ruido propio del sistema en cuanto a la calidad del equipo y al ruido del solvente empleado, mismo que manifiesta una señal base en el detector usado (**Quattrocchi, 2019**). Se ha tomado en cuenta esta relación dada la incertidumbre existente en los picos con asimetría y sobreposición, así como para aquellos que se encuentran simétricamente aceptables y pueden ser comparados.

Con el fin de llevar el análisis a resultados más reales, se ha considerado realizar la verificación del método de determinación de compuestos fenólicos mediante HPLC-UV Vis, tomando en cuenta parámetros como la linealidad y sensibilidad, límite de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ) (González et al., 2019). En este caso se considera tomar en cuenta los picos obtenidos que se muestran simétricamente más aceptables en las muestras de cada harina de forma que los compuestos a los que se presume pertenecen puedan ser comparados tomando en cuenta los parámetros de validación antes mencionados, además se tomando en cuenta el tipo de columna usada en las investigaciones con las que se realiza la comparación, siendo esta una columna C₁₈.

La adecuada identificación y cuantificación de analitos permite realizar la validación de un método y en este caso la validación de HPLC aplicada a la determinación de compuestos fenólicos. Según estudios de Zhu et al., (2023), muchos compuestos fenólicos pueden mostrar coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,9971 y valores de LOD y LOQ relativamente bajos en rangos de 0,4 a 6,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y 1,4 a 22,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Así mismo Zhang et al., (2023) menciona coeficientes de determinación iguales o superiores a 0.998 y LOQ en rangos inferiores a 0,1 mg/g en su investigación sobre determinación de compuestos fenólicos en propóleos mediante HPLC-UV.

Analizando las investigaciones antes mencionadas y tomando en cuenta los resultados obtenidos mediante la cromatografía líquida UV Visible en las muestras de harina de camote morado y mashua se puede afirmar que las harinas estudiadas son ricas en compuestos fenólicos como ácido p-cumárico, cianidina, ácido cafeico y derivados, tirosol glucósido y catequina.

Tabla 12

Concentración de ácido gálico presente en las muestras de harina de camote morado y mashua amarilla.

Muestra	Concentración (mg/kg)
Camote morado	0,27
Mashua amarilla	59.03

Elaborado por: Chamba (2023).

En la Tabla 12 se encuentran las concentraciones correspondientes de ácido gálico presentes en cada muestra de harina, obtenidas mediante el software N2000 offline chromatostation, tras el cálculo de datos como, el peso, altura y asimetría del compuesto expresados en su pico correspondiente.

3.2 Actividades biológicas

3.2.1 Actividad antioxidante evaluada por el ensayo DPPH

3.2.1.1 Actividad antioxidante presente en harina de camote morado y mashua

La actividad antioxidante presente en la harina de camote morado fue evaluada mediante el método de actividad de captación de radicales libres DPPH. Los resultados de la capacidad antioxidante de la harina de camote morado se expresan en la Tabla 13 en forma de porcentaje de inhibición de radicales DPPH.

Tabla 13

Análisis estadístico de matrices Tukey en la actividad antioxidante de las muestras de harina

Matriz	Absorbancia	% Inhibición	μmol Equivalente Trolox/g
Camote morado	0,113 ± 0,001 ^a	60,976 ± 0,881 ^b	8,588 ± 1,358 ^b
Mashua amarilla	0,098 ± 0,005 ^b	69,974 ± 3,616 ^a	10,254 ± 0,134 ^a

Nota. En los resultados se observa la media de las absorbancias y la media de las cinco repeticiones del % de inhibición de DPPH, mientras que los μmol Equivalente Trolox/L corresponden a la media de dos repeticiones y su desviación estándar. La prueba Tukey se llevó a cabo con un nivel de confianza de ($p > 0,05$).

Elaborado por: Chamba (2023).

El análisis ANOVA, y la prueba de rangos múltiples Tukey, demostraron estadísticamente que la harina de mashua presenta significativamente una mayor actividad antioxidante (% inhibición de radicales DPPH) con un 95,0% de nivel de confianza ($p > 0,05$). EL resultado de la prueba estadística se encuentra ubicado en el ANEXO C.

El principio del ensayo DPPH se basa en la reducción del radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazina ante la presencia de un antioxidante, esto apreciable a vista ante el cambio de coloración de un morado característico del DPPH a un amarillo. La reacción provoca una disminución en la intensidad del color que va de la mano con la proporción del contenido de antioxidantes de la muestra a evaluar (**Lepecka et al., 2023**). Aquellas sustancias captadoras de radicales libres (donadoras de H) presentan una reacción con el DPPH provocando una disminución de coloración y absorbancia de la sustancia que inicialmente corresponden a una coloración violeta y a 517 nm respectivamente (**Tapia et al., 2017**).

