



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

INOCUIDAD, CALIDAD NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE LA MACA (*Lepidium
meyenii* Walp.) AL APLICAR UN TRATAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE
VAPOR Y PRESIÓN CONSTANTE

Línea de investigación:

Nutrición humana y seguridad alimentaria

Tesis para optar el título profesional de licenciada en Biología

Autora:

Mamani Huanaco, Tatiana Victoria

Asesora:

Gutiérrez Román, Ana Isabel Flor
(ORCID: 0000-0002-7020-7387)

Jurado:

Salas Asencios, Ramses
La Torre Acuy, María Isabel
Bohórquez Meza, Isabel Doris

Lima - Perú

2020



Referencia:

Mamani Huanaco, T. (2020). *Inocuidad, calidad nutricional y funcional de la maca (Lepidium meyenii Walp.) al aplicar un tratamiento térmico mediante vapor y presión constante* [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5212>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

INOCUIDAD, CALIDAD NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE LA
MACA (*Lepidium meyenii* Walp.) AL APLICAR UN TRATAMIENTO
TÉRMICO MEDIANTE VAPOR Y PRESIÓN CONSTANTE

Línea de investigación:

Nutrición humana y seguridad alimentaria

Tesis para optar el título profesional de licenciada en Biología

Autora:

Mamani Huanaco, Tatiana Victoria

Asesora:

Gutiérrez Román, Ana Isabel Flor

Jurado:

Salas Asencios, Ramses

La Torre Acuy, María Isabel

Bohórquez Meza, Isabel Doris

Lima - Perú

2020

La presente investigación está dedicada a mis padres y hermanos, por su apoyo y paciencia en todo momento que me ha permitido culminar esta etapa. A Giancarlo por alentarme a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitir que concluya mi carrera.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal y la Escuela Profesional de Biología por la formación académica profesional brindada.

A la Mg. Ana Isabel Flor Gutiérrez Román por su asesoría y apoyo en la realización de mi investigación.

A la empresa FRUCTUS TERRUM SA por permitirme realizar la investigación en sus instalaciones.

ÍNDICE

RESUMEN (palabras clave).....	vi
ABSTRACT (keywords)	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción y formulación del problema	2
1.1.1. Descripción del problema	2
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. Antecedentes	3
1.2.1. Calidad Microbiológica	3
1.2.2. Calidad Nutricional	4
1.2.3. Calidad Funcional	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Justificación	6
1.5. Hipótesis	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación	8
2.1.1. Maca.....	8
2.1.2. Calidad Microbiológica	10
2.1.3. Calidad Nutricional	11
2.1.4. Calidad Funcional	13
2.2. Bases Conceptuales sobre el tema de investigación	14
III. MÉTODO	19
3.1. Tipo de Investigación	19
3.2. Ámbito temporal y espacial	19
3.3. Variables	19
3.4. Población y muestra	20
3.5. Instrumentos	21
3.6. Procedimientos	24
3.7. Análisis de datos	30
3.7.1. Análisis Microbiológicos	30
3.7.2. Análisis de Valores Nutricional	31
3.7.3. Análisis de Valores Funcional	32
3.7.4. Análisis Estadístico de Datos	32
IV. RESULTADOS	32
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES	45
VIII. REFERENCIAS	46

ÍNDICE DE TABLAS

1. Principales polisacáridos descritos en la maca y los monosacáridos que los componen.	12
2. Microorganismos presentes en la maca antes del tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por otros autores.	33
3. Microorganismos presentes en la maca después del tratamiento térmico y comparación con los resultados de otros autores	34
4. Comparación del porcentaje de reducción obtenidos entre el tratamiento térmico con los valores reportados por Guevara <i>et al.</i> , 2016.	35
5. Comparación entre los valores obtenidos en la maca post-tratamiento con algunos criterios microbiológicos representativos.	35
6. Valores Nutricionales en la maca antes del tratamiento térmico y comparación con los resultados de diferentes autores.	36
7. Valores Nutricionales en la maca después del tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores.	37
8. Comparación de los valores nutricionales obtenidos en la maca post-tratamiento térmico con la NTP	38
9. Valores de bencilglucosinolatos en la maca pre-tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por otros autores.	39
10. Valores de bencilglucosinolatos en la maca post-tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores	39

ÍNDICE DE FIGURAS

1. <i>Lepidium meyenii</i> , izquierda: órganos reservantes; derecha: planta completa.....	9
2. Estructura de los grupos de glucosinolatos.	16
3. Estructura del bencilglucosinolato	17
4. Mecanismo enzimático: los glucosinolatos y las mirosinasas interactúan para formar D-glucosa y tihidroximato-O-sulfonatos. La aglucona es inestable y se reordena formando sulfato de hidrógeno e isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos, indoles y oxazolidinones	18
5. Campo de cultivo de maca, Huancayo (2016)	21
6. Diagrama de flujo de la elaboración de maca en polvo esterilizada.....	24
7. Recepción de sacos con maca seca, transportados desde el campo de cultivo	25
8. Izquierda: etapa de selección de los hipocótilos de maca, derecha: imán empleado para retener partículas metálicas	25
9. Lavado y desinfección: tinas de acero inoxidable empleadas para el lavado y la preparación de la solución de ClO ₂ , jabs de plástico que contienen la maca.....	26
10. Izquierda: Coches donde con la maca trozada que ingresa al equipo de tratamiento térmico, derecha: equipo de tratamiento térmico “Paul”	28
11. Sistema de cámaras de deshidratación.....	28
12. Izquierda: equipo de vibración empleado para el tamizaje de la maca en polvo..	29
13. Izquierda: área de envasado donde se pesa y sella el producto terminado, derecha: almacén de producto terminado	30

RESUMEN

Los principales problemas para la producción y comercialización de la harina de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) son la elevada carga microbiana y la preservación sus valores nutricionales. El objetivo fue lograr la inocuidad manteniendo la calidad nutricional y funcional de la maca luego de aplicar un tratamiento térmico. El tratamiento térmico empleó 85 °C de temperatura por 30 minutos y 5.5 PSI presión. Se realizaron análisis de microorganismos, valores nutricionales y bencilglucosinolatos antes y después del tratamiento térmico. Los porcentajes de reducción de la carga microbiana obtenidos fueron 95% para aerobios y 100% para mohos, levaduras y coliformes totales; no se reportó presencia de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ni *Salmonella sp.* Los valores nutricionales después del tratamiento térmico para proteínas fue de 10.23%, carbohidratos 75.27%, grasas 0.55%, calorías 338.50 Kcal/100g, fibra 5.00%, ceniza 4.87% e índice de gelatinización 96.87%. El contenido de glucosinolatos se mantuvo después del tratamiento en 18.93 µmol/g. Por lo tanto, luego de aplicar el tratamiento térmico en la maca se logra la inocuidad y se conserva la calidad nutricional y funcional.

Palabras clave: maca, inocuidad, calidad nutricional, calidad funcional, glucosinolatos.

ABSTRACT

The main problems for the production and commercialization of maca flour (*Lepidium meyenii* Walp.) are the microbial load and the preservation of its nutritional values. The objective was to achieve safety with the nutritional quality and the function of the application of a heat treatment. The thermal treatment employed 85 °C of temperature for 30 minutes and 5.5 PSI of pressure. Analyzes of microorganisms, nutritional values and benzylglucosinolates were carried out before and after the thermal treatment. The percentages of reduction of the microbial load are 95% for aerobes and 100% for molds, yeasts and total coliforms; no presence *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* or *Salmonella sp.* Nutritional values after heat treatment for proteins were 10.23%, carbohydrates 75.27%, fats 0.55%, calories 338.50 Kcal/100g, fiber 5.00%, ash 4.87% and gelatinization index 96.87%. The glucosinolate content is applied after the treatment at 18.93 $\mu\text{mol/g}$. Therefore, after applying the heat treatment in the maca, the innocuousness is achieved and the nutritional and functional quality is conserved.

Keywords: maca, innocuousness, nutritional quality, functional quality, glucosinola

I. INTRODUCCIÓN

La maca es un alimento nativo utilizado desde la antigüedad, la forma tradicional del consumo son los hipocótilos deshidratados (Gonzales *et al.*, 2009; Dostert *et al.*, 2013; Gonzales *et al.*, 2014; Meissner *et al.*, 2016).

El consumo de la maca se ha ampliado debido a su valor nutritivo, pues los estudios describen los siguientes valores: 54.6-76.0% de carbohidratos (23.4% sacarosa, 1.55% glucosa, 4.56% oligosacáridos, 30.4% polisacáridos), 8.87-18% de proteínas, 0.2-2.2% de lípidos (contenido de ácidos grasos insaturados linoleico y oleico, es de 52.7-60.3% de ácidos grasos totales), 8.23-9.08% fibra, 19 tipos de aminoácidos (7 esenciales), minerales como Fe 14.7-16.6, Mn 0.8, Cu 5.9, Zn 3.8, Na 18.7, K 2050 y Ca 150-247 (mg / 100 g de materia seca) y valores que alcanzan 419 Kcal/100 g de energía (Canales, Aguilar, Prada, Marcelo, Huamán & Carbajal, 2000; García, Gómez-Sánchez & Espinoza, 2017; Dini, Migliuolo, Rastrelli, Saturnino & Schettino, 1994; Guevara *et al.*, 2016; INS, 2009; Rondán-Sanabria & Finardi-Filho, 2009; Romero *et al.*, 2016; Sifuentes-Penagos, León-Vásquez & Paucar-Menacho, 2015; Wang *et al.*, 2007; Yu & Jin, 2004).

Adicionalmente, se le atribuyen propiedades funcionales que incrementan su potencial como alimento (Johnson *et al.*, 2002; Travers-Martin, Kuhlmann & Müller, 2008).

Por ello, la comercialización de la maca ha desarrollado diversas presentaciones: harina, extracto, cápsulas, etc (Li *et al.*, 2015). No obstante, los principales inconvenientes para la comercialización son: la carga microbiana y la conservación su valor nutricional (Guevara *et al.*, 2016).

Por consiguiente, nuestra finalidad fue asegurar la inocuidad manteniendo la calidad nutricional y funcional de la maca tras aplicar un proceso con tratamiento térmico.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción de problema

La maca (*Lepidium meyenii*), pertenece a la familia de las Brassicaceae, crece a altitudes de 3500 a 4500 msnm y tiene su origen en la sierra central del Perú, donde se cultiva desde hace más de 2000 años (Gonzales *et al.*, 2009; Dostert *et al.*, 2013; Gonzales *et al.*, 2014; Meissner *et al.*, 2016).

Tradicionalmente, los tubérculos de maca han sido consumidos por los pobladores locales por sus valores nutricionales y energéticos (Chain, Grau, Martins & Catalán, 2014; Gonzales *et al.*, 2014; Meissner *et al.*, 2016).

El interés en la maca se ha incrementado debido al estudio de sus propiedades medicinales. Se han reportado que la administración oral de maca en ratas mostraron efectos beneficiosos en el tratamiento y en la prevención de la hiperplasia prostática (Gonzales *et al.*, 2007). Otros estudios muestran mejora del comportamiento sexual (Lentz *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007), osteoporosis (Zhang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007), la fertilidad femenina (Massoma Lembè *et al.*, 2012; Uchiyama *et al.*, 2014), deterioro de la memoria (Rubio *et al.*, 2011) y en la vitalidad y la tolerancia al estrés (Wang *et al.*, 2007). Sin embargo, los estudios relacionados con la mejora del rendimiento sexual siguen siendo controversiales (Yábar *et al.*, 2011).

1.1.2. Formulación del problema

Debido a los valores nutricionales y funcionales de la maca, aparecen en el mercado, diversos tipos de alimentos procesados como la harina de maca, maca deshidratada en trozos, extracto acuoso, entre otros (Li *et al.*, 2015).

