



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES
Y EL POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE HARINA DE
MACA (*Lepidium meyenii*)**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE ALIMENTOS**

JULIO CÉSAR MONTALVO BOADA

DIRECTORA: CARLOTA MORENO GUERRERO

Quito, mayo 2021

© Universidad UTE. 2021

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718317546
APELLIDO Y NOMBRES:	MONTALVO BOADA JULIO CÉSAR
DIRECCIÓN:	CARCELEN ALTO, PASAJE FRUTOS N81-31 Y ALONSO DE JEREZ
EMAIL:	saskiavinz@hotmail.com / saskiavinz@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	022471158
TELÉFONO MOVIL:	0983144139

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Determinación de las propiedades funcionales y potencial antioxidantes de harina de maca (<i>Lepidium meyenii</i>)
AUTOR O AUTORES:	Julio César Montalvo Boada
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Carlota Martina Moreno Guerrero
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Alimentos
RESUMEN:	La maca (<i>Lepidium meyenii</i>) es una raíz tuberosa que se cultiva en las zonas altoandinas y es considerada como un super alimento por su elevado valor nutricional, propiedades antioxidantes y actividad biológica. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades funcionales y el potencial antioxidante de harina de maca. El estudio se realizó con harina de tres ecotipos de maca y una mezcla de las harinas. Se evaluaron las propiedades funcionales: densidad aparente -DA-, capacidad de hinchamiento -CH-, capacidad de absorción de agua -CAA-, capacidad de absorción de aceite -CAAC-, capacidad

	<p>de formación de emulsión -CEM-, estabilidad de emulsión -EEM-, capacidad de formación de espuma -CFE-, estabilidad de espuma -EE- y temperatura de gelatinización -TG-. En el potencial antioxidante se determinó licopeno total -LC-, carotenoides totales -CT-, fenoles totales -FT-, antocianinas totales -AT- y capacidad antioxidante total -CA-. La harina de maca amarilla presentó mayor CH, CAA y DA. Mientras que la harina de la mezcla tuvo mayor CAAC, CFE y EE. Por otro lado, la harina de maca roja tuvo mayor CEM y TG, pero fue menos estable (EEM) que la harina de la maca negra. La harina de la mezcla presentó mayores valores de LC, FT y CA. En tanto que el contenido de AT y CT fue mayor en la harina de maca roja. Se evidenció una correlación significativa entre el contenido de LC, CT y FT con la capacidad antioxidante. Las harinas de maca de los ecotipos evaluados presentaron excelentes características funcionales y antioxidantes para su uso en la industria alimentaria.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>compuestos antioxidantes, capacidad antioxidante, raíz tuberosa, correlación</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>Maca (<i>Lepidium meyenii</i>) is a tuberous root that is grown in the high Andean areas and is considered a superfood for its high nutritional value, antioxidant properties and biological activity. The objective of this research was to determine the functional properties and antioxidant potential of the flour of three maca ecotypes and a mixture of the flours. The functional properties were evaluated: apparent density-DA-, swelling capacity-CH-, water absorption capacity-CAA-, oil absorption capacity-CAAC-, emulsion-forming capacity-CEM-, emulsion stability- EEM-, foamability-CFE-, foam stability-EE- and gelatinization temperature-TG-. In the antioxidant potential, total lycopene-LC-, total carotenoids-CT-, total phenols-FT-, total anthocyanins-AT- and total antioxidant capacity-CA- were determined. Yellow maca flour presented higher CH, CAA and DA. While the flour of the mixture had higher CAAC, CFE and EE. On the other hand, the red maca</p>

	flour had higher CEM and TG, but was less stable (SEM) than the black maca flour. The flour of the mixture presented higher values of LC, FT and CA. While the content of AT and CT was higher in red maca flour. A significant correlation between LC, CT and FT content with antioxidant capacity was shown. The maca flour of the evaluated ecotypes presented excellent functional and antioxidant characteristics for use in the food industry.
KEYWORDS	antioxidant compounds, antioxidant capacity, tuberous root, correlation

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

Montalvo Boada Julio César

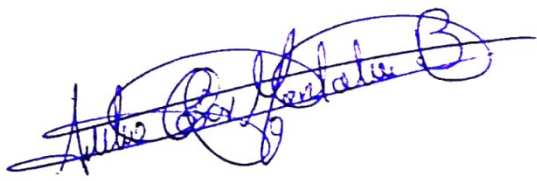
1718317546

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Montalvo Boada Julio César**, CI 1718317546 autor/a del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y POTENCIAL ANTIOXIDANTES DE HARINA DE MACA (*Lepidium meyenii*)** previo a la obtención del título de **Ingeniero de Alimentos** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 31 de mayo de 2021

f: 

MONTALVO BOADA JULIO CÉSAR
C.I. 1718317546

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutora de tesis de grado, certifico que el presente trabajo que lleva por título **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y POTENCIAL ANTIOXIDANTES DE HARINA DE MACA (*Lepidium meyenii*)** para aspirar al título de **Ingeniero de Alimentos** fue desarrollado por **Montalvo Boada Julio César** bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.



Ing. Carlota Moreno Guerrero

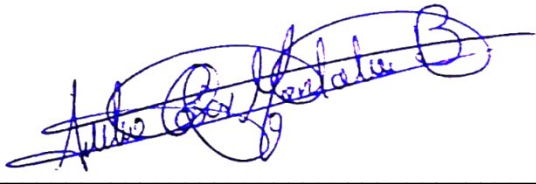
DIRECTORA DEL TRABAJO

C.I. 1713755336

DECLARACION JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo, Montalvo Boada Julio César, portador de la cédula de identidad N° 1718317546, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en ese documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f: 

MONTALVO BOADA JULIO CÉSAR

C.I. 1718317546



CERTIFICACIÓN

Quito, DM., 22 de marzo del 2021

Por medio de la presente, certifico que el señor **Julio César Montalvo Boada** con cédula de identidad 1718317546, estudiante de la carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad UTE, realizó el trabajo de titulación "**Determinación de las propiedades funcionales y el potencial antioxidante de harina de maca (*Lepidium meyenii*)**", por requerimientos y con el apoyo de la entrega de materia prima desde la empresa.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad. El interesado puede hacer uso de la presente certificación en la forma legal que estimare conveniente.

Atentamente,

Ing. Yolanda Vargas
Gerente General
CHURATA SUPER FOODS



RUC: 1725870727001



0226933792
0993553270 / 0981300312



churataorganic@gmail.com



www.churatasuperfoods.com



La Victoria Quito - Ecuador

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA	5
2.1. MATERIAL VEGETAL	5
2.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES	5
2.2.1. CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH)	5
2.2.2. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA)	6
2.2.3. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE ACEITE (CAAC)	6
2.2.4. CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE EMULSIÓN (CEM) Y ESTABILIDAD DE EMULSIÓN (EM)	6
2.2.5. CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA (CFE) Y ESTABILIDAD DE ESPUMA (EE)	7
2.2.6. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)	7
2.2.7. DENSIDAD APARENTE (DA)	7
2.3. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ANTIOXIDANTE	8
2.3.1. LICOPENO (LC)	8
2.3.2. CAROTENOIDES TOTALES (CT)	8
2.3.3. FENOLES TOTALES (FT)	9
2.3.4. ANTOCIANINAS TOTALES (AT)	9
2.3.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)	10
2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	10
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1. PROPIEDADES FUNCIONALES	12
3.1.1. CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH), CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA) Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (CAAC)	12
3.1.2. CAPACIDAD DE EMULSIÓN (CEM) Y ESTABILIDAD DE EMULSIÓN (EEM)	14
3.1.3. CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA (CFE) Y ESTABILIDAD DE ESPUMA (EE)	14
3.1.4. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)	16
3.1.5. DENSIDAD APARENTE (DA)	18
3.2. POTENCIAL ANTIOXIDANTE	18
3.2.1. CONTENIDO DE LICOPENO	18
3.2.2. CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES	19
3.2.3. CONTENIDO DE FENOLES TOTALES	20
3.2.4. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES	20
3.2.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	20

	PÁGINA
3.3. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES Y LA CAPACIDAD ANTOXIDANTE	22
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
4.1. CONCLUSIONES	23
4.2. RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.	Temperatura de gelatinización de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	16
Tabla 2.	Densidad aparente de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	18
Tabla 3.	Análisis de correlación bivariada entre el contenido de compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante de harina de maca	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Capacidad de hinchamiento (a), capacidad de absorción de agua (b) y capacidad de absorción de aceite (c) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	13
Figura 2. Capacidad de emulsión (a), Estabilidad de la emulsión (b), Capacidad de formación de espuma (c) y Estabilidad de espuma (d) harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	15
Figura 3. Contenido de licopeno (a) y Carotenoides totales (b) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	19
Figura 4. Contenido de Fenoles Totales (a), Antocianinas Totales (b) y Capacidad Antioxidante (c) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla	21

