

IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS DE LA MASHUA NEGRA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) Y EL EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA MIX DE MASHUA CON PIÑA

OSIRIS FELICIANO-MUÑOZ*

<https://orcid.org/0000-0002-8883-6907>

ROBERTO ROBLES-CALDERÓN*

<https://orcid.org/0000-0002-7077-5085>

JAQUELINE HEIDY CHIRRE-FLORES*

<https://orcid.org/0000-0003-3104-3938>

ÓSCAR SANTISTEBAN-ROJAS*

<https://orcid.org/0000-0002-0126-4142>

JOSÉ CARLOS FELICIANO-NISHIKAWA*

<https://orcid.org/0000-0003-4186-8677>

WALTER DIMAS FLOREZ-PONCE DE LEÓN*

<https://orcid.org/0000-0003-2510-9742>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Facultad de Química e Ingeniería Química, Perú

Recibido: 21 de agosto del 2020 / Aprobado: 14 de enero del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5150>

RESUMEN: La tendencia actual es la de consumir productos naturales con propiedades funcionales que disminuyan el riesgo de diversos tipos de enfermedades, siendo la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) uno de los alimentos que reúne estas características ya que es fuente importante de compuestos bioactivos que incluyen antocianinas, glucosinolatos y compuestos fenólicos, en especial, la morada y negra que tienen mayor capacidad antioxidante, que la amarilla, y presentan un alto contenido de compuestos fenólicos. El propósito de la presente investigación es la de identificar los principios activos de la mashua negra, así como el de elaborar una bebida mix de mashua con piña (variedad Golden) y estudiar el efecto del proceso de elaboración en la conservación de estos principios activos en la bebida mix.

PALABRAS CLAVE: mashua / metabolitos / principios activos / propiedades funcionales

* Correos electrónicos: ofelicianom@unmsm.edu.pe, jfelicianon@unmsm.edu.pe, rroblesc1@unmsm.edu.pe, jaqui_chirreflores@yahoo.es, oscar.santisteban1@unmsm.edu.pe, wdimasponce@gmail.com

IDENTIFICATION OF THE ACTIVE PRINCIPLES OF BLACK MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) AND THE EFFECT OF THE PRODUCTION PROCESS OF A MIXED DRINK OF MASHUA AND PINEAPPLE

ABSTRACT: The current trend is to consume natural products with functional properties that reduce the risk of developing several types of diseases. One of the foods that meets these characteristics is mashua (*Tropaeolum tuberosum*), since it is an important source of bioactive compounds such as anthocyanins, glucosinolates and phenols. This feature is especially distinctive in purple and black mashuas compared to the yellow ones, because they have higher antioxidant capacity and are rich in phenolic compounds. The purpose of this research is to identify the active principles of black mashua, as well as to elaborate a mixed drink of mashua and pineapple (Golden variety) and to study the effect of the production process on the conservation of these active principles in the mixed drink.

KEYWORDS: mashua / metabolites / active principles / functional properties

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, existen productos naturales que, en la mayoría de los casos, son consumidos a nivel local debido a la falta de difusión de las propiedades nutritivas y de los compuestos benéficos para la salud por su contenido de carotenoides, antocianinas, compuestos fenólicos, etc., entre estos productos se encuentra la mashua negra. Estudios recientes indican que la mashua es una fuente importante de compuestos fenólicos antioxidantes que ofrecen al producto una elevada capacidad antioxidante, en especial, los de coloración morado y negro.

Teniendo en cuenta que la producción agrícola de mashua negra es estacional, es necesario dar valor agregado a la materia prima, elaborando una bebida mix de buena calidad de mashua con piña (variedad Golden), que conserve las características organolépticas, las propiedades nutritivas y funcionales de la materia prima; prolongando el período de disponibilidad de la materia prima en cualquier época del año, aumentando la variedad de la dieta y ampliando el rango de sabores, colores y aromas.

La bebida mix de mashua negra con piña obtenida en la investigación es un producto innovador debido a que no se han publicado investigaciones del estudio de las condiciones que influyen en la calidad y rendimiento de esta bebida mix.

Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón) es un tubérculo andino cultivado durante siglos en el Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela y Colombia. Los habitantes de los Andes que consumen mashua afirman mejoras en la salud relacionadas con dolor de riñón e hígado, eczemas cutáneos y trastornos de la próstata (Grau, Ortega, Nieto y Hermann, 2003). Los estudios realizados por nuestro grupo mostraron que los genotipos de mashua púrpura tienen un alto contenido de compuestos fenólicos, comparable a los encontrados en fuentes antioxidantes ya conocidas (Campos *et al.*, 2006). Además, los tubérculos de mashua de color púrpura presentaron una capacidad antioxidante de ocho a diez veces mayor que los tubérculos de color amarillo (Chirinos *et al.*, 2008a).

Existen más de cien variedades de estos tubérculos, distinguiéndose variaciones en el color, las formas, las características de yemas y la coloración de la pulpa (Hernández y León, 1992). En la tabla 1 se indican las variedades más comunes de mashua según el color.

Tabla 1
 Variedades de mashua y su color característico

Variedad	Color
Occeaño	Plomizo
Yanaaño	Negruzco
Pucaaño	Rojizo
Muruano	Morado
Checcheaño	Gris
Zapallo año	Amarillo
Yuracaño	Blanco

Fuente: Beltrán (2014)

Grau *et al.* (2003) mencionan que el tubérculo contiene isotiocianatos, presentes como glucosinolatos, los cuales les confiere un sabor picante. También presentan un alto contenido de compuestos antioxidantes, como fenólicos, antocianinas, carotenoides y capacidad antioxidante comparados a otros tubérculos andinos (p. ej., papa, olluco, oca) (figura 1). Los fitoquímicos responsables de la capacidad antioxidante están relacionados con los compuestos fenólicos y carotenoides (Campos *et al.* 2006).