El porcentaje de inhibición de DPPH presente en las muestras de harina se realizó usando la ecuación usada en el estudio de **Tufinio et al., (2021)** con algunas modificaciones, considerando el estado de la muestra. En concordancia con los resultados de la Tabla 13, el porcentaje relativamente elevado de inhibición de radicales de DPPH puede deberse a la elevada cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides con actividad antioxidante presentes en la harina del tubérculo (**Tejedor et al., 2021**).

En la Tabla 13 se plasma como resultado que la media del porcentaje de inhibición de radicales de DPPH que posee el camote morado corresponde a 60,98%, valor considerado inferior al reportado por **Curayag et al., (2019)** de 85,37%, en donde la solución metanólica se realizó con metanol al 50%, con un procedimiento de mezcla en vordex por solo 10 minutos. De igual manera el porcentaje de inhibición de la harina de camote morado reportado por **Aziz et al., (2018)** es de 86,46%, siendo superior al reportado en este estudio, esto dado a las variaciones de los ensayos, que, al igual que caso anterior se usó una concentración de metanol inferior al igual que el tiempo de macerado.

En el estudio químico y antioxidante de variedades de mashua realizado por **Jiménez et al., (2019)** se obtuvieron porcentajes de inhibición de radicales DPPH de la variedad de mashua amarilla de entre 66,03 a 75,45% en concentraciones de muestra de 200 y 250 mg/mL. El porcentaje de inhibición de radicales DPPH obtenido en este estudio para la muestra de harina de mashua corresponde a 69,97%, mismo valor que se encuentra dentro del rango antes mencionado, las variaciones pueden deberse al tratamiento dado al tubérculo.

En el presente estudio se obtuvo un valor de 8,588 μmol Equivalente Trolox/g, para la muestra de harina de camote morado, mientras que **Cartier et al., (2017)** muestra un valor de 17,2 de μmol Equivalente Trolox/g. Por otro lado, en la investigación de tubérculos andinos de Ecuador realizada por **Pacheco et al., (2019)** determinó la actividad antioxidante de camote morado de 3,9 mM Trolox/100 g.

De igual manera la harina de mashua obtuvo un valor de 10,254 μmol Equivalente Trolox/g y al comparar este valor con los obtenidos por **Salazar et al., (2021)**, quienes muestran en su investigación un valor de 163 μmol Equivalente Trolox/g para una muestra de mashua deshidratada, mientras que **Pacheco et al., (2019)** en su estudio obtuvieron valores de 6,0 mM Trolox/100 g correspondientes a mashua, nos damos

cuenta que al igual que el caso de la harina de camote los μmol Equivalente Trolox/g obtenidos son inferiores a los reportados por otras investigaciones.

Así mismo, investigaciones sobre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante presentes en seis variedades de mashua realizada por **Behar et al., (2021)**, muestra un porcentaje de inhibición de 43,00 μmol Equivalente Trolox/100 g para la variedad de mashua amarilla.

La variación ante los resultados de μmol Equivalente Trolox/g obtenidos al igual que con el porcentaje de inhibición en ambas harinas se puede explicar dados los tratamientos llevados a cabo durante el paso del tubérculo de su estado natural a la obtención de harinas. El efecto de la temperatura puede producir reacciones negativas sobre los compuestos nutricionales termolábiles que promueven la salud, tales como las vitaminas, polifenoles, pigmentos y compuestos antioxidantes (**Piepiórka et al., 2023**).

Las condiciones de almacenamiento también tienen influencia directa sobre la vida útil de los compuestos bioactivos, la exposición a la luz y temperaturas de alrededor de 25 °C pueden influir de forma negativa sobre los procesos de degradación (**Scrob et al., 2022**).

3.3 Compuestos fenólicos como elementos beneficiosos

Los polifenoles son metabolitos secundarios presentes en muchos alimentos y bebidas de origen vegetal, y estos tienen influencia directa sobre la defensa del cuerpo humano ante enfermedades crónicas, además, la actividad antioxidante de estos compuestos se ha relacionado en asegurar la protección celular humana de condiciones de destrucción relacionadas con el estrés oxidativo que tienen incidencia sobre la peroxidación de lípidos, lesiones al DNA y varias enfermedades degenerativas (**Akther et al., 2023**).

Dentro del ámbito del bienestar humano se ha venido complementando las técnicas tradicionales del procesamiento de alimentos, haciendo uso de harinas integrales con componentes fenólicos y actividad antioxidante, de modo que se ha estado estudiando la calidad de alimentos desarrollados mediante técnicas innovadoras tales como impresión 3D en cuanto a su valor nutricional. Si bien se busca hacer uso de tecnología emergente en el desarrollo de alimentos, es importante destacar el valor agregado que proporcionan los compuestos bioactivos para promover el bienestar llegando más allá de los nutrientes básicos de la dieta (**Kewuyemi et al., 2023**).