RESUMEN

La maca (*Lepidium meyenii*) es una raíz tuberosa que se cultiva en las zonas altoandinas y es considerada como un super alimento por su elevado valor nutricional, propiedades antioxidantes y actividad biológica. El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades funcionales y el potencial antioxidante de harina de maca. El estudio se realizó con harina de tres ecotipos de maca y una mezcla de las harinas. Se evaluaron las propiedades funcionales: densidad aparente-DA-, capacidad de hinchamiento-CH-, capacidad de absorción de agua-CAA-, capacidad de absorción de aceite-CAAC-, capacidad de formación de emulsión-CEM-, estabilidad de emulsión-EEM-, capacidad de formación de espuma-CFE-, estabilidad de espuma-EE- y temperatura de gelatinización-TG-. En el potencial antioxidante se determinó licopeno total-LC-, carotenoides totales-CT-, fenoles totales-FT-, antocianinas totales-AT- y capacidad antioxidante total-CA-. La harina de maca amarilla presentó mayor CH, CAA y DA. Mientras que la harina de la mezcla tuvo mayor CAAC, CFE y EE. Por otro lado, la harina de maca roja tuvo mayor CEM y TG, pero fue menos estable (EEM) que la harina de la maca negra. La harina de la mezcla presentó mayores valores de LC, FT y CA. En tanto que el contenido de AT y CT fue mayor en la harina de maca roja. Se evidenció una correlación significativa entre el contenido de LC, CT y FT con la capacidad antioxidante. Las harinas de maca de los ecotipos evaluados presentaron excelentes características funcionales y antioxidantes para su uso en la industria alimentaria.

Palabras Clave: compuestos antioxidantes, capacidad antioxidante, raíz tuberosa, correlación

ABSTRACT

Maca (*Lepidium meyenii*) is a tuberous root that is grown in the high Andean areas and is considered a superfood for its high nutritional value, antioxidant properties and biological activity. The objective of this research was to determine the functional properties and antioxidant potential of the flour of three maca ecotypes and a mixture of the flours. The functional properties were evaluated: apparent density-DE-, swelling capacity-CH-, water absorption capacity-CAA-, oil absorption capacity-CAAC-, emulsion-forming capacity-CEM-, emulsion stability- EEM-, foamability-CFE-, foam stability-EE- and gelatinization temperature-TG-. In the antioxidant potential, total lycopene-LC-, total carotenoids-CT-, total phenols-FT-, total anthocyanins-AT- and total antioxidant capacity-CA- were determined. Yellow maca flour presented higher CH, CAA and DA. While the flour of the mixture had higher CAAC, CFE and EE. On the other hand, the red maca flour had higher CEM and TG, but was less stable (SEM) than the black maca flour. The flour of the mixture presented higher values of LC, FT and CA. While the content of AT and CT was higher in red maca flour. A significant correlation between LC, CT and FT content with antioxidant capacity was shown. The maca flour of the evaluated ecotypes presented excellent functional and antioxidant characteristics for use in the food industry.

Keywords: antioxidant compounds, antioxidant capacity, tuberous root, correlation

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La maca (*Lepidium meyenii*) es una raíz tuberosa que forma parte de la familia Brassicaceae y se desarrolla en las zonas altoandinas, entre los 3700 y 4500 msnm (Sifuentes et al., 2015). En Ecuador, la maca es un producto poco conocido debido a la escasa participación en el mercado nacional, con centros agronómicos pequeños específicamente localizados en la zona austral de país (Montaño, 2017).

Existen varios ecotipos de maca que se diferencian por su color externo, siendo los más comunes las raíces de color negro, rojo, blanco, amarillo y morado (Alvarado, 2017).

La maca es considerada como un super alimento por su elevado valor nutricional, con alto aporte de proteína entre el 9.6 y 21.9%, carbohidratos entre 46.1 y 74.8% y fibra dietética entre 15.6 al 26% (Rondán y Finardi, 2009; Wang y Zhu, 2019). La maca contiene una extensa variedad de aminoácidos, entre 18 a 19, dependiendo del ecotipo, dentro de los cuales 7 pertenecen al grupo de los aminoácidos esenciales. El carbohidrato que se encuentra en mayor proporción en la maca es el almidón y su contenido varía entre 37-77% (Wang y Zhu, 2019). Entre los principales minerales presentes en la raíz tuberosa, se destacan Fe, Mg, Mn, Cu, Zn, Ca, Na y K (García, 2009). Las principales vitaminas son pro-vitamina A, B1, B2, B6 y vitamina C (Canales, 2000). Chen, Li y Fan (2017) determinaron que las raíces de maca de color negro y rojo aportan mayor contenido de proteína, fibra dietética total y fibra dietética insoluble en comparación con la maca amarilla.

En estudios fitoquímicos han determinado que la raíz de maca presenta varios compuestos antioxidantes como fenoles, glucosinolatos, alcanidas y polisacáridos. Los glucosinolatos o heterósidos sulfocianogénicos son metabolitos secundarios responsables del sabor picante y de gran interés debido a su actividad biológica, en particular por su propiedad anticancerígena, antioxidante y capacidad para combatir patógenos (Korkmaz, 2018; Sifuentes et al., 2015). Las cantidades de las sustancias antioxidantes varían según la composición del suelo, el ecotipo de maca, la época de la cosecha, el proceso de secado y el método de extracción (Korkmaz, 2018). Así, Yabar et al. (2019) determinaron que el contenido de fenoles totales de la maca negra y roja fue mayor que en la maca amarilla, ese mismo comportamiento se observó con su capacidad antioxidante. En otros trabajos, el ecotipo amarillo presentó mayor contenido de compuestos fenólicos que los ecotipos rosado y violeta (Korkmaz, 2018).

Productos andinos ancestrales con alto valor nutricional, propiedades nutraceuticas y actividad biológica como la maca han repuntado su potencial comercial en las últimas décadas, siendo atractivo su consumo en los principales mercados del mundo en un sinnúmero de presentaciones tales como: harina, cápsulas, bocadillos, extractos, entre otras (Alvarado, 2017). La

harina de maca es producto apto para elaborar alimentos para regímenes especiales debido a que en su estructura no contiene gluten, tiene un elevado valor nutricional y alto valor energético. En este sentido, además de las consideraciones nutricionales de la harina se deben considerar sus propiedades funcionales que también contribuyen significativamente a la calidad final de un producto alimenticio procesado (Chandra y Samsheer, 2013). Las propiedades funcionales son las propiedades fisicoquímicas fundamentales que reflejan la compleja interacción entre la composición, estructura, conformación molecular y propiedades fisicoquímicas de los componentes de los alimentos que van a determinar el uso de dicho componente en una formulación (Chandra y Samsheer, 2013). Las propiedades funcionales como capacidad de hidratación, emulsificación, capacidad y estabilidad de formación de espuma, gelificación, absorción de agua y aceite proporcionan información útil sobre la aplicabilidad del uso de una harina en el procesamiento y la calidad final de los productos (Chandra y Samsheer, 2013; Siddiq et al., 2009).

En varios trabajos se ha determinado el potencial antioxidante: capacidad antioxidante (Korkmaz, 2018; Yábar et al., 2019), el contenido de antocianinas y compuestos fenólicos (Yábar et al. 2019); y las propiedades funcionales del almidón de maca: capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y gelatinización (Hidalgo, 2016; Rondán y Finardi, 2009). Sin embargo, no se evidencian estos estudios para harinas de maca negra, roja, amarilla y la mezcla de las tres harinas, por esta razón el objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades funcionales y el potencial antioxidante de harina de maca (*Lepidium meyenii*). Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar los compuestos antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales, carotenoides totales y licopeno) en harina de maca (*Lepidium meyenii*).
- Evaluar las propiedades funcionales de la harina de maca (*Lepidium meyenii*).
- Determinar la capacidad antioxidante total y su correlación con el contenido de compuestos antioxidantes.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIAL VEGETAL

Cuatro tipos de harina de maca: amarilla, roja, negra y una mezcla de las tres, fueron provistas por la empresa Churata Super Foods. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (17°C aproximadamente) en un lugar seco y fresco hasta su posterior análisis.

2.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

Como propiedades funcionales se determinó: densidad aparente (DA), capacidad de hinchamiento (CH), capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de absorción de aceite (CAAC), capacidad de formación de emulsión (CEM), estabilidad de emulsión (EEM), capacidad de formación de espuma (CFE), estabilidad de espuma (EE) y temperatura de gelatinización (TG). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Química Analítica y el laboratorio del Centro de Investigación de Alimentos – CIAL de la Universidad UTE. Los análisis se realizaron por triplicado.