Sin embargo, algunos de los principales problemas que surgen en torno a los productos derivados de la maca son la carga microbiana y la preservación de sus propiedades nutricionales y funcionales (Guevara *et al.*, 2016). Así, Carrión *et al.*

(2009) y Reyes *et al.* (2006), reportaron altos niveles de microorganismos aerobios mesófilos y hongos en maca.

Además, Li *et al.* (2015) y Oerlemans *et al.* (2006) señalaron que tratamientos térmicos altos y prolongados pueden reducir el contenido de glucosinolatos representando una desventaja para su comercialización, por lo que, se busca preservar los glucosinolatos y garantizar la inocuidad de la harina de maca promoviendo la competitividad del producto y otorgándole un valor agregado.

Ante este hecho, es necesario la aplicación de metodologías que permitan la obtención de alimentos inocuos; pero también, la conservación de las propiedades nutricionales y funcionales (FAO, 2002; Guevara *et al.*, 2016). Una de estas tecnologías, emplea tratamientos térmicos, cuyo efecto sobre la inhibición microbiana depende de variables como presión, tiempo y temperatura de exposición, además de la composición del alimento y tipo de microorganismos involucrados (Téllez-Luis *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2016).

Por tal motivo, nuestra investigación tuvo como propósito aplicar un proceso que asegure la inocuidad de la harina de maca pero se mantenga su valor nutricional y funcional, generando además, un valor agregado a nivel comercial.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Calidad Microbiológica

El estudio realizado por Cortéz & Guillermo (2004), reportó recuentos promedio entre 10^3 y 10^4 UFC/g de hongos en harina de maca que se comercializaba en los mercados de Chincha e Ica. Luego, Orellana *et al.* (2005), determinaron la prevalencia de hongos en la harina de maca (*Lepidium peruvianum*), señalaron que el 96.7% del total de muestras analizadas estuvieron contaminadas y reportó como recuento general de colonias desde 33×10^4 a 61×10^4 ufc/g.

También, Reyes *et al.* (2006), reportaron como recuento del número de hongos en harina de maca de 90×10^2 ufc/g, 10×10^3 ufc/g y 30×10^3 ufc/g; provenientes de Concepción, Chupaca y Lima respectivamente; identificándose principalmente *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rizophus* y levaduras; Carrión *et al.* (2009) también reportaron altos niveles hongos además de microorganismos aerobios mesófilos.

Asimismo, un estudio realizado por Guevara *et al.* (2016), aplicó un sistema de esterilización orgánica (OSS) en maca, logrando la mayor reducción de microorganismos aerobios, mohos, levaduras, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* y coliformes totales; empleando una temperatura de inyección de vapor saturado a 100 °C por 6 minutos; los valores iniciales reportados fueron 23×10^4 ufc/g microorganismos aerobios mesófilos, 15×10 ufc/g levaduras y 50 ufc/g mohos.

1.2.2. Calidad Nutricional

La composición proximal de los hipocótilos de maca seca reportada por Dini *et al.*, 1994, tiene 59% de carbohidratos, 10.2% de proteínas, 8.5% de fibra, 2.2% de lípidos y 4.9% de cenizas.

Similares valores se muestran en las Tablas Peruanas de Composición de los Alimentos (INS, 2009); donde la composición nutricional de la maca seca describe los siguientes valores: 66.3% de carbohidratos totales, 11.8% de proteínas, 1.6% de grasa total y 314 Kcal/100g de energía con 15.3% de humedad.

Adicionalmente, Guevara *et al.* (2016), analizaron los valores nutricionales en la harina de maca antes y después de someterla a un tratamiento térmico obteniendo los siguientes valores antes del tratamiento: proteínas (9.1%), grasa (0.2%), carbohidratos (86.3%), fibra (3.7%) y energía (363.4 Kcal/100g) y después del tratamiento térmico: proteínas (8.2%), grasa (0.2%), carbohidratos (87.6%), fibra (3.2%) y energía (366.2 Kcal/100g).

1.2.3. Calidad Funcional

Li *et al.* (2001), determinaron el valor de glucosinolatos mediante HPLC en la maca y en sus productos derivados; detectando que los bencilglucosinolatos (BG) más abundantes estuvieron en las hojas, los hipocótilos frescos y secos. Además, que el contenido absoluto de glucosinolatos en maca fresca es relativamente mayor que en otros cultivos de crucíferos siendo 16.94 $\mu\text{mol/g}$ en hipocótilos frescos y 3.20 $\mu\text{mol/g}$ en hipocótilos secos.

Adicionalmente en la investigación de Oerlemans *et al.* (2006) se observó la degradación térmica de otros glucosinolatos como glucoraphanina, glucoiberina, gluconapina, hidroxiglucobrassicina, metoxiglucobrassicina, progoitrina y sinigrina en col roja (*Brassicaceae*), señalando que un tratamiento térmico severo, mayor a 100 °C, resultaría en una importante degradación térmica de la cantidad total de glucosinolatos.

La investigación de Li *et al.* (2015), reportó que la maca vaporizada durante 5 minutos no mostró pérdida significativa de BG, tampoco después del secado empleando la temperatura de 20 a 80 °C en 24 horas, concluyendo que la maca vaporizada presenta una mejor conservación de la BG que la maca cruda durante la trituración y el secado. Señala también, que el procesamiento doméstico e industrial usa tratamiento térmico a una temperatura entre 90 y 120 °C, lo que puede afectar el contenido de Bencilglucosinolatos de la maca.

Guevara *et al.* (2016), emplearon un sistema de esterilización orgánica (OSS) en maca, aplicando una temperatura de vapor saturado igual a 100 °C durante 6 minutos, reportando 1.68 $\mu\text{mol/g}$ de contenido de glucosinolatos antes del tratamiento y 1.65 $\mu\text{mol/g}$ después.

Las investigaciones previas sobre *L. meyenii*, principalmente, están orientadas a su uso en la medicina tradicional y la alimentación, composición química, procesos de extracción, identificación y evaluación biológica de los componentes (fitoquímica),

algunos reportes sobre aspectos microbiológicos; sin embargo, no se han realizado reportes integrales que abarquen los aspectos sobre la calidad microbiológica, nutricional y funcional de la maca.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Caracterizar microbiológica, nutricional y funcionalmente la maca (*Lepidium meyenii* Walp) luego de aplicar un tratamiento térmico mediante vapor y presión constante.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la carga microbiológica de la maca antes y después del tratamiento térmico mediante recuento de Aerobios Mesófilos, Mohos, Coliformes Totales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y detección de *Salmonella sp.*
- Evaluar la calidad nutricional antes y después del tratamiento térmico mediante el análisis del contenido de proteínas, carbohidratos, grasa, calorías e índice de gelatinización.
- Evaluar la calidad funcional antes y después del tratamiento térmico mediante el análisis del contenido de Bencilglucosinolatos.

1.4. Justificación

El consumo de maca se ha extendido e incrementado en todo el país, así como, el interés comercial sobre este producto y sus derivados, tanto en el Perú como en diferentes países de América, Europa y Asia (Chain *et al.*, 2014; Gonzales *et al.*, 2014). En la última década, las cifras de las exportaciones peruanas de maca han aumentado progresivamente, alcanzando en el 2015 la exportación de más de 2.5 millones de Kg,

generándose más de 36 millones de dólares, lo cual hace a la maca un producto de gran interés económico (PROMPERU, 2016).

Por ello, cumplir con los estándares de calidad establecidos en las normas nacionales e internacionales para la maca es necesario para evitar la alteración o deterioro del producto y asegurar que sea nutritivo e inocuo para los consumidores.

Como se mencionó antes, los principales problemas de la harina de maca son la elevada carga microbiana (principalmente aerobios mesófilos y hongos) y la reducción de los valores nutricionales y el contenido de glucosinolatos debido a los tratamientos térmicos altos y prolongados, lo que representa una desventaja para su producción y comercialización (Guevara *et al.*, 2016; Carrión *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2015; Oerlemans *et al.*, 2006). Por lo que, es necesario aplicar metodologías que garanticen la inocuidad y que preserven las propiedades funcionales y calidad nutricional de la harina la maca, dándole un valor agregado al producto. Esta investigación está orientada a lograr estos objetivos para potenciar su comercialización.

1.5. Hipótesis

- Luego de aplicar el tratamiento térmico mediante vapor y presión constante se reducen los microorganismos, pero se mantienen la calidad nutricional y funcional de la maca (*Lepidium meyenii* Walp).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Maca

Es una planta de la familia de las Brassicaceae (conocidas comúnmente como crucíferas), se suelen emplear dos nombres científicos diferentes para referirse a la maca, ya que, aún no es clara la diferenciación (Dostert *et al.*, 2013). El nombre más antiguo es *Lepidium meyenii* Walp. (Walpers, 1843), sin embargo, en un estudio realizado por Chacón (1990) separa la forma cultivada *Lepidium peruvianum* (Chacón de Popovici) de la especie silvestre comestible *L. Meyenii* (Dostert *et al.*, 2013).

Descripción botánica

Lepidium meyenii es una planta bienal, raramente anual, con el órgano reservante subterráneo y tallos decumbentes (Dostert *et al.*, 2013, Rea, 1994). Los tallos están escasamente ramificados, de 10 a 20 cm de largo y provistos de una roseta basal (ver **Fig.1**).

Las hojas son dimorfas, las hojas de la roseta son más grandes (3 a 8 cm de largo) carnosas, pinnatifidas hasta bipinnatisectas e incluso liradas. Las hojas caulinares en los botones florales son reducidas, enteras, lobadas o crenadas (Dostert *et al.*, 2013).

Las inflorescencias son panículas (racimos compuestos), de 1 a 5 cm de largo y frecuentemente cubiertas por hojas; posee dos estambres con anteras amarillentas de dehiscencia longitudinal y cuatro nectarios verdosos, ubicados en la base del ovario, dos a cada lado de los estambres (Aliaga, 2004).



Fig. 1. *Lepidium meyenii*, izquierda: órganos reservantes; derecha: planta completa (Fuente: Dostert *et al.*, 2013).

Los frutos son silículas, 4 a 5 mm de largo, dehiscentes, con dos cavidades cuneadas, cada una con una semilla. Las semillas son aovadas, de 2 a 2.5 mm de largo, de color rojo grisáceo (Dostert *et al.*, 2013).

El órgano reservante es de 2 a 5 cm largo y es un poco difícil afirmar si es un tallo o raíz de la planta; sin embargo, es probable que la región de transición entre el tallo y la raíz pertenezca a la mayor parte de engrosamiento del órgano de reserva (Marín, 2003). Este órgano es la parte comestible de la planta y su color puede ser variable (ver **Fig.1**), (Dostert *et al.*, 2013).

La raíz-tubérculo (hipocótilo) de la maca es el órgano comestible de la planta; pueden ser de color blanco, amarillento, rosado e incluso rojo, las cuales se han descrito como variedades; se comen frescos o pueden secarse y almacenarse para su posterior consumo (Romero, Tirado, Duránb, Dávalos, 2016; Gonzales *et al.*, 2014; Dostert *et al.*, 2013).

2.1.2. Calidad Microbiológica

Los alimentos son vectores de múltiples peligros (biológicos, químicos y físicos), volviéndolos no aptos para el consumo (FAO, 2002). Por ello, la inocuidad es un requisito básico de la calidad de los alimentos. La inocuidad de los alimentos es la ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas y cualquier otra sustancia que pueda hacer el alimento nocivo para la salud sea de forma aguda o crónica. Además de la inocuidad, las características de calidad incluyen el valor nutricional y las propiedades organolépticas (FAO, 1999).

Las enfermedades transmitidas por el consumo de alimentos contaminados generalmente son de carácter infeccioso o tóxico y son causadas por distintos agentes como bacterias, virus o parásitos que ingresan al organismo tras la ingesta de los mismos (OMS, 2015).

Debido a ello, la presencia de agentes patógenos y el recuento de microorganismos indicadores de deterioro representan un problema de gran importancia en la comercialización de los alimentos que, se encuentra directamente relacionado con la inocuidad y salubridad durante la cadena productiva (FAO, 2002). La prevención y el control son algunas de las medidas de gestión en la salud pública. Generalmente estas medidas conllevan al establecimiento de Criterios Microbiológicos (CODEX Alimentarius, CAC/GL 21,1997).