Según **Ahmed et al, (2021)**, considera que los compuestos fenólicos son los compuestos naturales con mayor actividad en actividad antioxidante, además de exhibir varias propiedades farmacológicas. Los antioxidantes son usados como aditivos alimenticios para inhibir o retardar la oxidación de lípidos, impidiendo la generación de compuestos tóxicos, prolongando así la vida útil de los alimentos preservando su valor nutricional.

El aprovechamiento y explotación de los recursos vegetales se ha convertido en un tema recurrente dado el aumento de la demanda alimentaría y la necesidad de consumir alimentos con un mejor valor nutricional. Las harinas obtenidas en este estudio presentan una prospección favorable ante esta problemática, al tratarse de recursos accesibles en la zona sierra del Ecuador, que además son poseedores de compuestos bioactivos que otorgan varios beneficios hacia la salud de sus consumidores, como lo son los compuestos fenólicos con actividad antioxidante (**Singh et al., 2020**).

Los fitoquímicos presentes en vegetales tales como los compuestos fenólicos desempeñan funciones varias funciones biológicas dentro del cuerpo humano, pudiendo actuar como antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, antihipertensivas, además de poder prevenir o disminuir el desarrollo de enfermedades crónicas. Bibliográficamente hablando la quercetina presenta propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y antidiabéticas, la catequina en alto consumo puede contribuir a reducir el riesgo de padecer cáncer de estómago y páncreas, por otro lado, el ácido cafeico y p-cumárico ayudan en la prevención de inflamación y cáncer e inhiben la melanogénesis celular. Así mismo al ácido gálico se le atribuyen propiedades antibióticas (**Arruda et al., 2022**).

Investigaciones realizadas por **López et al., (2022)**, muestran el papel de compuestos fenólicos en la nutrición en procesos de embarazo y lactancia en ensayos realizados con ratas. Este ensayo consiste en determinar la transmisión vertical de compuestos fenólicos presentes en aceite de oliva extra virgen mediante los procesos mencionados. Del estudio vale destacar la determinación de ácido p-cumárico y tirosol dentro del aceite y la determinación de tirosol y derivados dentro del plasma y suero láctico de las madres, así como en el plasma de las crías. Es así, que se destaca la importancia de la dieta materna en el proceso de embarazo y lactancia, de modo que se afirma que la administración de material vegetal rica en compuestos fenólicos resulta beneficiosa aumentando el nivel de compuestos fenólicos en el propio organismo tanto para la madre, así como para su descendencia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC, identificó la presencia de varios compuestos bioactivos mediante la obtención de varios picos en cada cromatograma, mismos que varían en cuanto a su concentración y tiempo de retención en cada tubérculo. Aun así, la determinación exacta del compuesto al que corresponde cada pico encontrado no se encuentra totalmente esclarecida. Pese a esto, se ha evidenciado la existencia de compuestos fenólicos en cada tubérculo correlacionados al ácido cumárico, clorogénico, tirosol glucósido y catequina. Compuestos que poseen múltiples beneficios en cuanto a salud, de tal forma que se puede afirmar que la harina de camote morado y mashua pueden ser sujetas a formulaciones con el fin de aprovechar su potencial fenólico y antioxidante.
- Los procesos involucrados en la obtención de la harina de cada tubérculo tienen influencia sobre los compuestos bioactivos presentes en los mismos en comparación a su estado natural. El método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) permitió analizar la capacidad antioxidante que poseen las harinas de cada tubérculo estudiado, siendo esta actividad considerable a las encontradas en los mismos tubérculos, pero en su estado natural. Pese a una mínima disminución en la capacidad de captación de radicales DPPH presente en cada harina, y una mayor actividad antioxidante encontrada en la harina de mashua comparada con la de camote, se considera que las harinas de cada tubérculo presentan potencial antioxidante que puede ser aprovechado.
- Los compuestos fenólicos con actividad antioxidante han sido fuente de estudio que han venido tomando mayor relevancia en los últimos años, esto gracias a su aplicabilidad dentro del ámbito de la salud y la nutrición. Se establece que las harinas obtenidas en este estudio tienen prospección dentro del área nutritiva y de la salud, esto debido a su considerable actividad antioxidante. Es así, que es posible la elaboración de formulaciones que permitan la aplicabilidad de estas harinas en la dieta de consumidores, teniendo un impacto favorable y directo hacia su salud.