2.2.1 CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH)

En una probeta de 100 ml se colocó harina de maca hasta la marca de 10 ml y se midió la masa (m). Se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 50 ml (V_1). Se cubrió la parte superior de la probeta y se mezcló invirtiendo suavemente. Se dejó en reposo por 2 minutos y se invirtió nuevamente. Luego se dejó reposar durante 8 min y se midió el volumen final ocupado (V_2). La CH se calculó según la ecuación 1 y el resultado se expresó en ml/g muestra (Chandra, Singh y Kumari, 2014).

$$CH = \frac{(V_1 - V_2)}{m} \quad [1]$$

Donde:

CH: Capacidad de hinchamiento (ml/g muestra)

V_1 : Volumen inicial de muestra (ml)

V_2 : Volumen final de muestra (ml)

m: masa de muestra de harina (g)

2.2.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA)

Se determinó mediante el método descrito por Sosulski y Garret (1976) con ligeras modificaciones. En tubo de centrífuga se colocó aproximadamente un gramo de muestra (m_1) y 10 ml de agua destilada, se agitó manualmente, se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 30 min, se centrifugó por 30 min a 3000 rpm. Se retiró el sobrenadante y se registró la masa del pellet hidratado (m_2). La CAA se calculó según la ecuación 2 y resultado se expresó como porcentaje de agua retenida.

$$CAA = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100\% \quad [2]$$

2.2.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (CAAC)

En tubo de centrífuga se colocaron 2 g de muestra (m_1) y se añadieron 12 ml de aceite de soya. Se agitó durante 30 minutos usando una plancha de agitación a temperatura ambiente. Se centrifugó durante 30 minutos a 3000 rpm, se retiró el aceite sobrenadante y se midió la masa del pellet (m_2). La CAAC se calculó según la ecuación 3 y se expresó como porcentaje de aceite retenido (Acuña y Simbaña, 2010).

$$CAAC = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100\% \quad [3]$$

2.2.4 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE EMULSIÓN (CEM) Y ESTABILIDAD DE EMULSIÓN (EM)

En un tubo de centrífuga se pesaron 2.5 g de muestra, se añadió 25 ml de agua destilada y 25 ml de aceite de soya. La mezcla se homogenizó y centrifugó a 2000 rpm durante 5 minutos. La CEM se calculó mediante la relación entre el volumen de la capa de emulsión y el volumen de la mezcla total y se expresó en porcentaje.

Para determinar la EM, la emulsión contenida en el tubo de centrífuga se calentó en un baño térmico a 80 °C durante 30 minutos. Luego se enfrió durante 15 minutos con agua corriente y se centrifugó a 2000 rpm durante 15 minutos. La EM se calculó mediante la relación entre la altura de la capa de emulsión y la altura total de la mezcla. Para el cálculo de CE y EM se empleó la ecuación 4 y el resultado se expresó en porcentaje (Chandra, Singh y Kumari, 2014).

$$CEM \text{ o } EM = \frac{VE_1}{VE_0} \times 100\% \quad [4]$$

Donde:

VE₀: Volumen total de la mezcla (ml)

VE₁: Volumen de la capa de emulsión después de centrifugación (ml)

2.2.5 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA (CFE) Y ESTABILIDAD DE ESPUMA (EE)

La CFE y la EE se determinaron de acuerdo con el método descrito por Chandra, Singh y Kumari (2014). 2 g de muestra se mezclaron con 100 ml de agua destilada (V₀) durante 5 minutos hasta formar espuma. El contenido final se trasvasó a una probeta graduada y se midió el volumen después de 30 segundos (V_f). El resultado se expresó como el incremento de volumen en porcentaje y se calculó mediante la ecuación 5.

Para determinar la EE se midió el volumen en: 1, 5, 30 y 60 minutos (V_f) y se calculó la variación de volumen con respecto al volumen a los 30 segundos (V₀).

$$CFE = \frac{(V_f - V_0)}{V_0} \times 100\% \quad [5]$$

2.2.6 TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)

Se determinó según la metodología propuesta por Grace (1977). Se pesaron 10 g de la muestra y se agregó agua destilada hasta completar 100 ml. La mezcla se calentó en un baño térmico a 85 °C en constante agitación hasta que se observó la formación de una pasta y se registró la temperatura que permaneció estable durante unos segundos.

2.2.7 DENSIDAD APARENTE (DA)

En una probeta de 10 ml se colocaron 5 g muestra y se midió el volumen ocupado (Gujska y Khan, 1990). La densidad aparente se calculó según la ecuación 6.

$$DA = \frac{m}{V} \quad [6]$$

Donde:

DA: densidad aparente (g/ml)

m: masa de harina (g)

V: volumen de harina (ml)

2.3 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ANTIOXIDANTE

El potencial antioxidante se determinó mediante la cuantificación de licopeno, carotenoides totales, fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante total. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.3.1 LICOPENO (LC)

La determinación de licopeno se realizó según el método de Anthon y Barret (2006) con ligeras modificaciones. En un Erlenmeyer se colocaron 0.75 g de muestra, se añadió 3 ml de hexano, 1.5 ml acetona y 1.5 ml de etanol al 96%. Se homogenizó durante 30 segundos y se agitó a 600 rpm durante 30 minutos hasta que el residuo se tornó incoloro. Se adicionó 1 ml de agua destilada, se dejó en reposo durante 5 minutos para permitir la separación de fases, en un tubo de ensayo se tomó 1 ml de la fase suspendida, se añadió 2 ml de hexano, se homogenizó y se midió la absorbancia a 503 nm usando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Evolution 60S, USA). El contenido de licopeno se calculó mediante la ecuación 8 y los resultados se expresaron como μg de licopeno por gramo de materia seca.

$$C = \left(\frac{A_{503}}{\varepsilon} \right) * 0.55 * V * PM * \left(\frac{1}{m} \right) * 10^3 \quad [8]$$

Donde:

C: concentración de licopeno (μg licopeno/g m.s.)

A_{503} : absorbancia a 503 nm

ε : coeficiente de extinción licopeno, $172000 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$

V: volumen de solventes (ml)

PM: peso molecular del licopeno, 537 g/mol

m: masa de la materia seca de la muestra (g)

2.3.2 CAROTENOIDES TOTALES (CT)

Se determinó por espectrofotometría según la metodología descrita por Kotíková, et al. (2011) con ligeras modificaciones. Para obtener los extractos se pesó 5 g muestra y se añadieron 30 ml de acetona al 80%. La mezcla se mantuvo en agitación constante y en oscuridad durante 48 horas. Posteriormente se separó el sobrenadante y en este se midió la absorbancia a 662, 645 y 470 nm. El contenido de carotenoides se calculó mediante las ecuaciones 9, 10 y 11, los resultados se expresaron como μg de carotenoides/g materia seca.

$$Ca = (11,75 \times A_{662}) - (2,35 \times A_{645}) \quad [9]$$

$$Cb = (11,75 \times A_{645}) - (2,35 \times A_{662}) \quad [10]$$

$$C_{x+c} = \frac{[(1000 \times A_{470}) - (2,35 \times C_a) - 81,4 \times C_b] * V}{227 * m} \quad [11]$$

Donde:

Ca: contenido de clorofila a

Cb: contenido de clorofila b

C_{x+c} : contenido de carotenoides totales (μg carotenoides/g m.s.)

V: volumen de acetona (ml)

m: masa de la materia seca de la muestra (g)

2.3.3 FENOLES TOTALES (FT)

Preparación de extractos etanólicos.- En tubos de centrífuga se pesó 0.7 g de muestra, se añadió 10 mL de etanol al 96 %. Se agitó durante 15 minutos en oscuridad y se centrifugó a 6000 rpm a 4 °C por 15 minutos. Se separó el sobrenadante y se almacenó en refrigeración en frascos ámbar hasta su posterior análisis.

El contenido de FT se determinó según el método descrito por Škerget, et al. (2005). Se colocó en tubos de ensayo volúmenes de 60 μL de extracto de harina de maca roja y negra, 70 μl de extracto de maca amarilla y 30 μl de extracto de la mezcla de las 3 harinas. En cada caso se añadió agua bidestilada para completar 1000 μL , 100 μL de la solución Folin-Ciocalteu (1:1), se homogenizó mezcla en un vórtex, se dejó en reposo por 3 minutos y se adicionó 250 μL de Na_2CO_3 20 % p/v en NaOH 0.1 N. Se dejó en reposo a temperatura ambiente en oscuridad durante 1 hora. Posteriormente se midió la absorbancia a 760 nm usando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Evolution 60S).

Se realizó una curva de calibración con ácido gálico y los resultados se expresaron como microgramo de ácido gálico equivalente por gramo de materia seca (μg AGE/g m.s.).