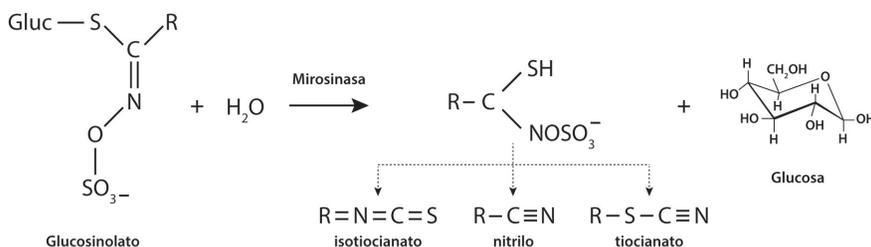


Figura 1. Estructura química del glucosinolato

Fuente: Arias (2002)

La popularidad del consumo de este tubérculo radica en sus benéficas propiedades relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos que incluyen antocianinas, glucosinolatos y compuestos fenólicos (Chirinos *et al.*, 2008a). El consumo de mashua se ha relacionado con la mejora de la salud ya que influye en el alivio de los dolores renales y hepáticos y trastornos prostáticos (Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2012). Además, también se emplea como antibiótico y para el tratamiento de úlceras en la piel, diabetes y recuperación posparto. Algunos extractos de mashua ricos en tiocianatos han mostrado

actividad anticarcinogénica *in vitro* en líneas celulares de cáncer de colon y próstata (Campos *et al.*, 2018).

Estudios experimentales han demostrado que los flavonoides pueden reducir la glucosa sanguínea postprandial al inhibir la digestión de carbohidratos. Los compuestos fenólicos pueden tener un papel clave en la inhibición de enzimas digestivas, como es el caso de la α -amilasa y la α -glucosidasa a través de uniones no específicas (Tan *et al.*, 2017). Las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa participan en la digestión del almidón, que constituye una de las principales fuentes de glucosa en sangre. La hidrólisis de este por la α -amilasa produce maltosa, sacarosa y otros oligosacáridos que, posteriormente, son hidrolizados a glucosa por la α -glucosidasa (Nyambe-Silavwe *et al.*, 2015). Por tanto, los compuestos fenólicos pueden contribuir a controlar la respuesta glucémica mediante la inhibición de estas enzimas asociadas a la digestión de carbohidratos (Zhang *et al.*, 2015). Este control es clave para el tratamiento de la diabetes, ya que generalmente se manifiesta con una elevación persistente en los niveles de glucosa que resulta en alteraciones del metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Xu *et al.*, 2018).

Varios trabajos han demostrado que los compuestos fenólicos desempeñan un papel como antioxidantes a través de la restauración de enzimas antioxidantes o atrapando especies reactivas de oxígeno, contribuyendo así a la atenuación del estrés oxidativo, condición asociada al desarrollo de la resistencia a la insulina y la disfunción pancreática (Alkhalidy *et al.*, 2018). En este sentido, la ingesta de compuestos fenólicos se ha relacionado con una reducción en la incidencia de diabetes tipo 2 (Zamora-Ros *et al.*, 2014).

Los compuestos fenólicos son importantes antioxidantes debido a su alto potencial redox. Actúan como agentes reductores, donantes de hidrógeno, desactivadores de oxígeno y como agentes quelantes de metales (Tsao y Deng, 2004), relacionados con la salud de compuestos fenólicos como antibacterianos (Ezoubeiri *et al.*, 2005; Proestos, Boziaris, Nychas y Komaitis, 2005), antimutagénicos (Pedreschi y Cisneros-Zevallos, 2007), anticancerígenos (Kähkönen y Heinonen, 2003); además, actividades antitrombóticas y vasodilatadoras (Cook y Samman, 1996; Wang, Cao y Prior, 1997). Los efectos beneficiosos citados se han relacionado con sus propiedades antioxidantes. El número, el tipo y la concentración de fenólicos en las plantas exhiben una diversidad extrema. Los compuestos fenólicos varían en estructura: los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico tienen una estructura de anillo único, mientras que los flavonoides comprenden tres estructuras de anillo y pueden clasificarse, además, en antocianinas, flavan 3-oles, flavone, flavanonas y flavonoles (figura 2).

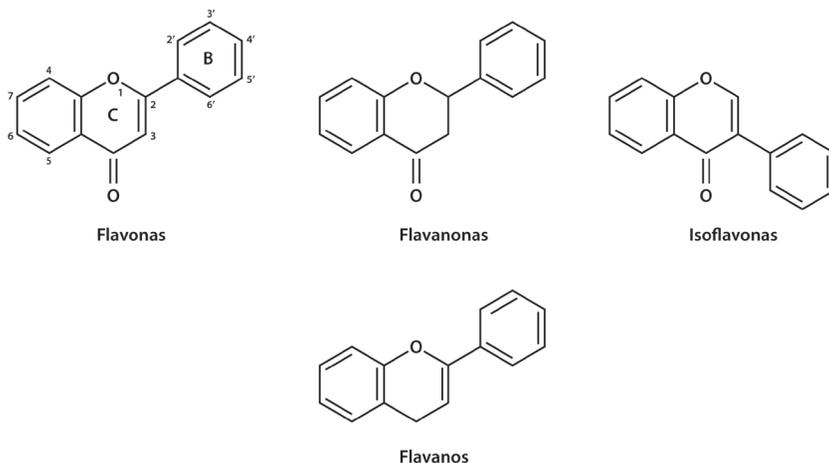


Figura 2. Estructuras de los flavonoides. Estructuras generales de flavonas, flavanonas, isoflavanos y flavanos