4.2 Recomendaciones

- El tratamiento dado a los tubérculos durante la obtención de harinas puede mejorarse de tal manera que la calidad de los compuestos bioactivos no se vea afectada por factores físicos.
- El llevar a cabo análisis más específicos como cromatografía líquida acoplada a espectrofotometría de masas (HPLC-MS) permitirá una determinación más eficiente y exacta de los compuestos fenólicos presentes en las harinas.

MATERIALES DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Galvez, A., Pedreschi, R., Carpentier, S., Chirinos, R., García-Ríos, D., & Campos, D. (2020). Proteomic analysis of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers subjected to postharvest treatments. *Food Chemistry*, 305(September 2019), 125485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125485>
- Ahmed, S., Jubair, A., Hossain, M., Hossain, M., Azam, S., & Biswas, M. (2021). Free radical-scavenging capacity and HPLC-DAD screening of phenolic compounds from pulp and seed of *Syzygium claviflorum* fruit. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100203. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2021.100203>
- Akther, S., Jothi, J., Badsha, R., Rahman, M., Das, G., & Alim, A. (2023). Drying methods effect on bioactive compounds, phenolic profile, and antioxidant capacity of mango powder. *Journal of King Saud University - Science*, 35(1), 102370. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2022.102370>
- Alexandre, J., Helene, A., & Wessel, L. (2018). Phenolic profiling of grapes, fermenting samples and wines using UV-Visible spectroscopy with chemometrics. *Food Control*, 85, 11–22. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2017.09.014>
- Armijos, G., Villacrés, E., Quelal, M., Cobeña, G., & Álvarez, J. (2020). Evaluación físico-química y funcional de siete variedades de camote provenientes de Manabí-Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Arruda, H., Araújo, M. V, & Marostica, M. (2022). Underexploited Brazilian Cerrado fruits as sources of phenolic compounds for diseases management: A review. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5(November). <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100148>
- Arteaga-Cano, D., Chacón-Calvo, L., Samamé-Herrera, V., Valverde-Cerna, D., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Nutritional composition, chemical characteristics, bioactivecompounds and beneficial properties for health. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95–101. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>

- Ayol Muñoz, R. (2020). Desarrollo de una bebida láctea con la adición de harinas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/14287/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-55.pdf>
- Aziz, A., Padzil, A., & Muhamad, I. (2018). Effect of incorporating purple-fleshed sweet potato in biscuit on antioxidant content, antioxidant capacity and colour characteristics. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 22(4), 667–675. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2204-13>
- Baker, M. M., & Belal, T. S. (2018). Validated HPLC-DAD Method for the Simultaneous Determination of Six Selected Drugs Used in the Treatment of Glaucoma. *Journal of AOAC International*, 101(4), 993–1000. <https://doi.org/10.5740/JAOACINT.16-0439>
- Basílio, L. S. P., Vanz Borges, C., Minatel, I. O., Vargas, P. F., Tecchio, M. A., Vianello, F., & Lima, G. P. P. (2022). New beverage based on grapes and purple-fleshed sweet potatoes: Use of non-standard tubers. *Food Bioscience*, 47, 101626. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101626>
- Behar, H., Reategui, O., Liviac, D., Arcos, J., Best, I., Behar, H., Reategui, O., Liviac, 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. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V74N3.93020>
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M. R., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204–209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>
- Boke, N., Goren, A., & Kirmizigul, S. (2019). Simultaneous determination of several flavonoids and phenolic compounds in nineteen different *Cephalaria* species by HPLC-MS/MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 173, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.05.019>
- Cartier, A., Woods, J., Sismour, E., Allen, J., Ford, E., Githinji, L., & Xu, Y. (2017).

- Physiochemical, nutritional and antioxidant properties of fourteen Virginia-grown sweet potato varieties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(3), 1333–1341. <https://doi.org/10.1007/S11694-017-9511-8/TABLES/6>
- Cereceres, A., Rodrigo, J., Álvarez, E., & Rodríguez, A. (2019). Consumption of phenolic compounds in the elderly population. *Nutricion Hospitalaria*, *36*(2), 470–478. <https://doi.org/10.20960/NH.2171>
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(8), 2833–2849. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3221-Z>
- Cobeña, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas, F., & Ángel, G. (2017). Manual técnico del cultivo del camote. In Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Ed.), *Editorial Ecuador*. Editorial Hums. https://www.researchgate.net/publication/330968472_MANUAL_TECNICO_DEL_CULTIVO_DE_CAMOTE
- Curayag, Q., Dizon, E., & Hurtada, W. (2019). Antioxidant activity, chemical and nutritional properties of raw and processed purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Cogent Food & Agriculture*, *5*(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1662930>
- Dilas-Jiménez, J., & Ascurra-Toro, D. (2020). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) underutilized crop with high potential for high Andean areas in Perú. *Alpha Centauri*, *1*(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.47422/ac.v1i1.3>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture and challenges*. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Ferguson, C., Marie, K., & Switzer, S. (2022). Indigenous food sovereignty is constrained by “time imperialism.” *Geoforum*, *133*, 20–31. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2022.05.003>
- Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutelli, M., Vittori, S., & Sagratini, G. (2017a). Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. In *Food Chemistry* (Vol. 221, pp. 689–697). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.118>

- Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutelli, M., Vittori, S., & Sagratini, G. (2017b). Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. *Food Chemistry*, *221*, 689–697. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.11.118>
- González-Barraza, L., Díaz-Godínez, R., Castillo-Guevara, C., Nieto-Camacho, A., & Méndez-Iturbide, D. (2017). Phenolic compounds: presence, identification and antioxidant activity in plants and fruits Compuestos fenólicos: presencia, identificación y propiedades antioxidantes en plantas y frutos. *Mexican Journal of Biotechnology*, *2*(1), 46–64. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.46>
- González, A., Vázquez, M., Espada, E., Barbero, G., Piñeiro, Z., & Palma, M. (2019). Optimización y validación de un método de análisis de compuestos fenólicos en uvas mediante cromatografía líquida de ultra-alta eficacia (uhplc-pda-fl). In Centro Universitario Santa Ana & C/ IX Marqués de la Encomienda (Eds.), *XLI Jornadas de Viticultura y Enología de la Tierra de Barros* (pp. 193–229). I Congreso Agroalimentario de Extremadura.
- Guamán, E. (2022). Evaluación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de la hoja y fruto del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) frente a bacterias patógenas (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes*). [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36567/1/CBT_013.pdf
- Im, Y., Kim, I., & Lee, J. (2021). Phenolic composition and antioxidant activity of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): Varietal Comparisons and Physical Distribution. *Antioxidants* *2021*, Vol. *10*, Page *462*, *10*(3), 462. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10030462>
- Jiménez, M., Gutiérrez, Y., Guaranda, Y., & Martínez, M. (2019). Chemical study and determination of the antioxidant activity of three varieties *Tropaeolum tuberosum* (Mashua). *American Journal of Plant Sciences*, *10*(12). <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.1012159>
- Kewuyemi, Y., Kesa, H., Meijboom, R., Alimi, O., & Adebo, O. (2023). Comparison of nutritional quality, phenolic compounds, and antioxidant activity of conventional

- and 3D printed biscuits from wholegrain and multigrain flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103243. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2022.103243>
- Lado, J., Vicente, E., Moltini, A., Alcaine, F., & Ares, G. (2021). Integrating consumer perception in the selection of purple-skin sweet potato cultivars. *J Sci Food Agric*, 101(9), 3620–3629. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33275810/>
- Lepecka, A., Szymański, P., Okoń, A., & Zielińska, D. (2023). Antioxidant activity of environmental lactic acid bacteria strains isolated from organic raw fermented meat products. *LWT*, 174, 114440. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114440>
- Li, A., Xiao, R., Él, S., An, X., El, Y., Wang, C., Yin, S., BinWang, Shi, X., & Él, J. (2019). Research Advances of Purple Sweet Potato Anthocyanins: Extraction, Identification, Stability, Bioactivity, Application, and Biotransformation. *Moléculas*, 24(21), 3816. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31652733/>
- Lim, T. K. (2016). Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Vol. 12). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7276-1>
- Lim, Tong Kwee. (2016). *Medicinal and Non-medicinal Edible Plants* (Vol. 10). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7276-1>
- Lopes dos Santos, W., da Silva, M., Pinto dos Santos, A., de Andrade Santana, D., Almeida, R., & da Cruz Caldas, J. (2017). Simultaneous determination of 13 phenolic bioactive compounds in guava (*Psidium guajava L.*) by HPLC-PAD with evaluation using PCA and Neural Network Analysis (NNA). *Microchemical Journal*, 133, 583–592. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.029>
- López, Ana, Gómez, A., Pasini, F., Caboni, M., Segura, A., & Fernández, A. (2017). HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic and other polar compounds in the edible part and by-products of avocado. *LWT*, 73, 505–513. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.06.049>
- López, Anallely, Grases, B., Zhan, S., Pérez, F., Lamuela, R., Rodríguez, M. J., & Vallverdú, A. (2022). Nutrition during pregnancy and lactation: New evidence for the vertical transmission of extra virgin olive oil phenolic compounds in rats. *Food*

Chemistry, 391, 133211. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133211>

López, G., Leon, L., & Espejel, J. (2020). Extraction of Inulin from Andean Plants: An Approach to Non-Traditional Crops of Ecuador. *Molecules*, 25(21), 10–13. <https://doi.org/10.3390/molecules25215067>

Lupano, C. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: Cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. In Editorial de la Universidad de La Plata (Ed.), *Universidad Nacional de la Plata: Vol. Primera* (1a ed). La Plata : Universidad Nacional de La Plata.