2.3.4 ANTOCIANINAS TOTALES (AT)

Se determinó mediante el método propuesto por Beas et al. (2011) con ligeros cambios. En un tubo de centrífuga se mezcló 1 g de harina de maca con 10 ml de una solución de metanol-HCl 1%, se agitó durante 15 min a 4 °C,

posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 15 minutos a 4 °C. Se separó el sobrenadante y se midió la absorbancia a 525 nm en un espectrofotómetro Thermo Scientific Evolution 60S. El contenido de AT se calculó usando la ecuación 12 y se expresó como microgramos equivalentes de cianidina 3-glucósido por gramo de materia seca ($\mu\text{g Eq. Cianidina-3-glucósido/g m.s.}$).

$$C = \left(\frac{A}{\epsilon}\right) * V * PM * \left(\frac{1}{m}\right) * 10^3 \quad [12]$$

Donde:

C: Concentración de AT ($\mu\text{g eq. cianidina 3-glucósido/g m.s.}$)

A: Absorbancia

ϵ : Absortividad molar de la cinidina-3-glicósido ($25955 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$)

V: Volumen total del extracto de antocianinas (mL)

PM: Peso molecular cianidina-3-glicósido (449 g/mol)

m: masa de la materia seca de la muestra (g)

2.3.5 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)

La CA se determinó en extractos etanólicos por el método espectrofotométrico basado en la decoloración del radical estable ABTS*+ (Tierno et al., 2016). En tubos de ensayo se colocaron 50 μL de extracto de harina de maca negra o roja, 70 μL de extracto de harina amarilla y 30 μL de extracto de la mezcla. En cada caso se completó un volumen de 100 μl con etanol 96% y se homogenizó. Luego se añadieron 1000 μL de solución de ABTS, se homogenizó la mezcla en un vórtex y se dejó reposar durante 30 minutos en oscuridad, a temperatura ambiente. Finalmente se midió la absorbancia a 734 nm.

Se preparó una curva de calibración usando trolox como antioxidante sintético de referencia. Los resultados se expresaron en μg de trolox equivalente por gramo de materia seca ($\mu\text{g TE/g m.s.}$).

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de datos se realizó con un diseño completamente al azar con un solo factor DCA, la variable independiente fue el tipo de harina de maca (amarilla, negra, la roja y la mezcla) y las variables de respuesta fueron las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, capacidad de emulsión, estabilidad de emulsión, capacidad de formación de espuma, temperatura de gelatinización y densidad aparente), contenido de compuestos antioxidantes

(licopeno, carotenoides totales, fenoles totales y antocianinas totales) y capacidad antioxidante. Para el análisis estadístico de la estabilidad de emulsión EE se empleó el diseño factorial axb, para determinar el efecto del tipo de maca (factor A) y el tiempo de análisis (factor B) sobre esta variable de respuesta. En todos los análisis las medias fueron comparadas mediante la prueba Tukey con un nivel de significancia de 0.05. Para evaluar la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido de antioxidantes (licopeno, carotenoides totales, fenoles totales, antocianinas totales) se realizó el análisis de correlación bivariada y se determinó el coeficiente de Pearson. Los resultados se analizaron utilizando el paquete informático InfoStat versión estudiantil (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 PROPIEDADES FUNCIONALES

3.1.1 CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH), CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA) Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (CAAC)

En la figura 1 se presentan los resultados de CH, CAAA y CAAC, se puede observar que la harina de maca amarilla presentó el valor más alto para CH (4.95 ml/g), seguido de las harinas de maca negra, roja y mezcla con valores de 4.6, 3.1 y 2,7 ml/g, respectivamente. Los resultados fueron cercanos a los valores de CH determinados en harina de camote, que variaron entre 2.85 y 3.49, la variación en la capacidad de hinchamiento puede deberse a la presencia de un gran número de cristalitos, que aumentan la estabilidad granular, reduciendo así el grado de hinchamiento granular (Ahmed et al., 2010). Los valores de capacidad de hinchamiento se ven afectados por variables como la relación amilosa/amilopectina, grupos fosfatos presentes, características moleculares en la amilosa/ amilopectina referente a peso/ distribución, nivel de ramificación y conformación del almidón que generan mayor separación entre las cadenas cercanas e incrementando la hidratación (Alcázar y Meireles, 2015; Rodríguez et al., 2012; Hoover, 2001).

La CAA de la harina de maca amarilla fue mayor con respecto a las otras muestras aproximadamente el 1.1, 1.3 y 1.5 veces que las harinas negra, roja y mezcla, respectivamente (figura 1b). Lo que sugiere mayor contenido de hidratos de carbono y complejos proteicos en las variedades amarilla y negra que favorecieron la absorción de agua (Tello y Porras, 2018). En este sentido, Barrera y Pérez (2014) determinaron que las variedades de maca amarilla y negra tuvieron mayor contenido de carbohidratos que la variedad roja, mientras que el contenido de proteína las variedades negra y roja fue mayor que en la variedad amarilla.

En la figura 1c, se puede observar que la muestra de mezcla de harina presentó mayor CAAC (93.6%), seguido por las harinas roja, negra y amarilla con valores de CAAC de 91.1, 90.3 y 84.6%, respectivamente. Estos resultados de CAAC se encuentran entre 40 y 118%, valores determinados en almidón nativo y modificado de ñame de agua (Awolu y Olofinlae, 2016). En contraste, en la investigación realizada por Vegas et al. (2017) con harina de Tarwi, se evidenció que la capacidad de absorción de aceite fue superior a los resultados obtenidos (1.18 a 1.30 g aceite/g muestra). Los altos valores presentados por en la harina de Tarwi se debe por su alto contenido de proteína en comparación con el de las variedades de maca estudiadas (Barrera y Pérez, 2014; Vegas et al., 2017) y la posible formación de enlaces de cadenas laterales proteicas, no-polares, cadenas hidrocarbonadas y

enlaces capaces de mantener una red que puede almacenar hasta el doble su peso con una sustancia lipídica en estado líquido (Sgarbieri, 1998). Además, otras variables que pueden influir en la capacidad de absorción de aceite de harinas son: porosidad, humedad, estructura de la superficie y la relación de superficie/peso (Ramírez y Pacheco, 2009).

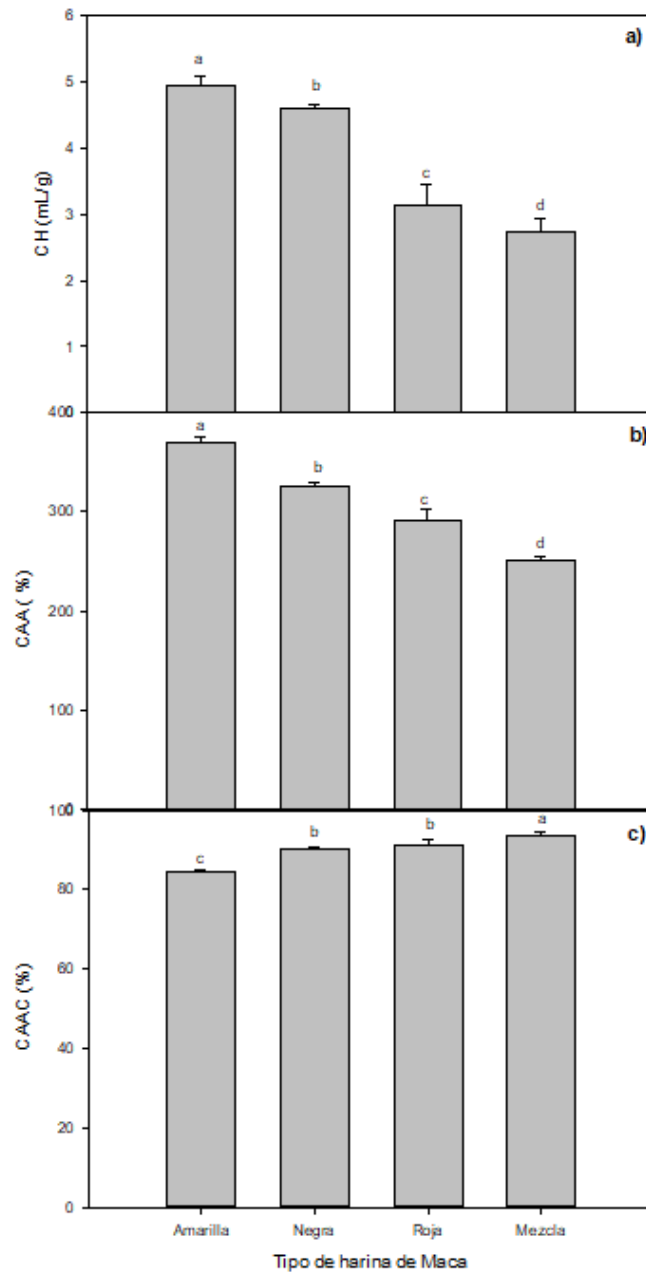


Figura 1. Capacidad de hinchamiento (a), capacidad de absorción de agua (b) y capacidad de absorción de aceite (c) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

*Letras diferentes muestran diferencia significativa ($p < 0.05$)

3.1.2 CAPACIDAD DE EMULSIÓN (CEM) Y ESTABILIDAD DE EMUSIÓN (EEM)

La harina de maca roja presentó mayor capacidad de emulsión 65.7%, seguida por las harinas negra, mezcla y amarilla, cuyos valores de CEM fueron 63.3, 57.1 y 42.8%, respectivamente (Figura 2a). Similares valores de CEM se determinaron en harinas de cuatro cultivares de fréjol seco con cáscara y dos cultivares sin cáscara, los valores de EEM variaron entre 60.54 y 68.57%, siendo los valores mayores para harina de fréjol descascarado (Deshpande et al., 1982). Por otro lado, los resultados fueron menores que la capacidad de emulsión de harina de quinua, 104% (Ogungbenle, 2009).