Existen diferentes criterios, parámetros o límites microbiológicos establecidos en los alimentos para ser considerados aptos para consumo humano; según la normatividad del país al cual está dirigido el producto; entre ellos están las normativas de MINSA/DIGESA (2008), CODEX Alimentarius (1997, 2007) y La Comisión Europea (CE, 2005).

Así, el objetivo fundamental de una legislación alimentaria es asegurar la protección de la salud pública (CE, N° 2073/2005), de igual forma, el Perú reconoce la necesidad de controlar toda la cadena de producción de los alimentos hasta el consumo. Es así que; mediante la Ley de Inocuidad de los Alimentos, el Reglamento

de Vigilancia y Control Sanitario, la Norma Sanitaria de Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas, principalmente se establecen las medidas para garantizar la inocuidad de los alimentos de consumo humano protegiendo la vida y salud de las personas, que deben cumplir todos los involucrados en la cadena de producción (MINSA/DIGESA, 2008).

2.1.3. Calidad Nutricional

La importancia de su valor nutritivo se centra en que los hipocótilos deshidratados de maca contienen 54.6-76.0% de carbohidratos, dentro de los cuales, presenta 23.4% de sacarosa, 1.55% de glucosa, 4.56% de oligosacáridos y 30.4% de polisacáridos (Dini, Migliuolo, Rastrelli, Saturnino & Schettino, 1994; Romero *et al.*, 2016).

Los polisacáridos presentes en la maca son de importancia por su efecto hepatoprotector, antifatiga (Li, Sun, Meng, Lei, Xiong & Zhang, 2017; Tang, Jin, Xie, Huang, Wang, Chu, *et al.*, 2017; Zhang, Zhao, Wang, Zhao, Zhao, 2017^b) y por su actividad inmunomoduladora (Zhang, Wang, Lai, 2016).

Los polisacáridos reportados en la maca se han obtenido de diferentes materias primas, así como, métodos de purificación y determinación por lo que tienen características estructurales distintas en composición de monosacáridos, conformación de la cadena, grupos funcionales, pesos moleculares y las posiciones de los enlaces glicosídicos (Li, Xu, Zheng, Xi, Cui, Han, 2018; Tang *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017^b; Zha, Zhao, Chen, Wang, Zhang, Zhang, Zhao, 2014). Los monosacáridos que conforman los algunos polisacáridos de la maca, se describen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Principales polisacáridos descritos en la maca y los monosacáridos que los componen.

Polisacárido	Monosacáridos presentes	Referencia
LMP-60, 70, 80, 90	Ara, Gal, Glc, Rha	Zha <i>et al.</i> , 2014
MC-1	Ara, Gal, Glc, Man	Zhang <i>et al.</i> , 2016
MC-2	Ara, Gal, Glc, Man	Zhang <i>et al.</i> , 2017 ^a
MPS-1	Ara, Gal, Glc, Xyl	Li <i>et al.</i> , 2017
MPS-2	Ara, Gal, Glc	Li <i>et al.</i> , 2017
MP-21	Ara, Gal, Rha	Wang <i>et al.</i> , 2016
MP-1	Ara, GalA, Gal, Glc, Rha, Xyl	Zhang <i>et al.</i> , 2017 ^b

También se puede considerar el valor nutritivo del contenido de proteínas (8.87-18%) y la presencia de 19 tipos de aminoácidos, de los cuales, 7 son esenciales: treonina, valina, metionina, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina (Dini *et al.*, 1994; Romero *et al.*, 2016; Chen, Li & Fan, 2017).

El contenido de lípidos oscila entre 0.2 a 2.2%, además, los ácidos grasos más abundantes presentes en la maca son los ácidos palmítico con 23.8%, oleico con 11.1% y el linoleico 32-6%, siendo este último un ácido graso esencial (Arias, 2002; Canales *et al.*, 2000; Dini *et al.*, 1994; Li *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2017). Adicionalmente, reportaron que la maca contiene esteroides, como campesterol, estigmasterol y beta-sitosterol (Zheng *et al.*, 2000).

Es importante mencionar que es rico en minerales, en particular de Fe 14.7-16.6, Mn 0.8, Cu 5.9, Zn 3.8, Na 18.7, K 2050 y Ca 150-247 (valores expresado en mg / 100 g de materia seca); también que alcanzan valores de 419 Kcal/100 g de energía y 8.23-9.08% de fibra, (Canales, Aguilar, Prada, Marcelo, Huamán & Carbajal, 2000; García, Gómez-Sánchez & Espinoza, 2017; Guevara *et al.*, 2016; INS, 2009; Rondán-Sanabria & Finardi-Filho, 2009; Sifuentes-Penagos, León-Vásquez & Paucar-Menacho, 2015; Wang *et al.*, 2007; Yu & Jin, 2004).

2.1.4. Calidad Funcional

Los alimentos además de tener una función nutricional, pueden cumplir una función "fisiológica" específica, a estos alimentos se les denomina alimentos funcionales (Stein & Rodríguez-Cerezo, 2008).

Entonces, se define a los alimentos funcionales como aquellos que son parte de la dieta habitual; que contienen o están enriquecidos con un ingrediente, un micronutriente o un producto químico natural y tienen efectos benéficos sobre la salud, el bienestar o la prevención de enfermedades que van más allá de sus efectos nutricionales (Stein & Rodríguez-Cerezo, 2008).

Se han realizado estudios fitoquímicos a los hipocótilos de la maca, los cuales, han revelado la presencia de alcaloides, saponinas, compuestos fenólicos, ésteres de ácidos grasos, fitoesteroles, flavonoides, cumarinas, alcanidas (macamidas), macaridina y glucosinolatos (Chain, *et al.*, 2014; Guevara *et al.*, 2016; Zheng *et al.*, 2000; Muhammad *et al.*, 2002). Algunos de estos compuestos poseen sustancias bioactivas de importancia, como los glucosinolatos, fitoesteroles y alcanidas, por lo cual, es considerado un alimento funcional (Chain, *et al.*, 2014; Guevara *et al.*, 2016). De los compuestos mencionados, el glucosinolato es el mayor componente funcional en la maca (Li *et al.*, 2015).

Los glucosinolatos son metabolitos secundarios característicos del orden Brassicales, de interés por la resistencia de las plantas contra los insectos y patógenos y por sus propiedades preventivas para el cáncer (Sønderby, Geu-Flores & Halkier, 2010). Estos, tienen importancia en la formación de isotiocianatos que inhiben el desarrollo de tumores al incrementar la actividad de las enzimas, inhiben la mitosis y estimulan la muerte celular de las células tumorales (Johnson *et al.*, 2002; Travers-Martin, Kuhlmann & Müller, 2008).

Se ha reportado seis tipos de glucosinolatos presentes en los hipocótilos de maca: 5-metil-sulfinil-pentilglucosinolato, 4-hidroxi-3-indolil-metilglucosinolato, 3-

metoxi-bencil-glucosinolato, 4-hidroxi-bencilglucosinolato, 4-metoxi-3-indolil-metil-glucosinolato y el bencilglucosinolato. El bencilglucosinolato es el más abundante glucosinolato presente en maca, representando el 80-90% del total de glucosinolatos presentes (Yábar *et al.*, 2011).

El contenido de glucosinolatos en la maca fresca es aproximadamente 100 veces más que la encontrada en otros cultivos de las Brassicaceae, tales como el repollo, coliflor y brócoli (Li *et al.*, 2001).

En cuanto a la enzima mirosinasa, Fahey *et al.* (2001) reportaron que la enzima está implicada en la degradación del glucosinolato en isotiocianato, tiocianato y nitrilos. En las células los glucosinolatos y mirosinasa están en compartimentos diferentes. Por lo que, el daño celular favorece la descomposición de glucosinolatos por la mirosinasa (Yábar *et al.*, 2011).

2.2. Bases conceptuales sobre el tema de investigación

Inocuidad

Garantía de que los alimentos no causaran daño al consumidor cuando se fabriquen, preparen y consuman de acuerdo con el uso a que se destinan (MINSA/DIGESA, 2008).

Criterio Microbiológico

Define la aceptabilidad de un producto o un lote de un alimento basada en la ausencia o presencia, o en la cantidad de microorganismos, por unidad de masa, volumen, superficie o lote (MINSA/DIGESA, 2008).

Microorganismos Indicadores de alteración

Microorganismos asociados con la vida útil y alteración del producto, tales como microorganismos aerobios mesófilos, bacterias heterotróficas, aerobios mesófilos esporulados, mohos, levaduras, levaduras osmófilas, bacterias ácido lácticas, microorganismos lipolíticos (MINSA/DIGESA, 2008).

Microorganismos Indicadores de higiene

Microorganismos no patógenos que suelen estar asociados a ellos, como Coliformes, *Escherichia coli*, anaerobios sulfito reductores, Enterobacteriaceas. En “Preparaciones en polvo o fórmulas para Lactantes” se consideran en el grupo de microorganismos patógenos (MINSA/DIGESA, 2008).

Microorganismos patógenos

En los que se hallan patógenos tales como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, cuya cantidad en los alimentos condiciona su peligrosidad para causar enfermedades alimentarias y patógenos tales como *Salmonella sp*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli O157:H7* y *Vibrio cholerae* entre otros, cuya sola presencia en los alimentos condiciona su peligrosidad para la salud (MINSA/DIGESA, 2008).

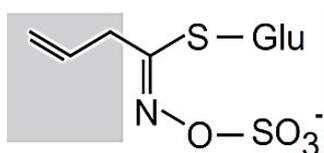
Glucosinolatos

La estructura química general de los glucosinolatos está compuesta por b-tiogluco-sidos-N-hidroxisulfatos, presentan una D-glucosa y un grupo sulfato unidos a una aglucona sintetizada a partir de aminoácidos y sus análogos de cadena lateral (los aminoácidos determinan predominantemente la estructura de la cadena lateral). Al dañar el tejido, las mirosinas, que se almacenan por separado en compartimentos de mirosina, hidrolizan los glucosinolatos para producir glucosa y los aglucones, thiohydroximate-O-sulfonatos, como productos de reacción primarios (Travers-Martin *et al.*, 2008).

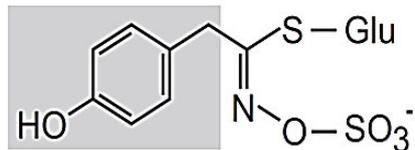
Los glucosinolatos, de acuerdo al aminoácido precursor, se dividen en tres grupos: **glucosinolatos alifáticos**, derivados de Alanina, Leucina, Isoleucina, Valina y Metionina (Ayambo *et al.*, 2006); **glucosinolatos bencénicos** derivados de Fenilalanina o Tirosina; y **glucosinolatos indólicos**, derivados de Triptófano (algunos ejemplos se muestran en la **Fig. 2**).

Bencilglucosinolatos

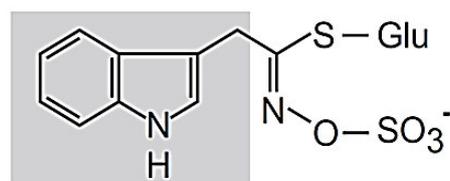
Son glucósidos que contienen azufre (Kjaer, 1973) (ver **Fig. 3**). Son metabolitos secundarios de las plantas que se encuentran en la familia Brassicaceae (Richard, 2001).



Aliphatic glucosinolates,
e.g. 2-propenylglucosinolate



Aromatic glucosinolates,
e.g. *p*-hydroxybenzylglucosinolate



Indolic glucosinolates,
e.g. indol-3-ylmethylglucosinolate

Fig. 2. Estructura de los grupos de glucosinolatos. (Adaptado de: Travers-Martin *et al.*, 2008).

