



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
Ciencias e Ingeniería

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y PEROXIDACIÓN LIPÍDICA EN PASTA DE
AJONJOLÍ “TAHINI”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN
NUTRICIÓN

AUTOR(ES)

KAREM MERCEDES ARICA CÓRDOVA

ASESOR(ES)

JOHNNY PERCY AMBULAY BRICEÑO

LIMA - PERÚ

2026

Jurado calificador

Presidente: Ana Cecilia Colarossi Salinas

Secretaria: Monica Jehnny Pajuelo Travezaño

Vocal: Luis Miguel Baquerizo Sedano

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	ARICA CÓRDOVA KAREM MERCEDES

Pertencientes al programa de la **CARRERA PROFESIONAL DE NUTRICIÓN**, autores del trabajo titulado: **CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y PEROXIDACIÓN LIPÍDICA EN PASTA DE AJONJOLÍ "TAHINI"**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN NUTRICIÓN** bajo la modalidad de **TESIS**.

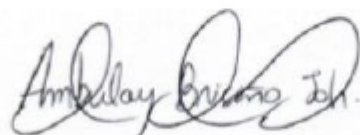
En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	AMBULAY BRICEÑO JOHNNY PERCY	FACIA	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **18%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3503476996**; fecha de entrega: **10/03/2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 10 de marzo de 2026**



Firma del asesor

N° DNI: 41809938

ORCID: 0000-0001-5289-9570

AGRADECIMIENTOS:

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. Ambulay, por su orientación académica, su compromiso y su valioso acompañamiento durante el desarrollo de esta tesis.

A la Lic. Munayco, encargada del laboratorio, por su apoyo técnico y por las gestiones realizadas para la obtención de los materiales necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su colaboración fue esencial en el proceso experimental.

A mi madre, por su constante apoyo emocional, su paciencia y su confianza en mí a lo largo de esta etapa.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a quienes me acompañaron durante este camino, incluyendo a mi gata, cuya compañía silenciosa fue un consuelo constante en los momentos de mayor exigencia.

INDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN:.....	3
II. MARCO TEORICO.....	6
2.1. Composición nutricional y propiedades antioxidantes de las Semillas de Ajonjolí.....	6
2.2. Actividad Antioxidante	6
2.3. Peroxidación lipídica	7
2.4. Proceso de elaboración de la Pasta de Ajonjolí.....	7
2.5. Posibles efectos del proceso de elaboración de la pasta de ajonjolí en las propiedades nutricionales	8
2.6. Técnicas de evaluación de la peroxidación lipídica	8
2.7. Método FRAP para medir la actividad antioxidante	8
2.8. Método ORAC para evaluar la capacidad antioxidante	9
2.9. Método DPPH para Medir la Eliminación de Radicales Libres.....	9
2.10. Problema de investigación.....	10
III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
IV. OBJETIVOS:	11
4.1. OBJETIVO GENERAL	11
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
V. METODOLOGÍA.....	12
5.1. Diseño de estudio	12
5.2. Variables.....	12
5.2.1. Variables principales.....	12
5.2.2. Operacionalización de variables.....	12
5.3. Producto: Pasta de ajonjolí “Tahini”	14
5.4. Dilución de la muestra.....	14
5.5. Procesamiento de obtención de la información.....	15
5.5.1. Capacidad antioxidante por la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)	15
5.5.2. Capacidad antioxidante por la técnica del poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	16
5.5.3. Peroxidación lipídica por la técnica del ensayo de ácido tiobarbitúrico (TBARS)	17

5.6. Plan de análisis	18
VI. RESULTADOS.....	19
6.1. Capacidad antioxidante medida por la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)	19
6.2. Capacidad antioxidante medida por la técnica del poder antioxidante reductor férrico (FRAP).....	19
6.3. Peroxidación lipídica medida por el ensayo ácido tiobarbitúrico (TBARS):.....	20
VII. DISCUSIÓN	21
7.1. Capacidad antioxidante	22
7.2. Peroxidación lipídica	26
VIII. CONCLUSIONES	27
IX. LIMITACIONES	28
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	28
ANEXOS.....	34

GLOSARIO:

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil; radical libre utilizado para determinar la actividad antioxidante mediante su capacidad de atrapamiento.

FRAP: *Ferric Reducing Antioxidant Power*; método que evalúa la capacidad reductora de los compuestos antioxidantes.

TBARS: *Thiobarbituric Acid Reactive Substances*; ensayo empleado para estimar el nivel de peroxidación lipídica.

MDA: Malondialdehído; compuesto utilizado como marcador de daño oxidativo en lípidos y unidad utilizada para cuantificar el nivel de peroxidación lipídica mediante la medición de MDA generado.