La harina de maca negra presentó mayor EEM (52%) que las otras harinas cuyos valores de esta propiedad fueron 42.3, 42.8 y 36.9% para harinas roja, mezcla y amarilla, respectivamente, como se puede observar en la figura 2b. Resultados similares se evidenciaron en harina de quinua, cuyo valor de EEM fue 45% (Ogungbenle, 2009). Mientras que en harinas de distintos cultivares de fréjol, los valores de EEM oscilaron entre 85.17 y 97.07% (Deshpande et al., 1982). En el caso de concentrados de soja que su estabilidad varió de 8.4 a 56%. De la misma manera Konishi y Yoshimoto (1989) determinaron que la proteína de amaranto también producía menor estabilidad en la emulsión.

Marcone y Kakuda (1999) establecieron que algunas proteínas pueden presentar mayor capacidad y estabilidad para formar emulsiones que otras, incluso si están cerca de su punto isoeléctrico. Lo que sugiere que la capacidad de emulsión está ligada a su perfil proteico. Deshpande et al., (1982) reportaron que capacidad de emulsión puede verse afectada por el contenido de carbohidratos de las muestras, debido a que los componentes del almidón pueden interactuar con la proteína y otros componentes en el sistema de estudio.

3.1.3 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA (CFE) Y ESTABILIDAD DE ESPUMA (EE)

En la figura 2c, se puede observar que las harinas de maca amarilla y mezcla presentaron mayor capacidad de formación de espuma, 24.34 y 26.37%, respectivamente. Mientras que, para las harinas de maca negra y roja, la CFE fue aproximadamente 20%. Resultados cercanos de CEM fueron reportados para harinas de distintos cultivares de fréjol, los valores oscilaron entre 21 y 33% (Deshpande et al., 1982) y para harina de fréjol caupí descascarado y desengrasado, los valores oscilaron entre 21 y 33% para pH entre 2 y 7 (Khalid, y Elhardallou, 2015). En tanto que en la harina de quinua la CFE fue 9% (Ogungbenle, 2009).

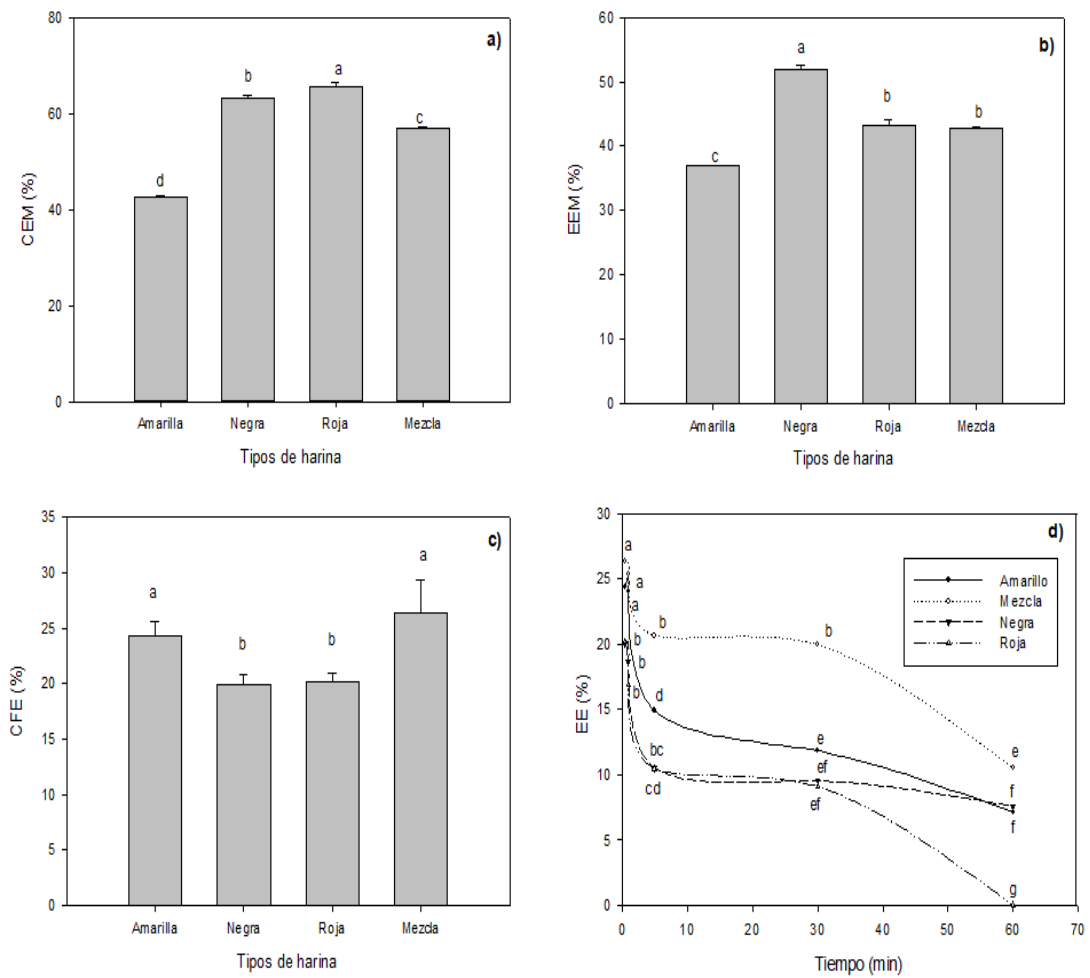


Figura 2. Capacidad de emulsión (a), Estabilidad de la emulsión (b), Capacidad de formación de espuma (c) y Estabilidad de espuma (d) harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

*Letras diferentes muestran diferencia significativa ($p < 0.05$)

En la figura 2d se observa que entre los minutos 1 y 5, el volumen de la espuma se reduce para todas las harinas de maca. Sin embargo, la reducción fue menor para la harina mezcla de 26.4 al 20.6%, mientras que para las otras harinas el volumen de espuma se redujo aproximadamente a la mitad del volumen inicial. Entre los 5 y 30 minutos todas las muestras no presentaron mayores reducciones de volumen, pero a partir de los 30 minutos el volumen de la espuma continuó disminuyendo hasta desaparecer en el caso de la harina de maca roja y llegar a valores de 10.5, 7.5 y 7.1% para las muestras de harina mezcla, negra y amarilla, respectivamente. Para harina de quinua Ogungbenle, (2009) reportó 2% para EE. Valores de EE superiores se reportaron en harina de fréjol con cáscara, entre 16-24%, y harinas de fréjol sin cáscara y desengrasado, entre 11 y 22% (Deshpande et al., 1982).

La diferencia en los valores de la capacidad de formación de espuma y estabilidad de espuma de las harinas puede deberse a la diferencia de la cantidad, tipo de proteínas que contienen las muestras y la capacidad de estas proteínas para desnaturalizar, precipitar y reducir la tensión superficial en la interfase aire-líquido de la espuma. Los factores primarios involucrados en la formación de espuma son la tensión superficial, viscosidad y las características de la película de proteína que se forma en la superficie del líquido. Espumas estables se forman cuando en la superficie de la solución coloidal ocurre baja tensión superficial y alta viscosidad que permite la formación de una capa dura, amorfa y sólida (Deshpande et al., 1982).

3.1.4 TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)

La temperatura de gelatinización fue mayor para la harina de maca roja aproximadamente el 5, 8,3 y 12.3% más alta en comparación con la TG de las harinas de mezcla, negra y amarilla, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperatura de gelatinización de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

Tipo de harina de maca	Temperatura de gelatinización (°C)*
Amarilla	55,47 ± 0,21 ^d
Negra	57,53 ± 0,12 ^c
Roja	62,30 ± 0,20 ^a
Mezcla	59,33 ± 0,12 ^b

*Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (p<0.05)

Lee y Chang (2019) determinaron que la TG de almidón nativo de maca fue de 53.25 °C, cercana a los resultados obtenidos para harina de maca amarilla. Por su parte, Romero et al. (2016), determinaron que la TG para harina de maca comercial seca fue 76.9°C. Mientras que, para almidón de maca, la TG fue 47.7°C (Rondán y Finardi, 2009), valor menor a los resultados determinados en el presente estudio. Además, los valores de TG para las diferentes harinas de maca fueron menores comparados con la TG de yuca (64.8°C), almidón de zanahoria peruana (61.9°C), maíz (66.3°C), camote blanco (70.7°C) (Osundahunsi et al., 2003; Rondán y Finardi, 2009). La menor temperatura de gelatinización de las harinas de maca indica que el inicio de la gelatinización requiere menor energía en las otras matrices, la variación de la energía de gelatinización podría presentar diferencias entre las fuerzas de enlace de la doble hélice que forma la amilopectina, lo que resulta en diferentes alineaciones de los enlaces de hidrógeno dentro de las moléculas de almidón (Rondán y Finardi, 2009).