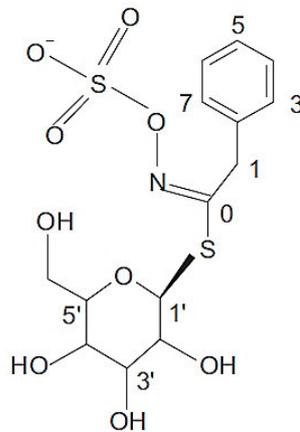


Fig. 3. Estructura del bencilglucosinolato (Fuente: Li *et al.*, 2015)

Mirosinasa

Es la enzima responsable de la hidrólisis de glucosinolatos. Los estudios han localizado a la mirosinasa en el citoplasma de las células vegetales especializadas, las células de mirosina. (Oerlemans *et al.*, 2006). La autólisis o daño tisular se da cuando la mirosinasa está en contacto con glucosinolatos produciéndose hidrólisis. El producto que se forma depende de varios factores, como el pH, el sustrato o la disponibilidad de iones ferrosos. Los productos de hidrólisis de glucosinolatos incluyen isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos, indoles y oxazolidinetiones (**Fig. 4**); a partir de los cuales los isotiocianatos y los indoles en particular han sido implicados por tener propiedades anticancerígenas (Oerlemans *et al.*, 2006).

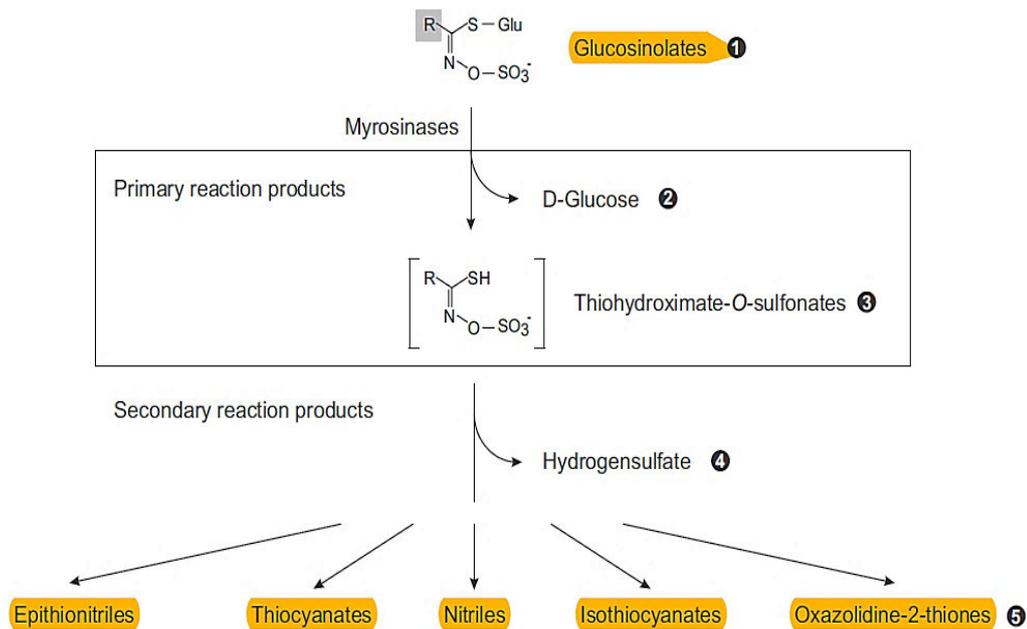


Fig. 4. Mecanismo enzimático: los glucosinolatos y las mirosinasas interactúan para formar D-glucosa y tiohidroximato-O-sulfonatos. La aglucona es inestable y se reordena formando sulfato de hidrógeno e isotiocianatos, nitrilos, tiocianatos, indoles y oxazolidinetiones. (Fuente: Travers-Martin *et al.*, 2008)

Índice de Gelatinización

Es la relación de almidones gelatinizados versus los almidones presentes inicialmente. La cuantificación de almidones gelatinizados se determinará por tratamiento térmico e hidrólisis para convertir los almidones en glucosa. Para el caso de la maca debe mayor a 95 % (Norma Técnica Peruana, NTP 011.182, 2008).

La degradación del almidón depende de su estructura, tamaño, presencia de inhibidores y de su origen. El almidón está compuesto por dos polisacáridos: la amilosa y la amilopectina en una proporción de 1 a 3. Los almidones presentes en la maca tienen 20.5% amilosa y 79.5% de amilopectina (Rondán-Sanabria & Finardi-Filho, 2009).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de estudio realizado fue observacional, analítico de corte transversal, debido a su factibilidad, pues, se observa las características microbiológicas, nutricionales y funcionales de la maca, analítico, porque se compara las características antes y después del tratamiento térmico y transversal porque fue realizado de forma única, siendo menos costoso por realizarse en poco tiempo.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El estudio se realizó durante los meses de abril a julio del 2015, en las instalaciones de la empresa de alimentos FRUCTUS TERRUM S.A., donde se llevó a cabo los procesos de selección, lavado, trozado, tratamiento térmico, deshidratado, molienda y envasado.

Los análisis de humedad y microbiológicos se realizaron dentro del Laboratorio de la misma empresa, los cuales, se corroboraron con un laboratorio externo acreditado ante Instituto Nacional de Calidad (INACAL), los análisis de valores nutricionales también se realizaron con laboratorios externos acreditados ante INACAL y finalmente, los análisis de bencilglucosinolatos se determinaron en la Universidad Cayetano Heredia - Servicio de Control de Calidad.

3.3. Variables

3.3.1. *Variables Independientes:*

- Tratamiento Térmico (Temperatura, presión y tiempo de exposición).

3.3.2. *Variables Dependientes:*

- Microorganismos: Recuento de Aerobios Mesófilos, Mohos y Levaduras, Coliformes Totales, *E. coli*, *S. aureus* y detección de *Salmonella sp.*
- Valores Nutricionales y Funcionales: Proteínas, carbohidratos, grasa, calorías, fibra, índice de gelatinización, cenizas, y bencilglucosinolato.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La maca (*Lepidium meyenii* Walp.) procedió del campo de cultivo de la empresa WANKA FOODS S.A., ubicado en el Anexo de Patalá, distrito de Pucará, provincia de Huancayo, Departamento de Junín (**Fig. 5**). La altura de la zona es de 4100 msnm (Tinoco, 2017). El área total corresponde a 94 hectáreas (947 000 Kg). El campo de maca ha sido certificado como orgánico por la empresa BCSÖKO.

3.4.2. Muestra

Los hipocótilos frescos fueron colectados de forma aleatoria y de acuerdo al periodo cosecha (mayo y julio), según Dostert *et al.* (2013). Posteriormente, fueron secadas al sol y finalmente, traídas a Lima para su procesamiento (un total de 2500 Kg).

Las muestras para los diferentes análisis fueron tomadas de cada *batch*, consistieron en compósitos de submuestras seleccionadas al azar de 250 g como mínimo (FDA/BAM, 1998). La cantidad analizada depende del tipo de parámetro de análisis y metodología.



Fig. 5. Campo de cultivo de maca, Huancayo (2016).

3.5. Instrumentos

3.5.1. Equipos

- Incubadoras Marca: KENDAL, Modelo: DSI 500D
- Baño María, Marca: MEMMERT, Modelo: WNE 7
- Potenciómetro, Marca: Mettler Toledo, Modelo SEVENGO SG2.
- Autoclave a 121°C, Marca: GREETMED, Modelo: Y-X28OAS
- Estufa a 180°C, Marca: THERMO SCIENTIFIC, serie:41858475
- Lámpara de luz UV (365 nm), longitud amplia de 4 watts, Marca: Spectroline, E series.
- Equipo de esterilización de 6 m³, Marca: IMULSA
- Deshidratadora Industrial, Marca: EQA
- Moledora Industrial con Martillos de acero inoxidable de 20HP, Marca Jarcon.
- Balanza Digital de plataforma de capacidad: 0.4 a 150 Kg, Marca: SORES, Modelo: AFM-X02369.
- Balanza Digital de capacidad: 0.1 a 1.1 Kg, Marca: SORES, Modelo: DM-1100.

- Balanza Digital Analítica capacidad: 0.005 a 250 g, Marca: SORES, Modelo: JW-250.
- Balanza Digital Infrarroja de capacidad: 0.001 a 40 g, Marca: SARTORIUS, Modelo: MA-40.
- Tamizador Vibratorio

3.5.2. *Materiales*

- Placas de Petri de vidrio de 90 mm x Tubos de ensayo de vidrio
- Pipetas de vidrio de 1, 5 y 10 mL
- Vaso de Precipitado de vidrio 250 mL
- Matraz volumétrico de vidrio 250 mL, 500 mL
- Probetas de vidrio 250 mL
- Tubos de ensayo de vidrio
- Gradillas de acero inoxidable
- Frascos de tapa rosca de vidrio Shott de 250 y 500 mL.
- Filtros de jeringa con poro de 0.22 μm (MillexGV, Irlanda)
- Jeringas de 5 mL
- Cintas indicadoras de esterilización 18 mm, Marca: 3M™.
- Mechero Bunsen
- Bandeja de aluminio desechable de 90 mm, Marca: Sartorius™, Cód. 6965542.
- Mesas de acero inoxidable
- Tinas de acero inoxidable
- Coches de acero inoxidable
- Bandejas de acero inoxidable
- Cucharones de acero inoxidable
- Tamices o mallas de acero inoxidable (Mesh 80)
- Bolsas de Polietileno inoxidable

3.5.3. *Reactivos y Medios de cultivos*

- Agar Plate Count x 500g, Marca: Merck, Cód. 1054630500.
- Agar Oxytetracycline Glucose Yeast-extract (OGYE) x 500g, Marca: Merck, Cód. 1059780500.
- Suplemento selectivo para OGYE para preparación de agar x 10 viales, Marca: Merck, Cód.1098770010.
- Agar Violeta cristal-Rojo neutro-Bilis-Glucosa (VRBG) x 500g, Marca: Merck, Cód. 1054630500.
- Petrifilm™ Staph Express de 3M™ para Recuento *de Staphylococcus aureus*
- Petrifilm™ para el Recuento de *E. coli* y Coliformes
- Caldo lactosado x 500g, Marca: Merck, 1076610500.
- Kit 1-2 Test® *Salmonella* Test, marca BIOCONTROL.
- Dióxido de Cloro 10% (DDC 10®), ECO CLEAN.
- Alcohol etílico 96°, Marca: Alkofarma y Agua destilada.

3.6. Procedimiento

El procesamiento de la maca desde la recepción de los hipocótilos secos hasta la obtención de la maca en polvo se describe en la **Fig. 6**.