Fuente: Rosenberg *et al.* (2002)

El néctar es una bebida constituida por pulpa de fruta finamente tamizada, agua potable, azúcar, ácido cítrico, preservante químico y estabilizador. Además, el néctar debe recibir un tratamiento térmico adecuado que asegure su conservación en envases herméticos.

Para el consumidor, los atributos más importantes de los alimentos constituyen sus características organolépticas: textura, aroma, color y forma. Son estas las que establecen las preferencias individuales por determinados productos.

La inocuidad de los alimentos es crecientemente desafiada por nuevas amenazas biológicas que han producido notorios incidentes de enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) en países con un alto desarrollo socioeconómico. Esto representa una seria preocupación para los consumidores, lo que ha motivado el interés por adelantarse a futuros escenarios de riesgo para la inocuidad alimentaria mediante la identificación temprana de nuevos peligros en los alimentos (Havelaar *et al.*, 2010).

Se han identificado varios factores que actúan como impulsores para alterar negativamente la inocuidad biológica de los alimentos. Estos impulsores de cambio pueden ser de distinto orden: ligados a la producción primaria, tecnológicos, ambientales, políticos, educacionales, de hábitos de consumo, culturales, demográficos y económicos, entre otros (Quested, Cook, Gorris y Cole, 2010).

En la tabla 2, se presentan las características microbiológicas de los néctares pasteurizados con duración mayor de treinta días.

Tabla 2
Características microbiológicas de néctares con duración mayor de treinta días

Microorganismo	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>c</i>
Recuento de microorganismos mesofílicos	100	300	1
NMP coliformes totales/cc	< 3		0
NMP coliformes fecales/cc	< 3		0
Recuento de esporas clostridium sulfito reductor	< 10		1
Recuento de hongos y levaduras/cc	> 10	100	1

Fuente: Maureen Di (10 de junio de 2011)

m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M = índice máximo permisible para identificar nivel de aceptable calidad

c = número máximo de muestras permisibles con resultado entre *m* y *M*

NMP = número más probable

2. MATERIA PRIMA

La materia prima destinada a la fabricación de néctares debe encontrarse en su estado de óptima madurez, en el cual contiene su mejor sabor, color y aroma, así como gran riqueza en azúcares y pectinas. Las frutas demasiado verdes, además de presentar deficiencias en las cualidades anteriores, pueden desarrollar colores pardos en el producto final; por otro lado, las demasiado maduras, además de haber podido experimentar pérdidas de pectinas, durante la sobremaduración, son susceptibles a una mayor contaminación por mohos y levaduras.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Análisis de la materia prima (mashua)

La investigación se realizó en dos etapas: en la primera, se identificaron los metabolitos presentes en la mashua negra, para dicho análisis se obtuvo 500 mL de extracto hidroalcohólico de la mashua negra, este extracto se analizó en el Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú), para su análisis mediante cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas, Agilent Technologies 6890N.

El sistema consta de una columna con empaque de Elite-1 (10 % dimetil poli siloxano, 30 0,25 mm diámetro interno, ID 1 EM df), los componentes fueron separados empleando helio y nitrógeno como gases transportadores a un flujo constante de 1 mL/min. La temperatura de trabajo varió entre los 100 a 350 °C. Cinco microlitros del extracto fueron inyectados. Se repitió cinco veces cada inyección de muestra. El análisis por GC MS suministró los picos de los diferentes componentes de la muestra. El extracto fue homogenizado y filtrado a través de papel Whatman, previamente, a su inyección.

Los picos fueron contrastados frente a la biblioteca del equipo el cual arrojó con un porcentaje la fórmula más probable del compuesto a partir del ion positivo.

Para constatar la conservación de los metabolitos de la mashua en la bebida mix, después del proceso de elaboración, se tomaron muestras homogenizadas de la bebida y se realizó el mismo procedimiento de análisis de la materia prima.

Para calcular el porcentaje de abundancia, se tomó como referencia el mayor pico (altura) al cual se le asignó el valor 100. Los demás componentes (iones y compuestos) se compararon con este valor. El cálculo de la masa inicial y la masa final para un compuesto es computado automáticamente por el equipo, en base a la altura y a la secuencia de los picos, respectivamente.

A continuación, se describen los materiales utilizados:

- Materiales: balanza de 0 kg a 10 kg, balanza analítica, refractómetro de 0 °Bx a 30 °Bx, potenciómetro Milwaukee, termómetro de -5 °C a 100 °C, ollas de acero inoxidable de 10 L y 20 L, extractor de 1200 W, baldes de plástico de 10 L con medida, jarra de 1 L, vasos pyrex de 250 mL, matraces pyrex de 250 mL.
- Aditivos: CMC, ácido cítrico, ácido ascórbico, sorbato de potasio.