Además, las diferencias en la temperatura de gelatinización pueden deberse a las diferencias en la concentración de compuestos y/o en las estructuras moleculares del almidón, ya que hay una relación entre altas temperaturas de gelatinización con elevados contenidos de amilosa en comparación con amilopectina (Noda et al., 2002). Además, la arquitectura de las amilopectinas puede jugar un papel importante en este proceso (Osundahunsi et al., 2003).

3.1.5 DENSIDAD APARENTE (DA)

En la tabla 2 se presentan los resultados de densidad aparente, se puede observar que la DA de la harina de maca amarilla fue 0.77 g/ml y fue mayor para las otras harinas, aproximadamente 9.7 en comparación con la harina mezcla y 23.3% para las harinas negra y roja. Condori (2019) presentó resultados menores de DA en polvos extruidos de lenteja, maíz amarillo, quinua roja y kiwichua que variaron entre 0.65 y 0.67 g/ml, en su resultado demostró que la densidad aparente en polvos extruidos se correlaciona con la facilidad de la reconstitución o hidratación, la dispersabilidad y la solubilidad (Condori, 2019).

Tabla 2. Densidad aparente de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

Tipo de harina de maca	Densidad aparente (g/ml)
Amarilla	0.77 ± 0.01 ^a
Negra	0.62 ± 0.00 ^c
Roja	0.62 ± 0.00 ^c
Mezcla	0.70 ± 0.01 ^b

Letras diferentes en una misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$).

Por su parte, Rodríguez et al. (2011) reportó valores de DA de aproximadamente 0.596 g/m para harina de taro y maíz, dicha propiedad está relacionada como un indicador de atributos en productos en polvo, como son: uniformidad, contextura y aspecto, simultáneamente, una alta densidad es sinónimo de una uniforme dispersión en agua (Sharma et al., 2012). Los altos valores obtenidos indican un valioso potencial principalmente de la harina amarilla y mezcla como producto en polvo.

3.2 POTENCIAL ANTIOXIDANTE

3.2.1 CONTENIDO DE LICOPENO

El contenido de licopeno en las harinas de maca osciló entre 7.2 y 14.6 $\mu\text{g/g}$ m.s. La mezcla de harinas presentó mayor concentración de licopeno, aproximadamente 2, 1.9 y 1.7 veces con relación a las harinas de maca negra roja y amarilla, respectivamente (Figura 3.a). El contenido de licopeno pudo variar debido a las condiciones de siembra, grado de madurez, ecotipo y variables en el procesamiento de la harina de maca (Sgherri et al., 2015).

3.2.2 CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES

Las harinas de maca roja y amarilla tuvieron mayor concentración de carotenoides 3.3 y 3.1 $\mu\text{g/g}$ m.s en comparación con las muestras de harina de maca negra y la mezcla que presentaron 2.8 y 2.6 μg carotenoides /g m.s., como se puede observar en la figura 3.b. Estos resultados fueron superiores a 0.02 μg carotenoides/g, valor determinado en infusión de polvo de maca (Berlowski et al.,2013). Esto puede deberse a que los pigmentos de color característicos de cada ecotipo de maca están presentes solo en la fina capa externa de las raíces tuberosas excepto en la maca amarilla donde este color también está presente en la parte interna, mientras que todos los demás ecotipos son blancos por dentro. El color amarillo puede asociarse con pigmentos de carotenoides o productos intermedios de la biosíntesis de antocianinas (Berlowski et al., 2013; Clement et al., 2010).

Burmeister et al. (2011) determinaron que en muestras frescas de variedades de papa de piel coloreada (negra, amarilla y roja) y pulpa amarilla el contenido de carotenoides varió entre 2.57 y 14.77 $\mu\text{g/g}$ m.s. siendo mayor la concentración de carotenoides en las variedades de piel roja y amarilla. Mientras que en un estudio realizado en camote de pulpa naranja, amarilla, púrpura y blanca se determinó que el contenido total de carotenoides fue de 389.2, 138.9, 116.3 y 115.2 $\mu\text{g/g}$ m.s., respectivamente (Kammona et al., 2015). En este caso, al igual que en otros estudios se demostró que variedades de tubérculos de color naranja presentaron mayor contenido de carotenoides (Pfander, 1992; Tomlins et al., 2012).

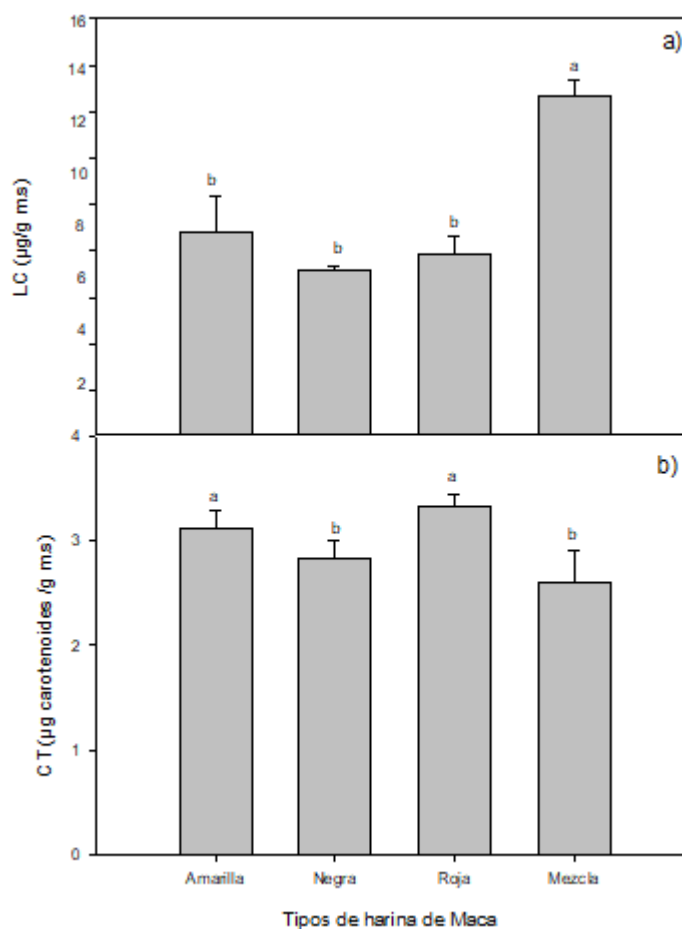


Figura 3. Contenido de licopeno (a) y Carotenoides totales (b) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

*Letras diferentes en una misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

3.2.3 CONTENIDO DE FENOLES TOTALES

En la figura 4.a se puede observar que la mezcla de harinas tuvo mayor cantidad de fenoles totales, $148.6 \mu\text{g AGE/g m.s.}$ y presentó 1.6, 1.5 y 1.2 veces el contenido de FT que en las harinas negra, roja y amarilla, respectivamente. Valores mayores de FT fueron reportados por Yábar et al. (2019), $415, 365$ y $349 \mu\text{g AGE/g m.s.}$ para los ecotipos rojo, negro y amarillo, respectivamente, secados de forma natural durante 90 días a temperaturas que estuvieron comprendidas entre -10 a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ y de 70-95% de HR. Los autores además determinaron que el contenido de fenoles totales se incrementó gradualmente en los tres ecotipos durante el tiempo de secado. Este comportamiento podría deberse a la liberación de grupos hidroxilo en la hidrólisis de flavonoides glicosilados y la liberación de compuestos fenólicos complejos presentes en las paredes celulares (Ordóñez-Santos et al., 2009).

Además, se debe considerar el efecto que generan los procesos a los cuales el producto es expuesto, que podrían causar una alteración del contenido de compuestos antioxidantes (Tiwari y Cummins, 2013; Tao et al., 2019).

De igual forma, los resultados presentados en otras investigaciones apuntan que variedades negras y rojas presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos (Korkmaz, 2018).

3.2.4 CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES

La harina de maca roja presentó mayor cantidad de antocianinas totales, 126.4 μg eq. cianidina 3-glucósido/g m.s. y en comparación con las otras harinas, su contenido de AT fue 1.3, 4.3 y 4.8 veces que para las harinas mezcla, negra y amarilla, respectivamente (Figura 4b). Yábar et al. (2019), reportaron que la variedad de maca roja presentó un contenido de AT de aproximadamente 290 μg eq. cianidina 3-glucósido/g m.s. Este contenido es inferior a los resultados en otros tubérculos, como papas coloreadas que presentaron mayor contenido de antocianinas, entre 380 y 970 μg eq. cianidina 3-glucósido/g m.s. (Nemés et al., 2014; Gutiérrez et al., 2018). Esto puede deberse a que las antocianinas se encuentran de forma significativa en la cáscara (Campos et al., 2006; Chirinos et al., 2009). Asimismo, Albishi et al., (2013) y Lewis et al., (1998) reportaron que las variedades de tubérculos morados contienen más antocianinas que las variedades rojas y amarillas.