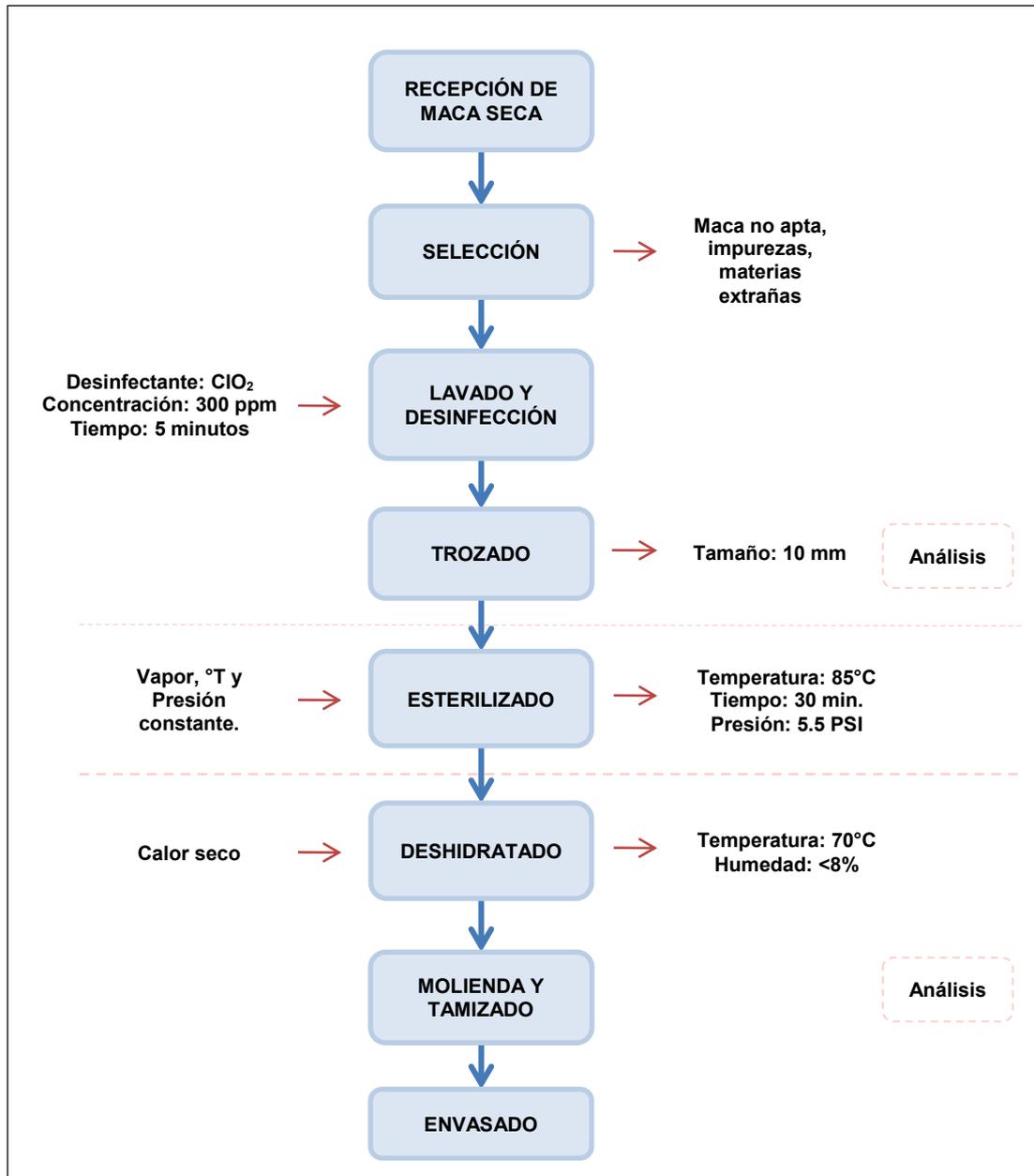


Fig. 6. Diagrama de flujo de la elaboración de maca en polvo esterilizada.

Cada uno de las etapas se detalla a continuación:

Recepción de Maca

Como se mencionó anteriormente, los hipocótilos de maca secos son enviados del campo de cultivo, con Humedad de 12% aproximadamente y en sacos de 50 Kg tipo malla para prevenir el deterioro (**Fig. 7**).



Fig. 7. Recepción de sacos con maca seca, transportados desde el campo de cultivo.

Selección

Antes de ser procesados los hipocótilos fueron seleccionados para verificar que no contengan impurezas propias del campo como piedras, tierra, metales, insectos entre otros. En esta etapa se hizo uso de un imán sanitario para controlar la presencia de metales (**Fig. 8**).



Fig. 8. Izquierda: etapa de selección de los hipocótilos de maca, derecha: imán empleado para retener partículas metálicas.

Lavado y Desinfección

Luego de la selección, la maca fue lavada para retirar residuos de tierra e impurezas y luego se desinfectó sumergiéndola en tinas de acero inoxidable con una solución de Dióxido de Cloro (ClO_2) al 10% a concentración de 300 ppm durante 5 minutos como parte del proceso de desinfección de la planta de procesos (**Fig. 9**).



Fig. 9. Lavado y desinfección: tinas de acero inoxidable empleadas para el lavado y la preparación de la solución de ClO_2 , jabas de plástico que contienen la maca.

Trozado

La maca que fue lavada y desinfectada se almacena en jabas de plástico donde se escurre el agua para después trozarla en partículas de 10x10x10 mm aproximadamente, en esta etapa se tomó muestras para los análisis de valores nutricionales, funcionales y recuento de microorganismos, de acuerdo con Guevara *et al.* (2016).

Tratamiento Térmico

La maca trozada se colocó sobre bandejas de acero inoxidable (contienen 5 Kg de maca por bandeja), estas se dispusieron una sobre otra en un coche, el cual, ingresó

al equipo de esterilización “Esterilizador”, por lo que ingresaron al equipo un total de 100 kg por *batch* (**Fig. 10**).

Las condiciones del tratamiento térmico fueron las siguientes: temperatura 85°C, presión 5.5 PSI y tiempo de 30 minutos. El control y verificación de la temperatura, presión y tiempo se midió con instrumentos con sensores calibrados; previamente verificados por la empresa Industrias Múltiples S.A.C (IMULSA). Los datos obtenidos fueron verificados durante todo el tratamiento térmico y registrados por el personal encargado.

Para la ejecución de tratamiento térmico el equipo se lleva a cabo las siguientes etapas:

- Encendido de la caldera, equipo que genera el vapor saturado (a partir de agua) en el esterilizador. En esta etapa ingresa el producto al esterilizador.
- Acondicionamiento del esterilizador, se evacúa el aire de la cámara (vacío) antes de iniciar la inyección del vapor saturado y empieza el calentamiento dentro del esterilizador.
- Tratamiento térmico, en la que se inyecta vapor saturado a la temperatura de 85 °C por 30 minutos y a la presión de 5.5 PSI.
- Enfriamiento, se inicia la reducción la temperatura dentro del autoclave.
- Despresurización, donde se evacúa la cámara de vacío, extrayendo eficientemente el vapor inyectado igualando las presiones con el exterior.



Fig. 10. Izquierda: Coches donde con la maca trozada que ingresa al equipo de tratamiento térmico, derecha: equipo de tratamiento térmico “Paul”.

Deshidratado

Después del proceso de tratamiento térmico, la maca trozada se llevó a las cámaras de deshidratación “Túnel de secado”, con calor en seco a una temperatura de 70 °C donde se reduce la humedad ganada por el tratamiento térmico con vapor hasta llegar a valores menores a 8% de humedad, esta medición se realiza cada hora (**Fig. 11**).



Fig. 11. Sistema de cámaras de deshidratación.

Molienda y Tamizado

Una vez que la humedad de la maca trozada fue reducida a los valores establecidos, se inició la etapa de molienda, empleando un molino con martillos de acero inoxidable de grado alimentario y mallas de medida 80 Mesh, hasta obtener polvo fino (Guevara *et al.*, 2016). Luego pasó por el proceso de tamizaje con el equipo de vibración que empleó mallas de acero inoxidable con medida de 80 Mesh (**Fig. 12**). En esta etapa se toma la muestra para los análisis respectivos.



Fig. 12. Izquierda: equipo de vibración empleado para el tamizaje de la maca en polvo.

Envasado y Almacenamiento

Luego del tamizaje de la maca el polvo se envasó con empaques de polietileno luego con bolsas de papel Clupak y fue almacenado a temperatura ambiente como se muestra en la **figura 13**.



Fig. 13. Izquierda: área de envasado donde se pesa y sella el producto terminado, derecha: almacén de producto terminado.

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Análisis de Microorganismos:

Los análisis se realizaron en el laboratorio interno de la empresa y se verificaron mediante laboratorio externo acreditado. Se usó una unidad analítica de 50 g de un total de 250 g de muestra de maca para todos los parámetros excepto para detección de *Salmonella sp.*, que se usó 25 g de muestra (FDA/BAM, 1998; ICMSF, 1983). Los análisis se realizaron en diluciones seriadas y por duplicado. Se emplearon las siguientes metodologías, según el parámetro de análisis:

- Recuento de Aerobios Mesófilos, se empleó la metodología descrita por ICMSF 2^o Edición (1983). Se utilizó Agar Plate Count (Merck), incubación a 30°C durante 24 - 48 h.
- Recuento de Mohos y Levaduras, se aplicó la metodología descrita por ICMSF 2^o Edición (1983). Se utilizó agar Oxyteracyclin-Glucosa-Extracto de Levadura (OGYE) de Merck a 25°C durante 3 a 5 días.

- Recuento de Coliformes Totales y *Escherichia coli*, se emplearon las metodologías descritas por FDA/BAM (1998) y AOAC Método Oficial 991.14 (2005b) con Petrifilm™ para el Recuento de *E. coli* y Coliformes de 3M, incubación 24 a 48 h a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Recuento de *Staphylococcus aureus*, se emplearon las metodologías descritas por FDA/BAM (1998) en agar Baird-Parker a $35\text{-}37^{\circ}\text{C}$ durante 45-48 h y 3M™ Petrifilm™ Staph Express Count Parker a $35\text{-}37^{\circ}\text{C}$ durante 48h.
- Detección de *Salmonella sp.* se empleó la metodología descrita por ICMSF 2º Edición (1983) y AOAC Official Methods of Analysis 989.13 (1995), se usó caldo lactosado de Merck para pre-enriquecimiento y el test 1-2 Test® *Salmonella* de la marca BIOCONTROL.

3.7.2. Análisis de Valores Nutricionales

Las muestras contenían al menos 500 g para los diferentes análisis realizados por el laboratorio externo.

- Contenido de grasa, se determinó mediante gravimétrico, según metodología descrita por AOAC 930.09 (2012a).
- Contenido de proteínas, se determinó mediante método Kjeldahl contenido de nitrógeno total - proteína cruda en plantas AOAC 978.04 (2012b).
- Contenido de carbohidratos y calorías, se calcularon a partir del contenido de proteínas y lípidos, Método AOAC 978.04 (2012b).
- Contenido de fibra total, se usó la metodología descrita por AOAC 985.29 capítulo 45 (2005).
- Cenizas y Humedad, se determinaron de acuerdo a la metodología descritas por AOAC 930.05, c3 (2012c).

- Índice de Gelatinización, se empleó el método interno aplicado por laboratorio de ensayo acreditado, CERPER-LE-ME-IG (1999), en concordancia con la NTP 011.182 (2008).

3.7.3. Análisis de Valor Funcional

Para el análisis del contenido de bencilglucosinolatos, la metodología empleada por el laboratorio externo de análisis de la Universidad Cayetano Heredia – Servicio de Control de Calidad consistió en la determinación por Cromatografía líquida de alta eficacia HPLC - Par Iónico con detección de longitud de onda a 235 nm, mediante los equipos Agilent 1260, 1100/085 (Metodología propia interna SCC-UPCH).

3.7.4. Análisis Estadístico de Datos

Para conocer la relación entre las variables de estudio se empleó pruebas paramétricas y/o no paramétricas, mediante el software estadístico STATISTICA 10 versión de prueba.

Para determinar el efecto del tratamiento en las variables microbiológicas, nutricionales y funcionales estudiadas se realizó los análisis estadísticos en base a una escala logarítmica, empleando la prueba de la SHAPIRO-WILK; las correlaciones se calcularán empleando un nivel de confianza de 95% y significancia de 0.05.

IV. RESULTADOS

Se analizaron un total de 30 muestras de maca, para los diferentes parámetros microbiológicos, nutricionales y funcionales, antes y después del tratamiento térmico.

4.1. Calidad Microbiológica:

En las **Tabla 2** y **3**, se muestran los resultados obtenidos del análisis de microorganismos en la maca antes y después del tratamiento térmico, respectivamente. Además, se compara los resultados con los reportados por otros autores. En el análisis no se reportó *E. coli* (<10 UFC/g), *S. aureus* (<10 UFC/g) ni *Salmonella sp.* (Ausencia/25g).

Tabla 2. Microorganismos presentes en la maca antes del tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por otros autores.