HAT: *Hydrogen Atom Transfer*; mecanismo en el que los antioxidantes neutralizan radicales libres mediante la donación de un átomo de hidrógeno.

SET: *Single Electron Transfer*; mecanismo en el que los antioxidantes estabilizan radicales libres mediante la transferencia de un electrón.

TE: Equivalentes de Trolox; unidad utilizada para expresar la capacidad antioxidante en comparación con el estándar Trolox (análogo hidrosoluble de la vitamina E).

AAE: Equivalentes de ácido ascórbico; unidad que expresa la capacidad antioxidante en relación con el estándar de ácido ascórbico (vitamina C).

RESUMEN

Objetivo: Este estudio evaluó la capacidad antioxidante y la peroxidación lipídica de la pasta de ajonjolí (tahini) de una sola marca comercial (Ilahu), disponible en el mercado peruano., **Metodología:** Se realizó un estudio con diseño descriptivo observacional; las muestras se obtuvieron mediante muestreo no probabilístico y se prepararon utilizando agua destilada y ácido tricloroacético (TCA) al 5%. La capacidad antioxidante se determinó mediante los métodos DPPH y FRAP, mientras que la peroxidación lipídica se evaluó mediante el ensayo de TBARS, cuantificando malondialdehído (MDA).

Resultados: En el método DPPH, la capacidad antioxidante media fue de 217.31 μmol equivalentes de Trolox por gramo ($\mu\text{mol TE/g}$) en extractos acuosos y de 270.41 $\mu\text{mol TE/g}$ en extractos con TCA; en el método FRAP, la media fue de 57.18 μmol equivalentes de ácido ascórbico por gramo ($\mu\text{mol AAE/g}$) en agua y de 24.7 $\mu\text{mol AAE/g}$ en TCA. En cuanto a la peroxidación lipídica, la concentración media de MDA fue de 7.26 $\mu\text{g/g}$ en extractos acuosos y de 7.57 $\mu\text{g/g}$ en extractos con TCA. **Conclusión** Los resultados evidencian una elevada capacidad antioxidante del tahini, con diferencias según el método y el disolvente empleado, así como una baja peroxidación lipídica, manteniéndose los niveles de MDA dentro de rangos considerados seguros según la EFSA. El tahini evaluado aporta compuestos antioxidantes y presenta adecuada estabilidad lipídica, lo que respalda su inclusión como alimento funcional dentro de una dieta equilibrada.

Palabras clave: Tahini; capacidad antioxidante; peroxidación lipídica; DPPH; FRAP; TBARS; MDA; alimento funcional.

ABSTRACT

Objective: This study evaluated the antioxidant capacity and lipid peroxidation of tahini (sesame paste) from a single commercial brand (Ilahu) available on the Peruvian market.

Methodology: A descriptive observational study was conducted; samples were obtained through non-probabilistic sampling and prepared using distilled water and 5% trichloroacetic acid (TCA); antioxidant capacity was determined using the DPPH and FRAP methods, while lipid peroxidation was assessed by the TBARS assay, quantifying malondialdehyde (MDA). **Results:** In the DPPH assay, mean antioxidant capacity was 217.31 μmol Trolox equivalents per gram ($\mu\text{mol TE/g}$) in aqueous extracts and 270.41 $\mu\text{mol TE/g}$ in TCA extracts; in the FRAP assay, mean values were 57.18 μmol ascorbic acid equivalents per gram ($\mu\text{mol AAE/g}$) in water and 24.7 $\mu\text{mol AAE/g}$ in TCA; regarding lipid peroxidation, mean MDA concentrations were 7.26 $\mu\text{g/g}$ in aqueous extracts and 7.57 $\mu\text{g/g}$ in TCA extracts. **Discussion:** The results demonstrate a high antioxidant capacity of tahini, with variations depending on the method and solvent used, as well as low lipid peroxidation, with MDA levels remaining within ranges considered safe according to the European Food Safety Authority (EFSA). **Conclusions:** The evaluated tahini provides antioxidant compounds and exhibits adequate lipid stability, supporting its inclusion as a functional food within a balanced diet.

Keywords: Tahini; antioxidant capacity; lipid peroxidation; DPPH; FRAP; TBARS; MDA; functional food.

I. INTRODUCCIÓN:

El estrés oxidativo se produce cuando existe un desbalance entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad del organismo para neutralizarlas mediante su sistema antioxidante. Este desequilibrio puede derivar en peroxidación lipídica, daño celular, edemas y muerte celular (1–3). El uso de antioxidantes se asocia a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y trastornos neurodegenerativos (4,5).