3.2.5 CAPACIDAD ANTOXIDANTE

En la figura 4c, se puede observar que la harina de la mezcla de los tres ecotipos de maca presentó mayor capacidad antioxidante, 78 μg TE/g m.s., que las otras harinas, siendo aproximadamente el 30, 34 y 45% mayor que para las harinas de maca roja, negra y amarilla, respectivamente. En este sentido, Yábar et al. (2019) reportaron que la capacidad antioxidante de diferentes ecotipos fue de 25,8, 25,3 y 23.8 μmol ET/ g m.s. para muestras de maca roja, amarilla y negra respectivamente. De igual forma diversos autores mencionan que variedades de tubérculos coloreados poseen una mayor capacidad antioxidante (Carrión et al., 2009; Campos et al., 2016), así, Valcarcel et al. (2015) reportaron mayor capacidad antioxidante en variedades de papa con colores intensos, relacionando a su vez con la presencia de compuestos con capacidad antioxidante como los polifenoles. Las cantidades de las sustancias antioxidantes varían según la composición del suelo, el ecotipo de maca, la época de la cosecha, el proceso de secado y el método de extracción (Korkmaz, 2018). Compuestos como glucosionatos, alcaloides y polisacáridos aumentan la capacidad antioxidante indistintamente del color de la variedad (Korkmaz, 2018). Según Sifuentes et al. (2015) los polisacáridos

presentes en la maca poseen capacidad antioxidante significativa para eliminar radicales libre (Dean et al., 1993; Yao et al., 2012).

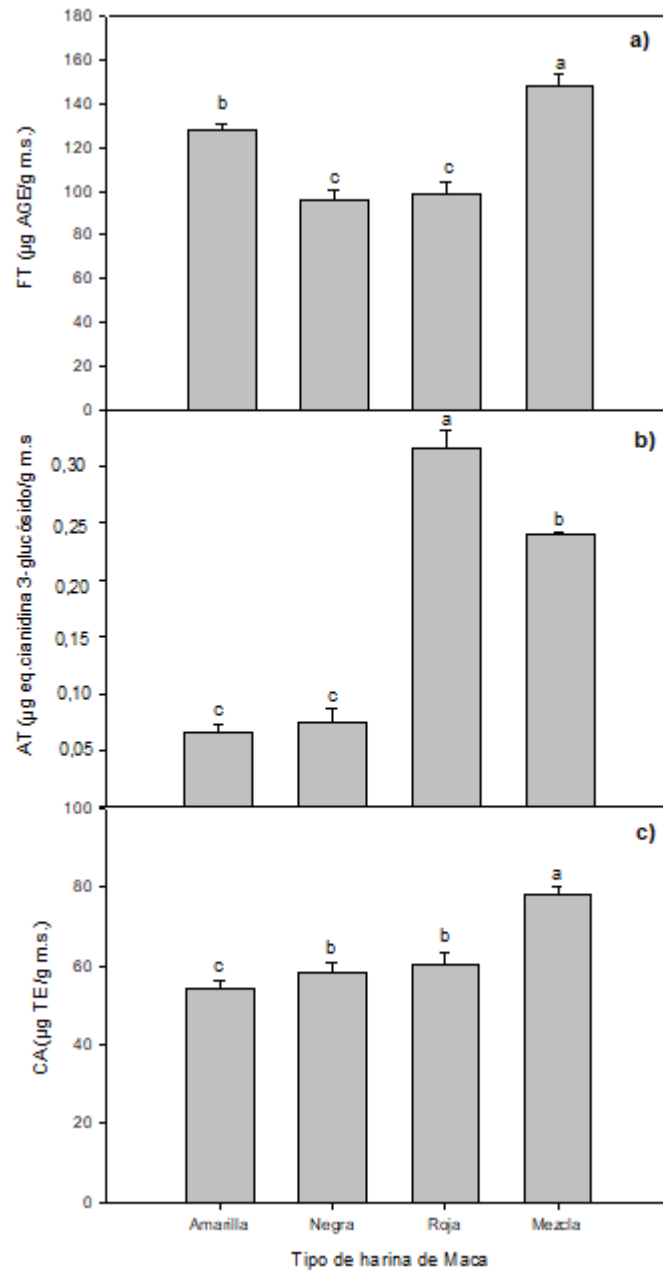


Figura 4. Contenido de Fenoles Totales (a), Antocianinas Totales (b) y Capacidad Antioxidante (c) de harina de maca amarilla, negra, roja y mezcla

*Letras diferentes muestran diferencia significativa ($p < 0.05$)

3.3 CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES Y LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

En el análisis de correlación de los compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante CA, se determinó una correlación fuerte entre licopeno total (LC) y CA, correlación media positiva entre CT y FT con la CA. Estos resultados sugieren que la actividad antioxidante en las harinas está relacionada al contenido de licopeno, carotenoides y fenoles totales. Similares resultados se obtuvieron para variedades de papa de pulpa roja y morada, donde la CA y el contenido de FT presentaron correlaciones altamente positivas (Reyes et al., 2005). Asimismo, Kuskoki et al. (2004), Muñoz et al. (2007) y Casteñada et al. (2008) reportaron que los compuestos fenólicos son los principales contribuyentes a la capacidad antioxidante de productos frutihortícolas en comparación con otros antioxidantes. Por otro lado, Tian et al. (2016) determinaron que el contenido de antocianinas totales AT estaba pobremente correlacionado con la CA en papas de pulpa púrpura, resultados que concuerdan con los encontrados en el presente estudio.

Tabla 3. Análisis de correlación bivariada entre el contenido de compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante de harina de maca

		Licopeno	Carotenoides	Fenoles totales	Antocianinas totales	Capacidad antioxidante
Licopeno	Correlación de Pearson		-0,6298	0.847*	0.320	0.879*
	Sig. (bilateral)		0.0282	0.001	0.311	0.000
Carotenoides	Correlación de Pearson	-0.630		-0.480	0.182	-0.617*
	Sig. (bilateral)	0.028		0.114	0.571	0.033
Fenoles totales	Correlación de Pearson	0,47*	-0.480		0.039	0,656*
	Sig. (bilateral)	0.001	0.114		0.904	0.021
Antocianinas totales	Correlación de Pearson	0.320	0.182	0.039		0.512
	Sig. (bilateral)	0.311	0.571	0.904		0.089
Capacidad antioxidante	Correlación de Pearson	0.879*	-0.617*	0.656*	0.512	
	Sig. (bilateral)	0.000	0.033	0.021	0.089	

* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En las propiedades funcionales, la harina de maca amarilla presentó mayor capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y densidad aparente. Mientras que la harina de la mezcla tuvo mayor capacidad de absorción de aceite, capacidad de formación de espuma y estabilidad espuma. Por otro lado, la harina de maca roja tuvo mayor capacidad de emulsión y temperatura de gelatinización, pero presentó menor estabilidad de emulsión que la harina de la maca negra.
- En el potencial antioxidante, la harina de la mezcla presentó mayores valores de licopeno total, fenoles totales y capacidad antioxidante. Mientras que el contenido de antocianinas y carotenoides totales fue mayor en la harina de maca roja.
- Se evidenció una correlación significativa entre el contenido de licopeno, carotenoides y fenoles totales con la capacidad antioxidante.
- La harina de maca de los ecotipos evaluados presentó excelentes características funcionales y antioxidantes para su uso en la industria alimentaria.