Parámetro	Pre-tratamiento*	(SE)	1	2
Aerobios Mesófilos	12x10 ⁴ UFC/g	0.33	23x10 ⁴	-
Mohos	13x10 ³ UFC/g	0.21 ^a	50 UFC/g	37x10 ³
Levaduras	77x10 UFC/g	0.23	15x10 UFC/g	-
Coliformes Totales	21x10 UFC/g	0.12	<3*** NMP/g	-
<i>Escherichia coli</i>	<10** UFC/g	-	<3*** NMP/g	-
<i>S. aureus</i>	<10** UFC/g	-	-	-
<i>Salmonella sp</i>	Ausencia/25g	-	Ausencia/25g	-

(*): Valor promedio. (**): Recuento estimado en placa debajo de límite detección. (***) : Lectura de tubos debajo de límite detección. SE: Valor del error estándar expresada en log10. (a): Valor de la desviación estándar en log10. (1): Guevara *et al.*, 2016, maca pre-tratamiento térmico. (2): Reyes *et al.*, 2006, maca seca sin tratamiento. (-): No hay datos.

Tabla 3. Microorganismos presentes en la maca después del tratamiento térmico y comparación con los resultados de otros autores.

Parámetro	Post-tratamiento*	(SE)	1	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Aerobios Mesófilos	28x10 UFC/g	0.47	90	-	-	-
Mohos	<10** UFC/g	-	<10** UFC/g	10x10 ⁴ UFC/g	61x10 ⁴ UFC/g	30x10 ³ UFC/g
Levaduras	<10** UFC/g	-	<10** UFC/g	-	-	-
Coliformes Totales	<10** UFC/g	-	<3*** NMP/g	-	-	-
<i>Escherichia coli</i>	<10** UFC/g	-	<3*** NMP/g	-	-	-
<i>S. aureus</i>	<10** UFC/g	-	-	-	-	-
<i>Salmonella sp</i>	Ausencia/25g	-	Ausencia/25g	-	-	-

(*): Valor promedio. (**): Recuento estimado en placa debajo de límite detección. (***) : Lectura de tubos estimada debajo de límite detección. SE: Valor del error estándar de la media expresada en log10. (1): Guevara *et al.*, 2016, maca después del tratamiento térmico (2): Cortéz & Guillermo (2004). (3): Orellana *et al.* (2005). (4): Reyes *et al.*, 2006. (a): Harina de maca, no indica si tuvo tratamiento térmico. (-): No hay datos.

Los valores de los parámetros evaluados, mediante la prueba SHAPIRO-WILK, tuvieron distribución normal ($p>0.05$), excepto para mohos, para lo cual se empleó los valores de las medianas. En todos los parámetros hubo diferencias significativas entre los dos tratamientos pre (**Tabla 2**) y post (**Tabla 3**), por lo que se evaluaron los porcentajes de reducción de los microorganismos y se comparó con lo obtenido por Guevara *et al.*, 2016 (**Tabla 4**). En algunas repeticiones, para microorganismos aerobios mesófilos, se logró hasta el 100% de reducción; sin embargo, se presenta el valor promedio de las repeticiones como se puede ver en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Comparación del porcentaje de reducción obtenidos entre el tratamiento térmico con los valores reportados por Guevara *et al.*, 2016.

Parámetro	Reducción (%)	
	1	2
Aerobios Mesófilos	95%	98,7%
Mohos	100%	80%
Levaduras	100%	93,3%
Coliformes Totales	100%	-

(1): Porcentajes obtenidos en el estudio (2): Guevara *et al.*, 2016. (-): No hay datos.

Los resultados del post tratamiento térmico, aplicado en la maca, fueron comparados con los valores de los criterios microbiológicos de la NTP, CE y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Comparación entre los valores obtenidos en la maca post-tratamiento con algunos criterios microbiológicos representativos.

Parámetro	Unidad	Valores*	Criterios Microbiológicos (Límites)		
			NTP	USDA	CE
Aerobios Mesófilos	UFC/g	28x10	10 ⁴	10 ⁴	-
Mohos	UFC/g	<10**	10 ²	10 ³	-
Levaduras	UFC/g	<10**	10 ²	10 ³	-
Coliformes Totales	UFC/g	<10**	10	Ausencia	-
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	<10**	-	Ausencia	10 ²
<i>S. aureus</i>	UFC/g	<10**	<10	-	-
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia/25g	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

(*): Valor promedio. (**): Recuento estimado en placa. NTP: Norma Técnica Peruana, 011.182. CE: Reglamento Comunidad Europea N° 2073/2005. USDA: Guía de Requisitos Sanitarios y Fitosanitarios para exportar alimentos a los Estados Unidos, MINCETUR - PROMPERÚ, 2010.

4.2. Calidad Nutricional

Los valores de los parámetros nutricionales de la maca fueron evaluados mediante la prueba SHAPIRO-WILK, mostraron una distribución normal ($p>0.05$) y no se encontró diferencias significativas entre los 02 tratamientos (pre y post). Los resultados antes del tratamiento térmico y la comparación con otros autores se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Valores Nutricionales en la maca antes del tratamiento térmico y comparación con los resultados de diferentes autores.

Parámetro	Unidad	Pre-Tratamiento*	(SE)	1	2	3	4	5
Proteínas	g/100g	11.08	0.26	9.1	10.2	11.8	11.8	14.6
Carbohidratos	g/100g	76.83	0.18	86.3	59.0	66.3	66.3	79.5
Grasas	g/100g	0.67	0.07	0.2	2.2	1.6	1.6	0.9
Calorías	Kcal/100g	354.03	0.04	363.4	-	301	314	384.6
Fibra	g/100g	5.17	0.09	3.7	8.5**	-	-	5.9**
Ceniza	g/100g	5.03	0.09	4.4	4.9	-	5.0	5.0

(*): Valor promedio. (**): Fibra entera. SE: Valor del error estándar de la media. (1): Guevara *et al.*, 2016. (2): Dini *et al.*, 1994. (3): García *et al.*, 2017. (4): INS, 2009. (5): Vilchez *et al.*, 2012. (-): No hay datos.

Los resultados en las muestras después del tratamiento térmico y la comparación con los datos obtenidos por diferentes autores, se muestran en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Valores Nutricionales en la maca después del tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores.

Parámetro	Unidad	Post-Tratamiento ^a	(SE)	1	2
Proteínas	g/100g	10.23	0.40	8.2	13.4
Carbohidratos	g/100g	75.27	0.37	87.6	80.9
Grasas	g/100g	0.55	0.07	0.2	0.3
Calorías	Kcal/100g	338.50	0.86	366.2	379.9
Fibra	g/100g	5.00	0.11	3.2	5.6 ^b
Ceniza	g/100g	4.87	0.10	4.6	5.4
Índice de gelatinización	%	96.87	0.92 ^c	-	86,9

SE: Valor del error estándar de la media. (a): Valor promedio. (b): Fibra entera. (c): Valor de la desviación estándar. (1): Guevara *et al.*, 2016. (2): Vélchez *et al.*, 2012, maca extruida. (-): No hay datos.

Se obtuvieron los porcentajes de reducción de los valores nutricionales en base a los datos de pre y post tratamiento térmico, la reducción para proteínas fue de 6.9%, carbohidratos 1.9%, grasas 12.3%, calorías 4.3%, fibra 3.1% y ceniza 3.2%.

Los resultados obtenidos en la maca luego del tratamiento térmico aplicado fueron comparados con los requisitos físicos y químicos de la NTP y cumplen con todos los parámetros (**Tabla 8**). Los valores de la Humedad y el Índice de Gelatinización fueron obtenidos luego del tratamiento térmico, ya que son requeridos en esta etapa del proceso (producto terminado) y en concordancia con la NTP 011.182 (2008), lo cual se aprecia en la **Tabla 7 y 8**.

Tabla 8. Comparación de los valores nutricionales obtenidos en la maca post-tratamiento térmico con la NTP.

Parámetro	Unidad	Valores Obtenidos*	NTP	
			Mín.	Máx.
Proteínas	g/100g	10.23	10	-
Carbohidratos	g/100g	75.27	-	-
Grasas	g/100g	0.55	0.2	2.0
Calorías	Kcal/100g	338.50	-	-
Fibra Total	g/100g	5.00	-	6.0
Ceniza	g/100g	4.87	3.0	6.0
Humedad	g/100g	5.84	-	9.0
Índice de gelatinización	%	96.87	95	-

(*): Valor promedio. NTP: Norma Técnica Peruana, 011.182.

4.2.1. Calidad Funcional

Los valores de bencilglucosinolatos fueron evaluados mediante la prueba SHAPIRO-WILK y mostraron una distribución normal ($p>0.05$), no encontrándose diferencia significativa entre el pre y post-tratamiento térmico. Los resultados de los análisis de bencilglucosinolatos en las muestras de la maca antes del tratamiento térmico y la comparación con los datos obtenidos por diferentes autores, se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Valores de bencilglucosinolatos en la maca pre-tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por otros autores.

Parámetro	Unidad	Pre-tratamiento*	(SE)	1	2	3
Bencilglucosinolatos	μmol/g	21.02	0.93	1.68	3.2	47.2

(*): Valor promedio, análisis en peso seco. SE: Valor del error estándar de la media. (1): Guevara *et al.*, 2016. (2): Li *et al.*, 2001, maca seca. (3): Li *et al.*, 2015, maca cruda.

Los resultados de los análisis de bencilglucosinolatos en las muestras de la maca después del tratamiento térmico y la comparación con los datos obtenidos por diferentes autores, se muestran en la **Tabla 10**. Se obtuvo el porcentaje de reducción del valor de bencilglucosinolatos igual a 8.36%.

Tabla 10. Valores de bencilglucosinolatos en la maca post-tratamiento térmico y comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores.

Parámetro	Unidad	Post-tratamiento*	(SE)	1	2	3
Bencilglucosinolatos	μmol/g	18.93	0.93	1.65	2.7	31.9

(*): Valor promedio, análisis en peso seco. SE: Valor del error estándar de la media. (1): Guevara *et al.*, 2016. (2): Li *et al.*, 2001, harina de maca. (3): Li *et al.*, 2015, maca vaporizada.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Calidad Microbiológica

Microorganismos en la maca pre-tratamiento térmico

Los valores del recuento de aerobios mesófilos en la maca antes del tratamiento térmico fueron menores en comparación con los obtenidos por Guevara *et al.*, 2016 (**tabla 2**); lo que se puede deber a que proceden de diferentes lugares y las diferencias en los procesos de lavado y desinfección.

Los valores del recuento de Mohos y Levaduras fueron mayores en comparación con los obtenidos por Guevara *et al.*, 2016; pero menores a los obtenidos por Reyes *et al.*, 2006 (**tabla 2**).

Presentamos recuento de Coliformes Totales mientras que Guevara *et al.*, 2016, no reportó crecimiento de estos en su investigación (**tabla 2**). Asimismo, no reportamos recuento de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ni detección de *Salmonella sp.*, al igual que el autor antes mencionado.

Microorganismos en la maca post-tratamiento térmico

Los valores del recuento de aerobios mesófilos en la maca después del tratamiento térmico fueron mayores en comparación con los obtenidos por Guevara *et al.*, 2016 (**tabla 3**); a pesar de que la carga inicial reportada por su estudio era mayor; esto puede deberse a que el tratamiento térmico empleó temperaturas mayores a 100 °C. Además, el porcentaje de reducción también fue mayor al obtenido por nuestro estudio (**tabla 4**).

Los valores del recuento de Mohos y Levaduras fueron los mismos que los obtenidos por Guevara *et al.*, 2016 (**tabla 3**); sin embargo, los porcentajes de reducción para ambos parámetros fueron mayores en nuestro estudio (**tabla 4**); probablemente, se deba al empleo de mayor tiempo (30 minutos) en nuestro tratamiento térmico a

diferencia de su tratamiento (8 minutos). Comparado con otras harinas de maca que se expenden y se desconoce si han sido tratadas térmicamente nuestros valores son menores (**tabla 3**), esto brinda un valor agregado a nuestro tratamiento térmico ya que la harina de maca comercializada ha reportado recuentos elevados de hongos (Cortéz & Guillermo, 2004; Orellana *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2006).