Makhuvele, R., Gbashi, S., & Njobeh, P. B. (2022). GC-HRTOF-MS metabolite profiling and antioxidant activity of methanolic extracts of *Tulbaghia violacea* Harv. *Journal of King Saud University - Science*, 34(7), 102278. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102278>

Malpartida Yapas, R. J., Adama Astete, J., & Rosales Sánchez, M. (2022). Physicochemical characteristics, nutritional composition and bioactive compounds in three varieties of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): A review. *Revista Tecnológica E*, 34(2), 41–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.891>

Martin. G, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

Merchant, E. V., & Simon, J. E. (2022). Traditional and indigenous foods for food security and sovereignty. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00076-7>

Moazzen, A., Öztinen, N., Ak-Sakalli, E., & Koşar, M. (2022). Structure-antiradical activity relationships of 25 natural antioxidant phenolic compounds from different classes. *Heliyon*, 8(9), e10467. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E10467>

Mu, T.-H., & Sun, H.-N. (2019). Sweet Potato Leaf Polyphenols: Preparation, Individual Phenolic Compound Composition and Antioxidant Activity. In Ronald Ross Watson (Ed.), *Polyphenols in Plants* (Second Edition, pp. 365–380). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00022-0>

- Pacheco, M. T., Escribano-Bailón, M. T., Moreno, F. J., Villamiel, M., & Dueñas, M. (2019). Determination by HPLC-DAD-ESI/MSn of phenolic compounds in Andean tubers grown in Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, *84*, 103258. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2019.103258>
- Pacheco, T., Hernández, O., Moreno, J., & Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, *35*, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100601>
- Passos, M., & Saraiva, M. L. (2019). Detection in UV-visible spectrophotometry: Detectors, detection systems, and detection strategies. *Measurement*, *135*, 896–904. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2018.12.045>
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Hernandez-Ledesma, B., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2020). A comparative study on the phenolic bioaccessibility, antioxidant and inhibitory effects on carbohydrate-digesting enzymes of maca and mashua powders. *LWT*, *131*, 109798. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109798>
- Piepiórka, J., Wojtasik, I., Sterczyńska, M., Mierzejewska, S., Stachnik, M., & Jakubowski, M. (2023). The effect of heat treatment on bioactive compounds and color of selected pumpkin cultivars. *LWT*, *175*, 114469. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114469>
- Quattrocchi, O. (2019). Capítulo 7. Interpretación de Cromatogramas. In *Compendio HPLC* (1a ed). Editorial DUNKEN. <https://www.researchgate.net/publication/344495095>
- Renee Vidal, A., Zaucedo-Zuñiga, A., & Ramos-García, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *19*(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Salazar, D., Arancibia, M., Ocaña, I., Rodríguez-Maecker, R., Bedón, M., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2021). Characterization and Technological Potential of Underutilized Ancestral Andean Crop Flours from Ecuador. *Agronomy* *2021*, Vol. *11*, Page *1693*, *11*(9), 1693. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11091693>
- Saucedo, S., Torres, J., Castro, C., Rojas, R., Sánchez, E., Ngangyo, M., & Martínez, G.

- (2018). Moringa plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, *111*, 438–450. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.05.062>
- Sawczuk, R., Karpinska, J., Filipowska, D., Bajguz, A., & Hryniewicka, M. (2022). Evaluation of total phenols content, anti-DPPH activity and the content of selected antioxidants in the honeybee drone brood homogenate. *Food Chemistry*, *368*, 130745. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130745>
- Scrob, T., Varodi, S., Vintilă, G., Casoni, D., & Cimpoiu, C. (2022). Estimation of degradation kinetics of bioactive compounds in several lingonberry jams as affected by different sweeteners and storage conditions. *Food Chemistry: X*, *16*, 100471. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100471>
- Singh, B., Singh, J., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, *132*. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109114>
- Tapia, E., Acaro, F., & Castro, A. (2017). Actividad antioxidante del aceite esencial de *Clinopodium pulchellum* (Kunt) Govaerts “panizara.” *Ágora Rev. Cient.*, *4*(2). <https://www.revistaagora.com/index.php/cieUMA/article/view/62/62>
- Tejedor, E., Amara, K., Reis, F. S., Barros, L., Martins, A., Calhelha, R., Venturini, M., Blanco, D., Redondo, D., Marco, P., & Ferreira, I. (2021). Chemical composition and evaluation of antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of Tuber and Terfezia truffles. *Food Research International*, *140*, 110071. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.110071>
- Trejo, F. (2017). Ciencias Biológicas y de la Salud (eds). Proceedings-©ECORFAN. https://www.ecorfan.org/proceedings/PCBS_TI/PCBS_5.pdf
- Tufinio, K., Ames, H., Vergara, A., Fukusaki, A., Paucar, K., Tufinio Miranda, K., Ames Canchaya, H., Vergara Sotomayor, A., Fukusaki, A., & Paucar, K. (2021). Determinación de la actividad antioxidante de extractos de hojas de *Buddleja inkana*, *Oreocallis grandiflora* y *Chuquiraga spinosa*. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *87*(2), 107–119. <https://doi.org/10.37761/RSQP.V87I2.343>
- Vidal, A., Zaucedo, A., & Ramos, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana*