3.2 Metodología de elaboración de la bebida mix de mashua con piña

El proceso se realizó de la siguiente manera: se pesaron 4 kg de mashua y 3 kg de piña, se blanqueó la mashua (en una olla de 10 L) con la finalidad de inactivar enzimas, suavizar la pulpa y realzar el color; luego, se pasó por el extractor para obtener la pulpa. Por otro lado, la piña se peló y también se pasó por el extractor; obteniéndose, así, la pulpa de mashua y piña.

La relación de pulpa de mashua negra a piña fue de 2,35:1 (los glucosinolatos presentes en la mashua le confiere un sabor picante y poco atractivo, para mejorar el sabor se mezcló con la piña, a la vez que se aprovechan las propiedades diuréticas de esta fruta), se agregaron a la olla, de 20 L, 2,35 kg de pulpa de mashua y 1 kg de pulpa de piña, para obtener la bebida, a la concentración de 30 % de sólidos, se adicionó 7,7 L de agua, homogenizada la mezcla se adicionó azúcar, se pasteurizó a 85 °C, durante 5

minutos, y se añadieron el ácido ascórbico para vitaminizar la bebida, el ácido cítrico para llevar la solución a pH de 3,3 y el sorbato de potasio como preservante. Luego, se envasa la bebida en botellas de vidrio de 300 mL, previamente esterilizadas, se tapa y se enfría rápidamente a temperatura ambiente (este cambio brusco de temperatura es con la finalidad de eliminar los posibles microorganismos que hayan sobrevivido al proceso de pasteurización). Estos métodos combinados de elaboración (pH bajo, blanqueado, pasteurizado y uso de preservante) asegura la obtención de un producto inocuo con tiempo de vida aceptable. En la figura 3, se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de la bebida mix de mashua con piña.

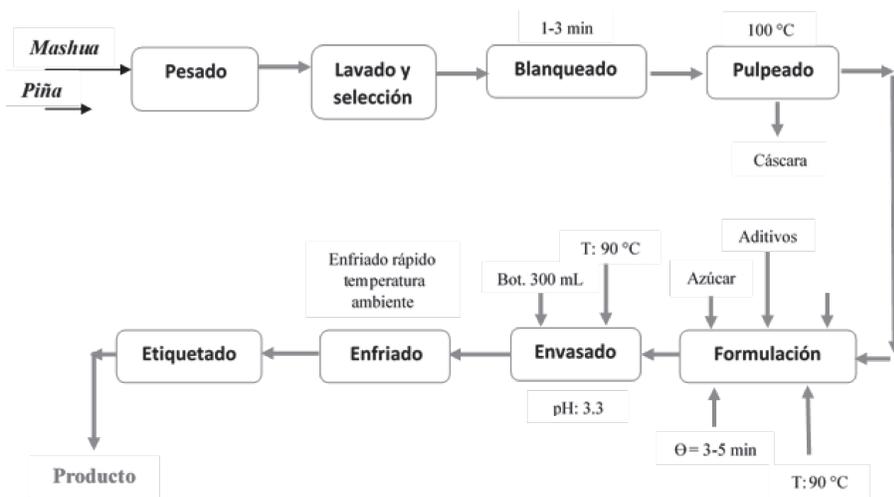


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la bebida mix de mashua con piña

Elaboración propia

3.2.1 Balance de materia y energía del proceso de elaboración de la bebida mix de mashua negra

El balance de materia se realiza para determinar la cantidad de materia prima, aditivos e insumos que se utilizan en el proceso, así como el consumo de energía, con la finalidad de planificar la producción y establecer el costo de producción de la bebida mix.

3.2.2.1 Balance de materia

Base de producción: 894 botellas de néctares de 300 mL en 1 turno/día

Materia prima para procesar: 93,5 kg de mashua/turno + 27,5 kg piña/turno

- Rendimiento de operación

Tabla 3

Balance de materia en el proceso de elaboración de néctar mix de mashua

Operación	Lavado y selección		Blanqueado		Pulpeado		Envasado 227 litros = 923 botellas	Enfriado
	Mashua	Piña	Mashua	Piña	Mashua	Piña		
Rendimiento (%)	0,97	0,97	0,98	0,98	0,45	0,65	0,98	0,99
Pérdida (%)	0,03	0,03	0,02	0,02	0,55	0,35	0,02	0,01
Entrada (Kg)	93,5	27,5	90,7	26,68	89,36	26,15	923	903
Salida (Kg)	90,7	26,68	89,36	26,15	40,21	17	903	894

Elaboración propia

En relación con los datos de la tabla 3, se realizaron los siguientes cálculos de balance de materia para determinar la cantidad de azúcar, agua y la cantidad de néctar (botellas de 300 mL).

Se tienen, 17 kg de pulpa de piña con 13 °Bx

Cantidad de azúcar en los 17 kg de piña = $0,13 \times 17 = 2,9$ kg azúcar

La pulpa de mashua casi no tiene azúcar.

Para preparar la bebida se tiene:

57 kg pulpa + 180 L H₂O = 237 kg de solución

La solución debe tener 13 °Bx, luego la cantidad de azúcar que se necesita es:

$237 \text{ kg} \times 0,13 = 30,8$ kg azúcar

Pero la pulpa de piña contribuye con 2,9 kg, por lo tanto, se necesita:

$30,8 \text{ kg} \text{ azúcar} - 2,9 \text{ kg} \text{ azúcar} = 27,9 \text{ kg} \cong 28 \text{ kg} \text{ azúcar}$

La bebida va a tener una concentración de 30 % de pulpa.

Volumen de la mezcla: 57 kg pulpa + 180 L H₂O + 28 kg azúcar $\cong 280$ L sol.