4.2. RECOMENDACIONES

- Determinar el efecto del pH sobre las propiedades funcionales de las harinas de maca.
- Analizar los compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y su bioaccesibilidad antes y después del proceso de secado.
- Evaluar el efecto del pH sobre las propiedades funcionales de la harina de diferentes ecotipos de maca.
- Evaluar diferentes procesos de secado su influencia sobre el potencial antioxidante de las harinas de maca.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, M., Akter, M. y Eun, J. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food Chemistry*, 121(1), 112–118.
- Albishi, T., John, J., Al-Khalifa, A. y Shahidi, F. (2013). Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by products. *Journal of functional foods*, 5(2), 590-600.
- Alcázar, S. y Meireles, M. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(2), 215–236.
- Alvarado, L. (2017). Proyecto de exportación de cápsulas de maca (*Lepidium meyenii*) hacia los Estados Unidos de América, de la empresa Solutus S.A. – Ecuador (Tesis de Posgrado, UIDE). <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2339/1/T-UIDE-1673.pdf>
- Awolu, O. y Olofinlae, S. (2016). Physico-chemical, functional and pasting properties of native and chemically modified water yam (*Dioscorea alata*) starch and production of water yam starch-based yoghurt. *Starch - Stärke*, 68(7-8), 719–726.
- Barrera, G., y Perez, P. (2014). Formulación de una mezcla proteica a base de maca (*Lepidium peruvianum Chacón*), oca (*Oxalis tuberosa*), quinua (*Chenopodium quinoa*), y tocosh por el método de extrusión (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3062/Barrera%20Condor-Perez%20Condor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beas, R., Loarca, G., Horacio, S., Rodríguez, N., Vasco, N. y Guevara, F. (2011). Potencial nutraceutico de componentes bioactivos en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(2), 36-44.
- Berlowski, A., Zawada, K., Wawer, I. y Paradowska, K. (2013). Antioxidant properties of medicinal plants from Peru. *Food Nutr. Sci.* 4, 71-77.
- Burmeister, A., Bondiek, S., Apel, L., Kühne, C., Hillebrand, S. Fleischmann, P. (2011). Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 865-87

- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W. y Cisneros, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz and Pavón*), oca (*Oxalis tuberosa Molina*) and ullucu (*Ullucus tuberosum*). *Journal of the Science of Food and Agricultural* 86(10), 1481-1488.
- Canales, M., Aguilar, J., Prada, A., Marcelo, A., Huamán, C. y Carbajal, L. (2000). Evaluación nutricional de *Lepidium meyenii* (MACA) en ratones albinos y su descendencia. *ALAN*, 50(2), 2-15.
- Carión, J., León, K. y 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
- 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.
- Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R. y Campos, D. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa Mol.*) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry* 113(4): 1243-1251.
- Clement, C., Diazgrados, D., Avula, B., Khan, I., Mayer, A., Aguirre, D., Manrique, I. y Kreuzer, M. (2010). Influence of colour type and previous cultivation on secondary metabolites in hypocotyls and leaves of maca (*Lepidium meyenii Walpers*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 861-869.
- Condori, J. (2019). Desarrollo de una mezcla instantánea proteica a partir de maíz amarillo (*Zea mays indurata St.*), quinua roja (*Chenopodium quinoa Willd*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y lenteja (*Lens culinaris*) (Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión). https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2034/Jackeline_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dean, R., Gieseg, S. y Davies, M. (1993). Reactive species and their accumulation on radical damaged proteins. *Trends in Biochemical Science*, 18: 437–441
- Deshpande, S., Sathe, S., Comforth, D., Salunkhe. D. (1982). Effects of dehulling on functional properties of dry bean (*Phaseolus vulgaris. L.*) flours. *Cereal Chem.* 59: 396-401.

- Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
- Gujska, E. y Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55(2), 466-469.
- Gutiérrez, L., Vuorinen, A., Kallio, H. y Yang, B. (2018). Improved analysis of anthocyanins and vitamin C in blue-purple potato cultivars. *Food Chemistry*, 242: 217–224.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.*, 45: 253-567
- Kammona, S., Othman, R., Jaswir, I. y Jamal, P. (2015). Characterisation of carotenoid content in diverse local sweet potato (*Ipomea batatas*) flesh tubers. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(2), 347-351.
- Khalid, I. y Elhardallou, S. (2015). The Effect of pH on Foaming Properties of Cowpea (*Vigna unguiculata L.walp*) Flour and Protein Isolates. *Journal & Food Science*, 5(4): 385.
- Konishi, Y. y Yoshimoto, H. (1989). Amaranth globulins as a heat-stable emulsifying. *Agricultural Biology Chemistry*, 53, 3327–3328.
- Korkmaz, S. (2018). Antioxidants in Maca (*Lepidium meyenii*) as a Supplement in Nutrition. *Antioxidants in Foods and Its Applications*. doi:10.5772/intechopen.75582
- Lee, Y. y Chang, Y. (2019). Structural and in vitro digestibility properties of esterified maca starch with citric acid and its application as an oil-in-water (O/W) pickering emulsion stabilizer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 798 - 806. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.05.081
- Lewis, C., Walker, J., Lancaster, J. y Sutton, K. (1998). Determination of Anthocyanins, Flavonoids and Phenolic Acids in Potatos. I: Coloured Cultivars of *Solanum tuberosum L.* *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 45-57.
- Marcone, M. F. y Kakuda, Y. (1999). A comparative study of the functional properties of amaranth and soybean globulin isolates. *Nahrung-Food*, 43, 368–373.

- Muñoz, A., Ramos, F., Alvarado, C. y Castañeda B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 73(3), 142-149.
- Nemš, A., Pęksa, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Kita, A., Drożdż, W. y Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172(2015), 175-182.
- Noda T, Kimura T, Otani M, Ideta O, Shimada T, Saito A, et al. (2002). Physicochemical properties of amylose-free starch from transgenic seet potato. *Carbohydr Polym*, 49: 253-260.
- Ogungbenle, H. (2003) Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(2), 153-158.
- Ordóñez, L., Vázquez, L., Arbones, E., Romero, A. (2009). The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. *Food Chemistry* 112(1): 146-149.
- Pfander, H. (1992). Carotenoids: an overview. *Methods Enzymol*; 213: 3-13.
- Ramírez, A. y Pacheco de Delahaye, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4), 293-298.
- Reyes, LF., Miller, JC., Cisneros-Zevallos, L. (2005). Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple and red fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Am J Potato Res* 82:271–277.
- Rodríguez, E., Lascano, A. y Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15 (1): 199 – 207.
- Rodríguez, J., Ruiz, I., Herman, E., Martínez, C., Delgado, E. y Vivar, M. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT. Food Science and Technology*, 44(3), 673–680.
- Romero, V., Tirado, A., Durán, M y Dávalos, J. (2016). Propiedades energéticas de la harina de maca (*Lepidium peruvianum Chacón* o *Lepidium meyenii Walpers*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 38-48.

- Rondán, G. y Finardi, F. (2009). Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii Walpers*). *Food Chemistry*, 114(2), 492-498.
- Sgarbieri, V. C. (1998). Propriedades funcionais de proteínas em alimentos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(1), 105-126.
- Sgherri, C., Pérez, U. y Pinzino, C. (2015). Antioxidant properties of food products containing lycopene are increased by the presence of Chlorophyll. En J. Bailey (Ed.). *Lycopene. Food sources, potential role in human health and antioxidants effects* (pp. 39-89). Nova Science Publishers
- Sharma, A., Jana, A. y Chavan, R. (2012). Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 518–528.
- Sifuentes, G., León, S. y Paucar, L. (2015). Estudio de la Maca (*Lepidium meyenii Walp.*): cultivo andino con propiedades terapéuticas. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 131-140.
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Rizner Hraš, A., Simonic, M. y Knez, Z. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 89(2), 191–198.
- Sosulski, F. y Garret, M. (1976). Functional properties of ten legume flours. *Food Sci. Technol*, 9(2), 66-69.
- Tao, Y., Han, M., Gao, X., Han, Y., Show, P., Liu, Ch., Ye, X. y Xie, G. (2019). Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*.
- Tello Saavedra, R., & Porras Osorio, M. A. L. (2018). Influencia de tres ecotipos en la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de harina instantánea de maca (*Lepidium meyenii walp*). *Prospectiva Universitaria*, 15(1), 69-77. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2018.15.856>
- Tierno, R., López, A., Riga, P., Arazuri, S., Jarén C., Benedicto, L. y Ruiz de Galarreta, J. (2016). Phytochemicals determination and classification in purple and red fleshed potato tubers by analytical methods and near

infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1888-1899.

- Tiwari, U. y Cummins, E. (2013). Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre-and post-harvest food processing operations. *Food Research International* 50(2): 497-506.
- Tomlins, K., Owori, C., Bechoff, A., Menya, G. y Westby, A. (2012). Relationship among the carotenoid content, dry matter content and sensory attributes of sweet potato. *Food Chem*, 131(1): 14-21.
- Valcarcel, J., Reilly, K., Gaffney, M. y Brien, N. (2015). Antioxidant Activity, total Phenolic and Total Flavonoid Content in Sixty Varieties of Potato (*Solanum tuberosum* L.). Grown in Ireland. *Potato Research*, 58(3), 221-244.
- Vegas, R., Iris, A. y Vegas, C. (2017). Efecto del pH y cloruro de sodio sobre las propiedades funcionales de harina de semillas de *Lupinus mutabilis* "tarwi" variedad criolla. *Agroindustrial Science*, 7(1), 49-55.
- Wang, S., & Zhu, F. (2019). Chemical composition and health effects of maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.02.071
- Yábar, E., Chirinos, R. y Campos, D. (2019). Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 85-97.
- Yao, L., Zhao, Q., Xiao, J., Sun, J., Yuan, X., Zhao, B., ...Niu, S. (2012). Composition and antioxidant activity of the polysaccharides from cultivated *Saussurea involucrate*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(3), 849-853.