de Tecnología Postcosecha, 19(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>

Weis, T. (2020). Food Security and Food Sovereignty. *International Encyclopedia of Human Geography*, 191–196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10378-6>

Zhang, Y., Cao, C., Yang, Z., Jia, G., Liu, X., Li, X., Cui, Z., & Li, A. (2023). Simultaneous determination of 20 phenolic compounds in propolis by HPLC-UV and HPLC-MS/MS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104877. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.104877>

Zhu, Z., Li, X., Zhang, Y., Wang, J., Dai, F., & Wang, W. (2023). Profiling of phenolic compounds in domestic and imported extra virgin olive oils in China by high performance liquid chromatography-electrochemical detection. *LWT*, 174, 114424. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114424>

ANEXOS

Anexo A. Obtención de harina

Figura 5

Preparación del tubérculo. Pelado, deshidratado y molido del camote morado



Elaborado por: Chamba (2023).

Figura 6

Preparación del tubérculo. Pelado, deshidratado y molido de mashua amarilla.



Elaborado por: Chamba (2023).

Anexo B. Determinación de capacidad antioxidante

Figura 7

Macerado y filtrado de las soluciones metánolicas



Elaborado por: Chamba (2023)

Figura 8

Concentración en rotavapor de las soluciones metanólicas de las harinas



Elaborado por: Chamba (2023).

Figura 9

Preparación de la placa de 96 posillos con los extractos de cada harina y reactivo DPPH con 5 repeticiones



Elaborado por: Chamba (2023).

Figura 10

Medición de las placas de 96 posillos



Elaborado por: Chamba (2023).

Tabla 14

Absorbancias obtenidas por el método de DPPH de la harina de Camote morado (Ipomeas batatas)

	Replicas					Promedio
	1	2	3	4	5	
Blanco	0,045	0,046	0,047	0,048	0,045	0,046 ± 0,001
Control	0,211	0,221	0,216	0,221	0,223	0,218 ± 0,004
Muestra	0,113	0,112	0,112	0,115	0,115	0,114 ± 0,001

Elaborado por: Chamba (2023).

Tabla 15

Absorbancias obtenidas por el método de DPPH de la harina de Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum)

	Replicas					Promedio
	1	2	3	4	5	
Blanco	0,051	0,046	0,051	0,047	0,062	0,0514 ± 0,0057
Control	0,209	0,194	0,211	0,207	0,212	0,2066 ± 0,0065
Muestra	0,101	0,092	0,094	0,097	0,106	0,0980 ± 0,0050

Elaborado por: Chamba (2023).

Tabla 16

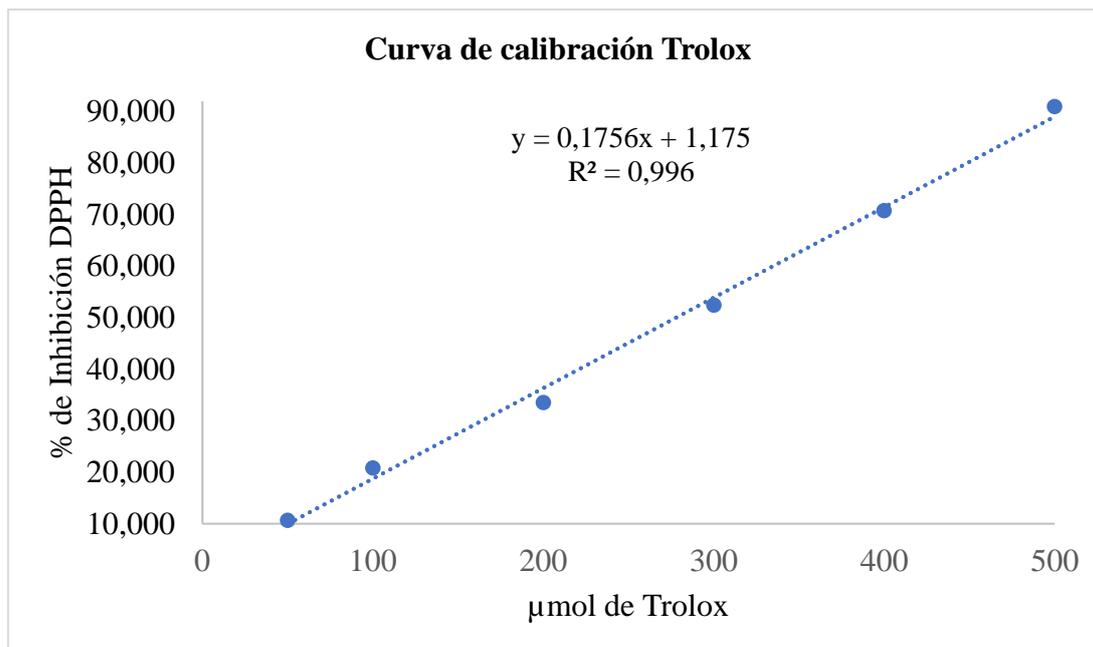
Datos obtenidos para la elaboración de la curva de calibración de Trolox