En la etapa de formulación se tiene un rendimiento del 99 %, obteniéndose 277 L de néctar.

En la tabla 4 se indican las cantidades de materia prima, ingredientes, aditivos y materiales necesarios para la producción de 894 botellas de néctar mix de mashua.

Tabla 4

Materia prima, ingredientes, aditivos y materiales necesarios para la producción de 894 botellas de 300 mL de néctar

Materia prima (en kilogramos)		Ingredientes (en kilogramos)	
Mashua	Piña	Azúcar	Agua
93,5	27,5	28,0	180
Aditivos (en gramos)			
CMC	Ácido cítrico	Ácido ascórbico	Sorbato de potasio
280	290	140	110
Materiales			
Botellas	Tapas	Etiquetas	
923	923	923	

Elaboración propia

3.2.2.2 Balance de energía

- Balance de energía en el blanqueado

$$Q_{vap} = Q_{fruta}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{fruta} \times c_p (T_f - T_i) \\ &= 121 \text{ kg} \times (0,9 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (100 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 8712 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 8712 \text{ kcal} / 539 \text{ kcal/kg vapor} \\ &= 16,16 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

- Balance de energía en la marmita

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{solución} \times c_p (T_f - T_i) \\ &= 280 \text{ kg} \times (0,92 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (90 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 18 032 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 18 032 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kg vapor}}{539 \text{ Kcal}} \\ &= 33,45 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

- Balance de energía en el esterilizador de botellas

Botellas utilizadas en el proceso:

$$923 \text{ botellas} + 5 \% = 969 \text{ botellas}$$

$$969 \text{ botellas} \times 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{botella}} = 193,8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{botellas} \times c_p \text{ botellas} (T_f - T_i) \\ &= 193,8 \text{ kg} \times (0,2 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (100 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 3100,8 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 3100,8 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kg vapor}}{539 \text{ Kcal}} \\ &= 5,75 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

$$W_{vap \text{ total}} = W_{vap \text{ blanqueado}} + W_{marmita} + W_{vap \text{ esterilizador}}$$

$$W_{vap \text{ total}} = 16,16 + 33,45 + 5,75 = 55,36 \text{ kg vap/turno}$$

$$(W_{vap \text{ total}})_{real} = W_{vap \text{ total}} + 20 \%$$

$$(W_{vap \text{ total}})_{real} = 55,36 + 11,07 = 66,43 \text{ kg vap/turno}$$

- Consumo de energía de los motores

Tabla 5

Consumo de energía en los motores de los equipos utilizados en la elaboración del néctar

Motor	Caballos de fuerza (HP)	Kilovatios (KW)
Blanqueado	5	3,75
Pulpeadora	5	3,75
Marmita	3	2,25
Envasadora	2	1,5
Total		11,25

Fuente: Laboratorio de la EAP de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ingeniería Química - UNMSM (2017)

Elaboración propia

4. RESULTADOS

El espectro de masas se representa habitualmente como un gráfico de barras, en la que cada una de ellas corresponde a un ion. La información proporcionada incluye la relación m/z (masa/número atómico) y la intensidad relativa de cada señal. A la más

intensa denominada pico base, se le asigna el valor 100. Para calcular el porcentaje de abundancia se toma como referencia dicho pico base (de mayor altura). Los demás componentes (iones y compuestos) se comparan con este valor. El cálculo de una masa inicial y la masa final para un compuesto es calculado automáticamente por el equipo, en base a la altura y a la secuencia de los picos, respectivamente.

En la figura 4, se muestra el espectro de masas mostrando la totalidad de picos de los compuestos encontrados en la mashua, en orden de aparición de los iones moleculares.

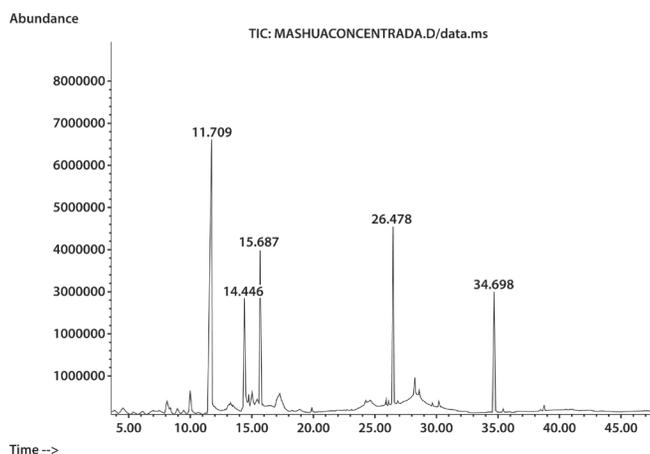


Figura 4. Totalidad de picos del extracto hidro alcohólico de mashua, se observa el orden de aparición de los iones producidos, según su tiempo de retención (2017)

Elaboración propia

A continuación, se muestran (figura 5) los espectros de masas de los componentes de la mashua: 3,5-dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydro-4H-pyran-4- y 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone.