Como se mencionó anteriormente, Guevara *et al.*, (2016), no registró valores de coliformes totales (**tabla 3**), por ello, no estableció porcentajes de reducción en su investigación. En nuestro caso, sí reportamos recuento antes y después del tratamiento térmico logrando el 100% de reducción (**tabla 4**). No se reportó *E. coli*, *S. aureus* ni *Salmonella sp.*, por lo que no se pudo establecer porcentajes de reducción en esta investigación, al igual que Guevara *et al.*, (2016).

Los valores obtenidos de los diferentes parámetros en la maca post-tratamiento cumplen con los criterios microbiológicos más representativos (**tabla 5**).

5.2. Calidad Nutricional

Pre-tratamiento térmico

Los valores de proteínas obtenidos en la maca antes del tratamiento térmico fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016 y Dini *et al.*, 1994; pero menores a los registrados por García *et al.*, 2017; INS, 2009 y Vílchez, *et al.*, 2012 (**tabla 6**). Las muestras procedían de diferentes campos de cultivo.

En cuanto a los carbohidratos, los valores fueron mayores a los reportados por Dini *et al.*, 1994; García *et al.*, 2017 y el INS, 2009; pero menores a los registrados por Vílchez *et al.*, 2012 y Guevara *et al.*, 2016 (**tabla 6**).

Los valores de grasa obtenidos en la maca fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero menores a los reportados por Dini *et al.*, 1994, García *et al.*, 2017, el INS, 2009 y Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 6**).

El aporte calórico descrito en la maca fue mayor a lo reportado por García *et al.*, 2017 y el INS, 2009; pero menores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016 y Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 6**).

Los valores de fibra obtenidos en la maca fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero menores a los reportados por Vílchez *et al.*, 2012 y Dini *et al.*, 1994 (**tabla 6**).

En cuanto al valor de ceniza obtenido fue mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero similar a los reportado por Dini *et al.*, 1994 y Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 6**).

Post-tratamiento térmico

Los valores de proteínas obtenidos en la maca después del tratamiento térmico fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero menores a los registrados por Vílchez, *et al.*, 2012 (**tabla 7**). La reducción del valor de proteínas luego del tratamiento térmico fue de 6.9% que no es significativo.

Los valores de los carbohidratos fueron menores a los reportados por Vílchez *et al.*, 2012 y Guevara *et al.*, 2016 (**tabla 7**). La reducción del valor de carbohidratos luego del tratamiento térmico fue de 1.9% que no es significativo. Los valores de carbohidratos no han sido establecidos en la NTP 011.182 (2008), pese a la importancia de los efectos benéficos descritos por Li, Sun, Meng, Lei, Xiong & Zhang, 2017; Tang, Jin, Xie, Huang, Wang, Chu, *et al.*, 2017; Zhang, Zhao, Wang, Zhao, Zhao, 2017^b y Zhang, Wang, Lai, 2016.

Los valores de grasa obtenidos en la maca fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016 y Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 7**). La reducción del valor de grasas luego del tratamiento térmico fue de 12.3% que no es significativo.

El aporte calórico descrito en la maca fue menor a lo reportado por Guevara *et al.*, 2016 y Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 7**). La reducción del valor de calorías luego del tratamiento térmico fue de 4.3% que no es significativo.

Los valores de fibra obtenidos en la maca fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero menores a los reportados por Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 7**). La reducción del valor de fibra luego del tratamiento térmico fue de 3.1% que no es significativo.

En cuanto al valor de ceniza obtenido fue mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016; pero menor a los reportado por Vílchez *et al.*, 2012 (**tabla 7**). La reducción del valor de ceniza luego del tratamiento térmico fue de 3.2% que no es significativo.

Los valores del Índice de Gelatinización obtenidos luego del tratamiento térmico están dentro de los rangos establecidos en la NTP 011.182, 2008 y son mayores que los reportados por Vílchez *et al.*, 2012 (86.9%).

Los valores obtenidos de los diferentes parámetros nutricionales en la maca post-tratamiento cumplen con la NTP, 011.182, 2008 (**tabla 8**).

5.3. Calidad Funcional

Pre-tratamiento térmico

El valor de bencilglucosinolatos obtenido en las muestras de maca antes del tratamiento térmico fue mayor a los reportado por Guevara *et al.*, 2016 y Li *et al.*, 2001; pero menor a lo reportado por Li *et al.*, 2015 (**tabla 9**).

Post-tratamiento térmico

Los valores de bencilglucosinolatos obtenidos en la maca luego del tratamiento térmico fueron mayores a los reportados por Guevara *et al.*, 2016 y Li *et al.*, 2001. Sin embargo, fueron menores que lo reportado por Li *et al.*, 2015 (**tabla 10**).

La conservación de los valores de bencilglucosinolatos, en nuestro trabajo, probablemente, se debe a que empleamos temperaturas menores a 100 °C, como sugiere Oerlemans *et al.* (2006), ya que temperaturas mayores resultan severas y conllevan a la degradación de la cantidad total de glucosinolatos.

Tampoco afectó la deshidratación en las cámaras de secado que emplea 70 °C de temperatura, similar a la temperatura empleada por Li *et al.*, 2015 (80 °C por 24 horas), no mostró pérdida del contenido de bencilglucosinolatos. Inclusive, Li *et al.* (2015), inhibió la enzima mirosinasa al emplear secado a 80 °C, esta enzima degrada los glucosinolatos, (Yábar *et al.*, 2011; Fahey *et al.*, 2001).

Li *et al.* (2015), sugiere que la maca vaporizada conserva mejor los BG que la maca cruda durante la trituration y el secado. Pero que se emplee temperaturas menores a 90 °C, porque afectan el contenido de BG en la maca.

El porcentaje de reducción de bencilglucosinolatos obtenido es igual a 8.36% que no es significativo. Los valores obtenidos en la maca luego del tratamiento térmico no tienen valores estándares establecidos, por lo que, no fueron comparados y solo son tomados como referenciales.

VI. CONCLUSIONES

Calidad Microbiológica

El tratamiento térmico empleado logra reducir los microorganismos aerobios mesófilos y eliminar los mohos, las levaduras y coliformes totales presentes.

Los resultados obtenidos en el post-tratamiento térmico en la maca están acorde a los valores de los criterios microbiológicos establecidos en la NTP, CE y USDA, por lo que se logra cumplir con las normativas.

Calidad Nutricional

El tratamiento térmico empleado no reduce significativamente los valores de proteínas, carbohidratos, grasas, calorías, fibra y cenizas presentes en la maca, por lo que se conservan luego de este. Además los valores de proteínas, carbohidratos, grasas, calorías, fibra y cenizas, e índice de gelatinización obtenidos en el post-tratamiento térmico en la maca están acorde a los requisitos físicos y químicos establecidos en la NTP, por lo que se logra cumplir con la normativa.

Calidad Funcional

El tratamiento térmico empleado en la maca, no reduce significativamente los valores de bencilglucosinolatos, por lo que concluimos que se conservan.

Por lo tanto, luego de aplicar el tratamiento térmico en la maca (*Lepidium meyenii* Walp) se logra la inocuidad y se conserva la calidad nutricional y funcional.

VII. RECOMENDACIONES

Evaluar los criterios de inocuidad, calidad nutricional y funcional de los hipocótilos de la maca en sus variedades roja y negra para el mismo tratamiento térmico aplicado en este estudio, pues no se ha reportado en investigaciones previas al respecto, y servirían para contrastar nuestros resultados.

Realizar las evaluaciones de los criterios de inocuidad, calidad nutricional y funcional de los hipocótilos de la maca amarilla modificando las condiciones del tratamiento térmico respecto a temperatura, presión y tiempo, empleadas en nuestra investigación, a fin de comparar y estandarizar las condiciones óptimas.

Comparar las evaluaciones de los criterios de inocuidad, calidad nutricional y funcional de los hipocótilos de la maca en sus variedades roja y negra modificando las condiciones del tratamiento térmico respecto a temperatura, presión y tiempo, empleadas en nuestra investigación.

VIII. REFERENCIAS

- Aliaga, R. (2004). "Maca" (*Lepidium meyenii*). En J. Seminario (Ed.), *Raíces Andinas - Contribuciones al conocimiento y a la capacitación* (pp. 361-366). Lima: Centro Internacional de la Papa. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=L-sz8Eir9IIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 989.13, On line. Motile Salmonella in All Foods. <http://www.eoma.aoc.org/methods/result.asp?string=b>
- AOAC. 2005a. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 991.14. 18° Edition, On line. Coliform and *Escherichia coli* Counts in Foods. Dry Rehydratable Film Methods. <http://www.eoma.aoc.org/methods/result.asp?string=b>
- AOAC. 2005b. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 985.29. Cap. 45, On line. Total Dietary Fiber in Foods. Enzymatic-Gravimetric Method. <http://www.eoma.aoc.org/methods/result.asp?string=b>
- AOAC. 2012a. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 930.09. On line. Ether Extract of Plants. Gravimetric Method. <http://www.eoma.aoc.org/methods/info.asp?ID=32142>
- AOAC. 2012b. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 978.04. On line. Nitrogen (Total) (Crude Protein) in Plants. Kjeldahl. <http://www.eoma.aoc.org/methods/info.asp?ID=32176>
- AOAC. 2012c. Official Methods of Analysis of AOAC International. Method 930.05. On line. Ash of Plants. <http://www.eoma.aoc.org/methods/result.asp?string=b>
- Arias, A.R. 2002. Biotecnología y metabolitos secundarios en *Lepidium peruvianum* Chacón, "maca". Tesis para optar al Título Profesional de Biólogo. Lima - Perú.
- Ayambo, L. 2006. Optimización la proceso de extracción etanólica de *Lepidium peruvianum* Chacón, "maca". Tesis para optar al Título Profesional de Químico Farmacéutico. Lima - Perú.
- Canales, M. Aguilar, J. Prada, A. Marcelo, A. Huamán, C.& Carbajal, L. 2000. Evaluación nutricional de *Lepidium meyenii* (maca) en ratones albinos y su descendencia. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50(2).
- Carrión, J. León, K. Santiago, J. 2009. Actividad antioxidante de tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii* Walp) tratada con radiación gamma. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. 12(2): 72-77.