Concentración	Inhibición de radicales DPPH %
50	10,68
100	20,87
200	33,56
300	52,42
400	70,79
500	90,99

Elaborado por: Chamba (2023).

Grafica B. 1

Curva de calibración de Trolox



Elaborado por: Chamba (2023).

Anexo C. Análisis de varianza del porcentaje de inhibición presente en la harina de camote morado y mashua

Tabla 17

Análisis de la Varianza (SC tipo III) del % de inhibición de DPPH de las muestras de harina de camote morado y mashua

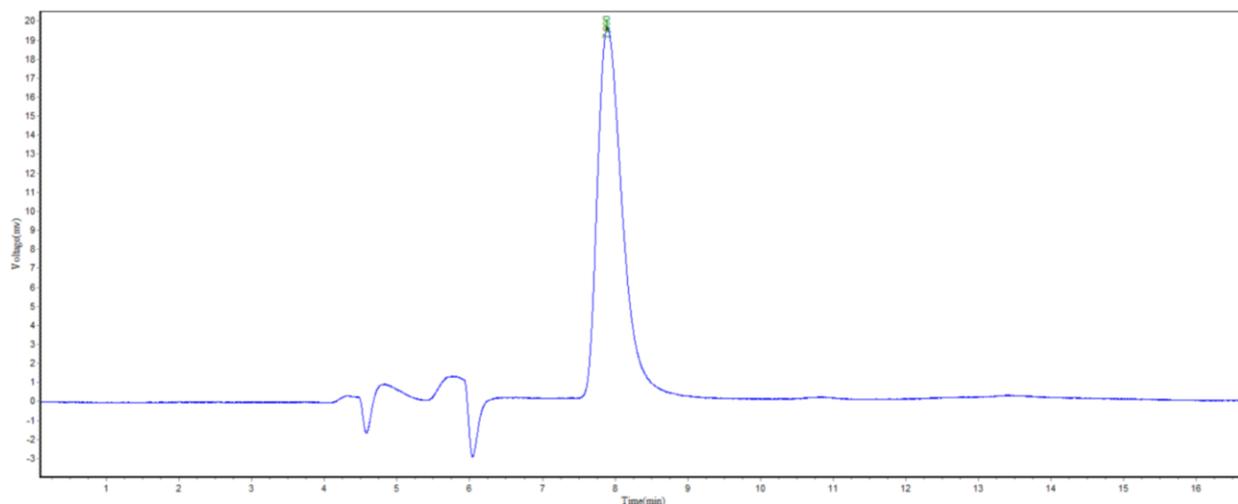
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	202,44	1	202,44	29,23	0,0006
Muestra	202,44	1	202,44	29,23	0,0006
Error	55,41	8	6,33		
Total	257,85	9			

Elaborado por: Chamba (2023).

Anexo D. Cromatograma correspondiente al estándar (ácido gálico) para el análisis de HPLC

Figura 11

Cromatograma correspondiente al ácido gálico usado como estándar



Nota. Cromatograma obtenido del estándar de ácido gálico a 272 nm, usando ácido gálico con una concentración de 0,0089376 mg/mL cuyo tiempo de retención corresponde a 7,890 min.

Figura 12

Preparación de la fase móvil para la corrida de HPLC



Elaborado por: Chamba (2023).

Figura 13

Columna C18 utilizada en HPLC-UV Vis



Elaborado por: Chamba (2023).

Figura 14
Equipo HPLC-UV Visible utilizado



Elaborado por: Chamba (2023).