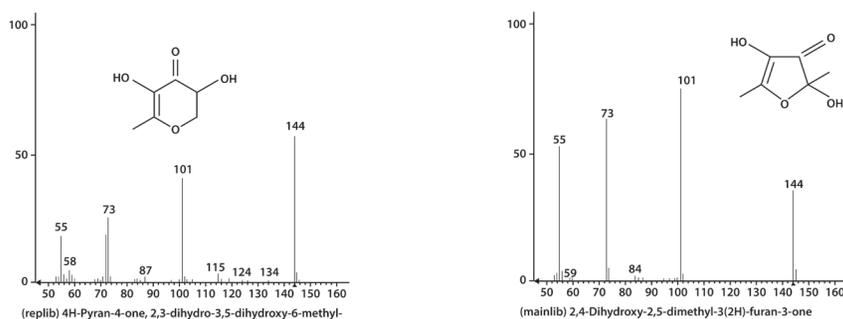


Figura 5. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de la mashua, 3,5-dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydro-4H-pyran-4- y 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone

Elaboración propia

La figura 6 muestra el espectro de los componentes de la mashua: 5-hydroxymethylfurfural y 4-hydroxythiophenol.

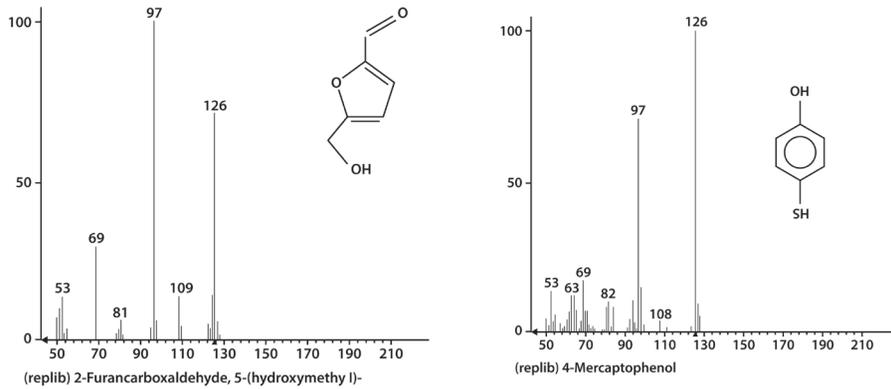


Figura 6. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de la mashua, 5-hydroxymethylfurfural y 4-hydroxythiophenol

Elaboración propia

En la figura 7, se indican los espectros de masas de: 4-methoxybenzyl alcohol y m-methoxybenzyl alcohol (correspondientes a la mashua).

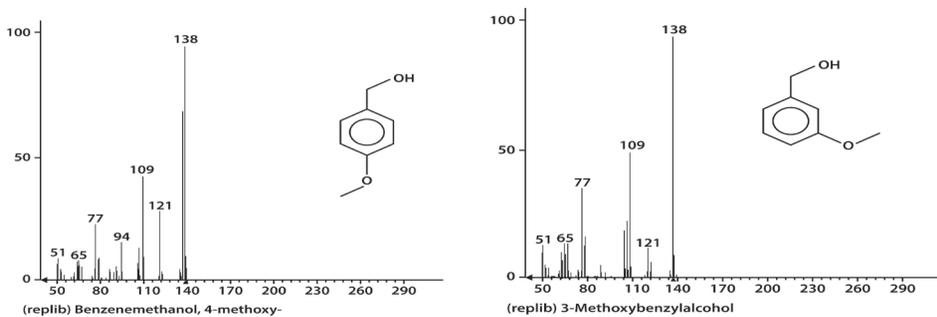


Figura 7. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de mashua, 4-methoxybenzyl alcohol y m-methoxybenzyl alcohol

Elaboración propia

En la figura 8, se presenta el espectro de masas de la mashua: 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene.

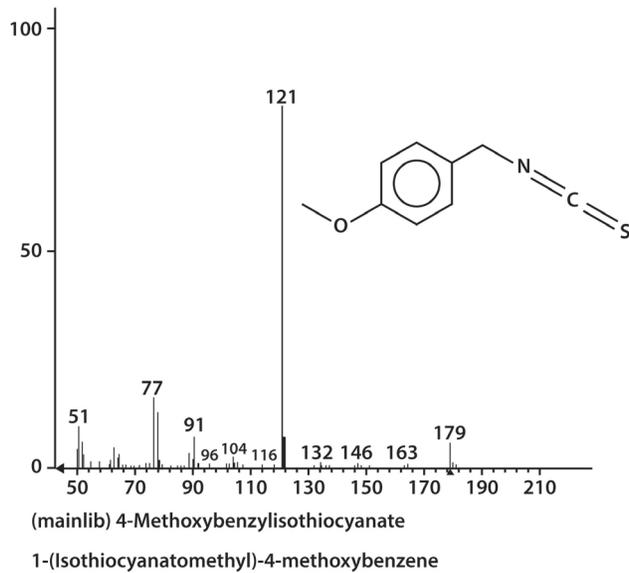


Figura 8. Espectro de masas correspondiente al componente de la mashua, 1-(isothiocyantomethyl)-4-methoxybenzene

Elaboración propia

La bebida obtenida es de buena calidad, de agradable presentación y atractivo color púrpura, además, conserva las características organolépticas de la mashua, al cual la piña le transfiere un agradable sabor y aroma. Siendo las características fisicoquímicas del producto las siguientes: concentración de pulpa 30 %, 13 °Bx, pH 3,3 y de atractivo color púrpura.

Como se aprecia en la figura 9, la bebida mix de mashua negra con piña tiene un agradable color púrpura con sabor y aroma agradable.



Figura 9. Bebida mix de mashua con piña obtenida en la investigación

Elaboración propia

En la figura 10, se presentan los compuestos activos encontrados en la bebida mix de mashua.