- Chacón, G. 1990. La “maca” (*Lepidium peruvianum* Chacón sp. nov.) y su hábitat. Revista Peruana de Biología. 3: 171-272.
- Chain, F. Grau, A. Martins, J. Catalán, C. 2014. Macamides from wild ‘Maca’, *Lepidium meyenii* Walpers (Brassicaceae). Phytochemistry Letters 8: 145-148.
- Chen, L. Li, J. & Fan, L. 2017. The Nutritional Composition of Maca in Hypocotyls (*Lepidium meyenii* Walp.) Cultivated in Different Regions of China. Journal of Food Quality, 2017:1-8.
- CODEX Alimentarius. 1997. Principios y Directrices para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos Relativos a los Alimentos. CAC/GL 21:1-7.
- CODEX Alimentarius. 2007. Principios y Directrices para la aplicación de la Gestión de Riesgos Microbiológicos. CAC/GL 63:1-16.
- Comisión De Las Comunidades Europeas. 2005. REGLAMENTO (CE) Relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea. N° 2073: 8-26.
- Cortéz D. & Guillermo, J. 2004. Evaluación fúngica en harina de maca expendida en Mercado modelo Ica y Mercado central de Chincha. Agosto–Setiembre 2004. Publicado en el V Congreso de Estudiantes de Biología en Cuzco.
- Dini, A. Migliuolo, G. Rastrelli, L. Saturnino, P. & Schettino, O. 1994. Chemical composition of *Lepidium meyenii*. Food Chemistry, 49(4): 347–349.
- Dostert, N. Roque, J. Brokamp, G. La Torre, M. Cano, A. Weigend, M. Flores, D. 2013. Siete especies de plantas vasculares de importancia económica en el Perú: Fichas botánicas. Arnaldoa, 20 (2): 359-432.
- Fahey, J. Zalcman, A. T. & Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. Phytochemistry. 56: 5-51.
- FDA/BAM. Bacteriological Analytical On line. Chapter 4, 8 th Edition. Revision G, 1998. September 2002. Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2002. Cumbre Mundial sobre la Alimentación - Alimentos inocuos y nutritivos para los consumidores. En línea [consultado el 06 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6656s.htm#TopOfPage>
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1999. Comité de Seguridad Alimentaria Mundial - Importancia de la calidad e inocuidad de los alimentos para los países en desarrollo. En línea [consultado el 06 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/x1845s.htm>
- García, M., Gómez-Sánchez, I., Espinoza C. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos (10ma ed.). Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de

- Salud. Recuperado de <http://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, G. Villaorduña, L. Gasco, M. Rubio, J. Gonzales, C. 2014. Maca (*Lepidium meyenii* Walp), una revisión sobre sus propiedades biológicas. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 31(1):100-110.
- Gonzales, G. Gonzales C. Gonzales-Castañeda, C. 2009. *Lepidium meyenii* (Maca): a Plant from the Highlands of Perú - from tradition to science. Complementary Medicine Research. 16 (6): 373-380.
- Gonzales, G.F., Vásquez, V., Rodríguez, D. *et al.* 2007. Effect of two different extracts of red maca in male rats with testosterone-induced prostatic hyperplasia. Asian Journal of Andrology. 9: 245–251.
- Guevara, A. Nolasco, D. 2016. Descontaminación microbiana de la maca (*Lepidium meyenii*) aplicando el sistema de esterilización orgánica (OSS) para preservar sus propiedades nutricionales y sensoriales. Scientia Agropecuaria. 7(1): 59-66.
- ICMSF. 1983. Internacional Comition Microbiological Specification Food. (Traducción de la versión original 1978). Reimpresión 2000. 2th Edition. Editorial Acribia. 1 (2): 120-124, 132-134, 138-142, 166-167, 172-178.
- Instituto Nacional de Salud (2009). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (8a ed.). Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud. 56-57. Recuperado de <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>
- Johnson, I. 2002. Glucosinolatos: biodisponibilidad e importancia para la salud. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 72: 26-31.
- Kjaer, A. 1973. The natural distribution of glucosinolates: a uniform group of sulfur containing glucosides. In G. Bendz and J. Santesson [eds.], Chemistry in botanical classification, 229-234. Academic Press, New York, NY.
- Lentz, A., Gravitt, K., Carson, C.C. & Marson, L. 2007. Acute and chronic dosing of *Lepidium meyenii* (Maca) on male rat sexual behavior. The Journal of Sexual Medicine. 4: 332–340.
- Li, G. Ammermann, U. Quirós, C. 2001. Glucosinolate contents in maca (*Lepidium peruvianum* Chacón) seeds, sprouts, mature plants and several derived commercial products. Economic Botany. 55 (2): 255–262.
- Li, J. Sun, Q. Meng, Q. Lei, W. Xiong, W. Zhang, L. 2017. Anti-fatigue activity of polysaccharide fractions from *Lepidium meyenii* Walp. (maca). International Journal of Biological Macromolecules. 95:1305-1311.

- Li, Y. Xu, F. Zheng, M. Xi, X. Cui, X. Han, C. 2018. Maca polysaccharides: A review of compositions, isolation, therapeutics and prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*. 111: 894-902.
- Li, J. Zou, Y. Sun, Q. Yang, C. Yang, J. Zhang, L. 2015. Effect of physical and thermal processing upon benzylglucosinolate content in tubers of the Brassicaceae maca (*Lepidium meyenii*) using a novel rapid analytical technique. *International Journal of Food Science and Technology*. 50 (11): 2443-2450.
- Marín, M. 2003. Histología de la “maca”, *Lepidium meyenii* Walpers (Brassicaceae). *Revista Peruana de Biología*, 10 (1): 101-108.
- Massoma Lembè, D., Gasco, M. & Gonzales, G.F. 2012. Fertility and estrogenic activity of *Turraeanthus africanus* in combination with *Lepidium meyenii* (Black maca) in female mice. *European Journal of Integrative Medicine*. 4: 345–351.
- Meissner, H. Mscisz, A. Piatkowska, E. Baraniak, M. Mielcarek, S. Kedzia, B... & Pisulewski, P. 2016. Peruvian Maca (*Lepidium peruvianum*): (II) Phytochemical Profiles of Four Prime Maca Phenotypes Grown in Two Geographically-Distant Locations. *International Journal of Biomedical science*. 12(1): 9-24.
- Muhammad, I. Jianping, Z. Dunbar, C. & Khan, I. 2002. Constituents of *Lepidium meyenii* ‘maca’. *Phytochemistry*. 59 (1): 105–110.
- MINCETUR, PROMPERÚ. 2010. Guía de Requisitos Sanitarios y Fitosanitarios para exportar alimentos a los Estados Unidos. Primera edición.
- MINSA, DIGESA. 2008. Norma Sanitaria que establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas de Consumo Humano. NTS-N°071-RM-591-2008-MINSA/DIGESA.
- NTP 011.182. 2008. Norma Técnica Peruana. Harina gelatinizada de maca (*Lepidium peruvianum*). Definición y Requisitos. INDECOPI. 1° Edición.
- NTP 011.181. 2008. Norma Técnica Peruana. Harina tostada de maca (*Lepidium peruvianum*). Definición y Requisitos. INDECOPI. 1° Edición.
- Oerlemans, Kirsten. Barrett, Diane. Bosch, Carme. Verkerk, Ruud. & Dekker, Matthijs. 2006. Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chemistry*. 95:19-29.
- Orellana, A. Muchaypiña, J. & Guillermo, J. 2005. Prevalencia de hongos en harina de *Lepidium peruvianum* «Maca» en mercados de Andahuaylas, Ica y Cañete - Perú. *Revista Peruana de Biología*. 12(3): 445-448.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2015. Inocuidad de los alimentos. Nota descriptiva N°399. En línea [consultado el 06 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>

- PROMPERU. 2016. Evolución de las exportaciones del producto: Maca. [En línea]. Perú; [consultado el 19 de julio del 2016]. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/apb/ReporteResumen.aspx?psector=1025&preporte=prodresu&pvalor=1934>
- Ramírez, R. García-Parra, J. González-Cebrino, F. Delgado, J. Cava, R. 2016. High pressure assisted thermal processing of pumpkin purée: Effect on microbial counts, color, bioactive compounds and polyphenoloxidase enzyme. *Food and Bioproducts Processing*. 98: 124-132.
- Rea, J. 1994. Andean roots. En: Hernandez Bermejo, J. E., Leon, J. (Eds.), *Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective*. FAO, Rome, Italy. Pp. 163–179.
- Reyes, V. Quevedo, F. 2006. Determinación de aflatoxina total y ocratoxina a en maca seca y en harina de maca. *Ciencia e Investigación*. 9 (1).
- Richard, M. 2001. Glucosinolates - biochemistry, genetics and biological activity. *Plant Growth Regulation*. 34(1): 91-103.
- Rondán-Sanabria, G.G. & Finardi-Filho, F. 2009. Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). *Food Chemistry*. 114:492–498.
- Romero, V. Tirado, A. Duránb, M. Dávalos, J. 2016. Propiedades Energéticas de la Harina de Maca (*Lepidium peruvianum* Chacón o *Lepidium meyenii* Walp). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 8(1).
- Rubio, J., Qiong, W., Liu, X. *et al.* 2011. Aqueous extract of black maca (*Lepidium meyenii*) on memory impairment induced by ovariectomy in mice. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2011: 1–7.
- Sifuentes-Penagos, G. León-Vásquez, S. & Paucar-Menacho, L.M. 2015. Estudio de la Maca (*Lepidium meyenii* Walp.), cultivo andino con propiedades terapéuticas. *Scientia Agropecuaria*. 6 (2): 131-140.
- Stein, A. J. & Rodríguez-Cerezo, E. 2008. *Functional Food in the European Union*. Institute for Prospective Technological Studies - Joint Research Centre, European Commission. Seville, Spain. EUR 23380 EN.
- Sønderby, I. Geu-Flores, F. & Halkier, B. 2010. Biosynthesis of glucosinolates – gene discovery and beyond. *Trends in Plant Science*. 15(5):283-290.
- Tang, W. Jin, L. Xie, L. Huang, J. Wang, N. Chu, B.,...Zhang, Y. 2017. Structural Characterization and Antifatigue Effect In Vivo of Maca (*Lepidium meyenii* Walp) Polysaccharide. *Journal of Food Science*. 757-764.
- Téllez-Luis, S. Ramírez, J. Pérez-Lamela, C. 2001. Aplicación de la Alta Presión Hidrostática en la Conservación de los Alimentos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 3 (2): 66-80.

- Tinoco, P. (2017, junio, 14). *Huancayo: heladas afectan la salud de pobladores de distrito de Pucará*. Andina - Agencia Peruana de Noticias. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=670877>
- Travers-Martin, N. Kuhlmann, F. Müller, C. 2008. Revised determination of free and complexed myrosinase activities in plant extracts. *Plant Physiology and Biochemistry*. 46: 506-516.
- Uchiyama, F. Jikyo, T. Takeda, R. & Ogata, M. 2014. *Lepidium meyenii* (Maca) enhances the serum levels of luteinizing hormone in female rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 151: 897-902.
- Vílchez, L. Guevara, A. Encina, C. 2012. Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 78(2): 126-137.
- Wang, W. Zou, Y. Li, Q. Mao, R. Shao, X. Jin, D... Wu, X. 2016. Immunomodulatory effects of a polysaccharide purified from *Lepidium meyenii*, Walp. on macrophages, *Process Biochemistry*. 51: 542-553.
- Wang, Y. Wang, Y. McNeil, B. & Harvey, L. M. 2007. Maca: An Andean crop with multi-pharmacological functions. *Food Research International*. 40: 783-792.
- Yábar, E. Pedreschi R. 2011. Glucosinolate content and myrosinase activity evolution in three maca (*Lepidium meyenii* Walp.) ecotypes during preharvest, harvest and postharvest drying. *Food Chemistry*. 127 (4): 1576-1583.
- Yu, L. J. & Jin, W. W. 2004. Study on nutritional components and the anti-fatigue effects of dry powder of maca (*Lepidium meyenii*). *Food Science*. 25(2): 164-166.
- Zha, S. Zhao, Q. Chen, J. Wang, L. Zhang, G. Zhang, H. Zhao, B. 2014. Extraction, purification and antioxidant activities of the polysaccharides from maca (*Lepidium meyenii*). *Carbohydrate Polymers*. 111: 584-587.
- Zhang, M. Wu, W. Ren, Y. Li, X. Tang, Y. Min, T... Wu, H. (2017a). Structural Characterization of a Novel Polysaccharide from *Lepidium meyenii* (Maca) and Analysis of Its Regulatory Function in Macrophage Polarization in Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65 (6):1146-1157.
- Zhang, L. Zhao, Q. Wang, L. Zhao, M. Zhao. B. (2017b). Protective effect of polysaccharide from maca (*Lepidium meyenii*) on Hep-G2 cells and alcoholic liver oxidative injury in mice. *International Journal of Biological Macromolecules*. 99:63-70.
- Zhang, M. Wang, G. Lai, F. 2016. Structural Characterization and Immunomodulatory Activity of a Novel Polysaccharide from *Lepidium meyenii*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 64:1921-1931.

- Zhang, Y., Yu, L., Ao, M. & Jin, W. 2006. Effect of ethanol extract of *Lepidium meyenii* Walp. on osteoporosis in ovariectomized rat. *Journal of Ethnopharmacology*. 105: 274-279.
- Zheng, B. He, K. Kim, C. Rogers, L. Shao, Y. Huang, Z...Zheng, Q. 2000. Effect of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behavior of mice and rats. *Urology* 55, 598–602.