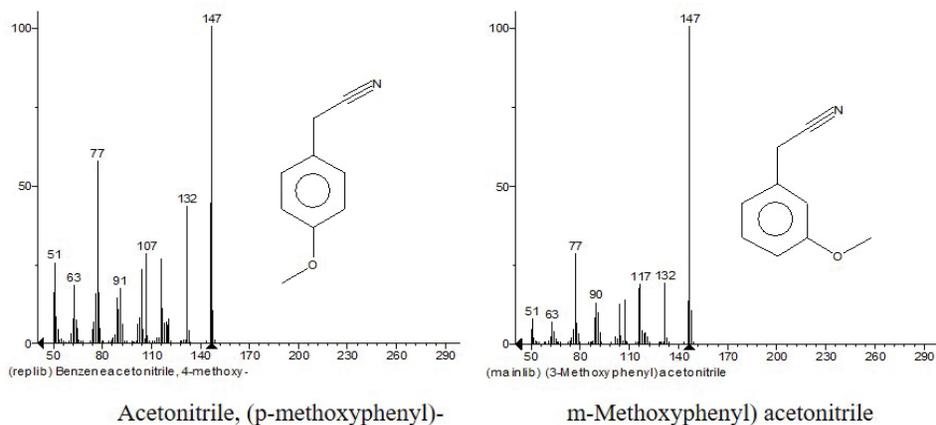


Figura 10. Compuestos acetonitrile, (p-methoxyphenyl)- y (m-methoxyphenyl) acetonitrile
Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Chirinos *et al.* (2008a) determinaron los compuestos fenólicos presentes en distintos extractos de mashua utilizando una cromatografía líquida de alta eficacia o *high performance liquid chromatography* (HPLC) con *diode array detection* (gallic acid, galocatechin, procyanidin, epigallocatechin, además de otros compuestos fenólicos como hydroxycinnamic y derivados del ácido hydroxybenzoic).

El análisis de los compuestos activos de la materia prima y de la bebida mix se realizó empleando cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masa (GC-MS) y se orientó hacia el reporte de moléculas más activas que los compuestos fenólicos y con mayor actividad química. Entre los componentes más abundantes que reportamos se encuentran:

- 5-hydroxymethylfurfural
- 4-hydroxythiophenol
- 4-methoxybenzyl alcohol
- m-methoxybenzyl alcohol
- 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene

Hay estudios de identificación de los componentes bioactivos de la mashua, pero no necesariamente son de espectrometría de masas, MS.

Grau *et al.* (2003) mencionan que el tubérculo contiene isotiocianatos, presentes como glucosinolatos, que le confiere un sabor picante. En el análisis de la mashua negra, se encontró que uno de los compuestos abundantes es el 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene.

La presencia de isotiocianatos en la mashua negra le confiere un sabor picante y poco agradable, por lo que se preparó la bebida mezclando con piña para hacer más agradable el producto y a la vez aprovechar las propiedades diuréticas de la piña; la relación de mashua a piña fue de 2,35:1, respectivamente, obteniéndose una bebida de buena calidad, de buen sabor y de color púrpura atractivo, con 30 % de pulpa, pH de 3,3 y 13 °Bx.

A pesar de los tratamientos térmicos de blanqueado, pasteurizado, mezcla con piña y dilución con agua para la formulación de la bebida, en los análisis de los compuestos activos del producto, se identificaron los mismos núcleos químicos de la materia prima, pero en un porcentaje del 50 %, aproximadamente (según los picos respectivos, figura 10). Demostrando de esta manera que el producto contiene los principios activos benéficos para la salud del ser humano. Coincidiendo estos valores con los estudios de Casati *et al.* (2015), quienes evaluaron el contenido de compuestos fenólicos después de tratamientos térmicos, exhibiendo una gran estabilidad durante el proceso, siendo la pérdida menor al 50 %.

El estudio de balance de materia y energía fue para ver los requerimientos de la materia prima, los insumos, los aditivos y la energía, así como evaluar los costos de producción de la bebida mix.

6. CONCLUSIONES

En la investigación se identificaron cualitativamente los metabolitos de la mashua negra, demostrándose que tiene metabolitos con una alta capacidad antioxidante como los componentes activos aldehídicos (4-hydroxythiophenol) e isotiocianatos (1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene). Responsables de la actividad medicinal o farmacológica atribuida a la mashua, cuyo consumo en la zona andina del Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina es desde la época prehispánica. El potencial farmacológico ha sido demostrado para cada uno de los núcleos en la medicina contemporánea.

Mediante el análisis realizado a la bebida mix de mashua con piña se demuestra que, a pesar de los tratamientos térmicos y la dilución de la materia prima en la formulación de la bebida durante el proceso de elaboración, se conserva, aproximadamente, el 50 % de los componentes activos de la mashua negra, lo cual nos indica que el proceso seguido no afecta demasiado a las propiedades a los metabolitos de la materia prima. Garantizándose que el producto tenga las propiedades funcionales que van a beneficiar al consumidor.

La bebida obtenida, con una relación de mashua negra a piña de 2,35:1, respectivamente, y a una concentración de pulpa de 30 %, pH 3,3, 13 °Bx, es de buena calidad, de buen aroma y de sabor agradable, además de conservar las características organolépticas de la mashua, tiene un atractivo color púrpura. La bebida preparada proporciona los nutrientes necesarios para la salud humana y debido al proceso de elaboración está disponible para el consumidor durante cualquier época del año. La piña, además de mejorar el sabor de la mashua, también contribuye con sus propiedades diuréticas.

REFERENCIAS

- Alkhalidy, H., Wang, Y., y Liu, D. (2018). Dietary flavonoids in the prevention of T2D: an overview. *Nutrients*, 10(4), 438.
- Arias, A. (2002). *Bioteconología y metabolitos secundarios en Lepidium peruvianum Chacón "Maca"* (tesis para optar el título de biólogo con mención en Genética). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ashurst, P. (2005). Introduction. En P. Ashurst (Ed.), *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices* (2.ª ed.) (pp. 1-13). Oxford: Blackwell Publishing.
- Beltrán, A. (2014). *Elaboración del tubérculo mashua (Tropaeolum tuberosum) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Rogez, H., Pedreschi, R., y Campos, D. (2012). Phenolic compounds from Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers display protection against soybean oil oxidation. *Food Science and Technology International*, 18(3), 271-280.
- Campos, D., Chirinos, R., Gálvez Ranilla, L., y Pedreschi, R. (2018). Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 287-343.
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., y Cisneros Zevallos, L. (2006). Capacidad antioxidante y metabolitos secundarios en cuatro especies de tubérculos andinos: papa nativa (*Solanum sp.*), Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y olluco (*Ullucus tuberosum*). *Journal of Science of Food and Agricultural*, 86, 1481-1488.
- Casati, C. B., Baeza, R., Sanchez, V., Catalano, A., López, P., y Zamora, M. C. (2015). Thermal degradation kinetics of monomeric anthocyanins, colour changes and storage effect in elderberry juices. *Journal of Berry Research*, 5(1), 29-39.
- Chen, J. Y., Zhang, H., y Matsunaga, R. (2006). Rapid determination of the main organic acid composition of raw Japanese apricot fruit juices using near-infrared

- spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 9652-9657. doi:10.1021/jf061461s
- Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J., y Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, 111, 98-105.
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Cedano, I., y Campos, D. (2015). Antioxidants from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) control lipid oxidation in sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil and raw ground pork meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2612-2619. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12511>
- Choi, L. H., y Nielsen, S. S. (2005). The effects of thermal and nonthermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 28(1), 13-29. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00002.x>
- Cook, N. C., y Samman, S. (1996). Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of nutritional biochemistry*, 7(2), 66-76.
- Ezoubeiri, A., Gadhi, C. A., Fdil, N., Benharref, A., Jana, M., y Vanhaelen, M. (2005). Isolation and antimicrobial activity of two phenolic compounds from *Publicaria odora* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 99, 287-292.
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., y Hermann, M. (2003). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav.)*. International Potato Center. Lima, Perú.
- Havelaar, A. H., Brul, S., de Jong, A., de Jonge, R., Zwietering, M. H., y ter Kuile, B. H. (2010). Future challenges to microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 139, 79-94. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.10.015
- Hernández, B., y León, J. (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1942*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, pp. 150-151.
- Huaccho Huaman C. (2016). *Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas de 84 cultivares de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)* (tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2844>
- Kähkönen, M. P., & Heinonen, M. (2003). Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 628-633.
- Laboratorio de la EAP de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ingeniería Química – UNMSM (2017).
- Maureen´Di (10 de junio de 2011). *Obtención de néctares de fruta* [blog]. Recuperado de <http://envasescelulosicoschalademaiz.blogspot.com/>

- Nyambe-Sitavwe, H., Villa-Rodríguez, J. A., Ifie, I., Holmes, M., Aydin, E., Jensen, J. M., y Williamson, G. (2015). Inhibition of human α -amylase by dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 19, 723-732.
- Pedreschi, R., y Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phenolics profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 956-963.
- Proestos, C., Chorianopoulos, N., Nychas, G. J., y Komaitis, M. (2005). RP-HPLC analysis of the phenolic compounds of plant extracts. Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(4), 1190-1195.
- Quested, T. E., Cook, P. E., Gorris, L. G. M., y Cole, M. B. (2010). Trends in technology, trade and consumption likely to impact on microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 139, S29-S42. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.043>
- Rosenberg, R., Jenkinsa, D., y Diamandis, E. (2002). Flavonoids and steroid hormone dependent cancers. *Journal of Chromatography B*, 777, 219-232.
- Tan, Y., y Chang, S. K. C. (2017). Digestive enzyme inhibition activity of the phenolic substances in selected fruits, vegetables and tea as compared to black legumes. *Journal of Functional Foods*, 38, 644-655.
- Tsao, R., y Deng, Z. (2004). Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of chromatography B*, 812(1-2), 85-99.
- Wang, H., Cao, G., y Prior, R. L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(2), 304-309.
- Xu, Y., Guo, Y., Gao, Y., Niu, X., Wang, L., Li, X., Chen, H., Yu, Z., y Yang, Y. (2018). Separation, characterization and inhibition on α -glucosidase, α -amylase and glycation of a polysaccharide from blackcurrant fruits, LWT. *Food Science and Technology*, 93, 16-23.
- Zamora-Ros, R., Forouhi, N. G., Sharp, S. J., Gonzalez, C. A., Buijsse, B., Guevara, M., ... y Wareham, N. J. (2014). Dietary intakes of individual flavanols and flavonols are inversely associated with incident type 2 diabetes in European populations. *The Journal of nutrition*, 144(3), 335-343.
- Zapatero Alba, A. (2006). *El trasfondo económico, financiero y jurídico-legal de los procesos de fusión de sociedades mercantiles* (tesis para optar el título de abogado). Universidad de Lima.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Liu, Q., y Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862-872.