Las ROS se originan naturalmente durante procesos metabólicos como la respiración celular, donde el ser humano en reposo consume entre 250 y 300 ml de oxígeno por minuto (6). No obstante, diversos factores como el estrés, la intensidad del ejercicio, el tipo de contracción muscular y condiciones ambientales extremas pueden aumentar su producción (1,2,7). Frente a este desafío, la alimentación representa un factor modificable clave, ya que una dieta rica en antioxidantes puede contribuir a neutralizar los radicales libres y mantener el equilibrio redox.

Los antioxidantes se clasifican en endógenos y exógenos. Los primeros incluyen enzimas como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx), encargadas de neutralizar ROS dentro del cuerpo. Los antioxidantes exógenos, obtenidos a través de la dieta, no solo actúan directamente como neutralizantes, sino que también participan en la regeneración de otros antioxidantes como la vitamina E y los betacarotenos (8). Sin embargo, una ingesta deficiente puede agravar el estrés oxidativo, y el consumo excesivo de suplementos también conlleva riesgos de toxicidad (8,9).

En este contexto, las frutas, verduras y algunas nueces como el arándano, la fresa, la zanahoria o la betarraga son esenciales en la dieta por su alto contenido de compuestos antioxidantes como polifenoles, flavonoides, vitamina C y vitamina E (8,10). Estos compuestos contribuyen a fortalecer el sistema antioxidante del organismo y reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con el daño oxidativo (8,11,12).

Asimismo, investigaciones previas realizadas en el país han evidenciado la viabilidad técnica y económica de productos a base de ajonjolí. Un ejemplo de ello es el estudio de Saravia y Espinoza del 2015 (13), en el que se reportó un valor actual neto económico (VANE) de S/. 474,726 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 30.61%, cifras que superan el costo de oportunidad y reflejan el potencial rentable de estos productos en el mercado nacional. Estos resultados ponen en evidencia el creciente interés de la industria alimentaria por diversificar el uso del ajonjolí. No obstante, persiste un vacío en la literatura científica respecto a los productos ya elaborados como la pasta de ajonjolí, particularmente en lo relacionado a su capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa, aspectos clave para asegurar su funcionalidad como alimento.

Para evaluar la presencia de antioxidantes en los alimentos, se han desarrollado diversos métodos estandarizados. El método 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) mide la capacidad de neutralizar radicales libres mediante la transferencia de electrones. El FRAP evalúa la capacidad de reducir el ion férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+}), mientras que el ORAC determina la capacidad de inhibir la oxidación inducida por radicales peroxilo. Estos métodos, junto con la cuantificación de productos de peroxidación como el malondialdehído (MDA), ofrecen una visión amplia y confiable del potencial antioxidante de un alimento (14–18).

La formación de peróxidos lipídicos en alimentos ricos en lípidos, como aceites y frutos secos, es un proceso que puede generar compuestos nocivos, especialmente cuando estos alimentos están expuestos a la luz o a altas temperaturas (19,20). En este sentido, el análisis del MDA como producto final de la peroxidación lipídica se ha convertido en una herramienta útil para evaluar el daño oxidativo en matrices alimentarias.

El ajonjolí (*Sesamum indicum*) destaca entre las semillas oleaginosas por su alto contenido en grasas insaturadas, calcio, zinc, compuestos bioactivos (lignanos: (sesamina y sesamol), vitamina E, y ácidos fenólicos como el ferúlico y cafeico, con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (1,21). Un derivado tradicional ampliamente consumido en Medio Oriente, África y Asia es la pasta de ajonjolí, también conocida como tahini (22). Aunque los estudios han abordado principalmente las semillas y el aceite,

investigaciones preliminares indican que la pasta conserva buena parte de los nutrientes y compuestos funcionales del grano (23).

No obstante, el procesamiento térmico, la molienda y las condiciones de almacenamiento podrían influir en el perfil antioxidante y en la susceptibilidad a la oxidación lipídica del producto final. Por tanto, resulta pertinente evaluar directamente la capacidad antioxidante y el nivel de peroxidación lipídica de la pasta de ajonjolí tal como se encuentra disponible en el mercado. Este análisis permitirá conocer su potencial como alimento funcional para la prevención del estrés oxidativo.

II. MARCO TEORICO

2.1. Composición nutricional y propiedades antioxidantes de las Semillas de Ajonjolí

Las semillas de ajonjolí (*Sésamo indicum*), ampliamente conocidas en el Perú como sésamo, destacan por ser una importante fuente de lípidos saludables, principalmente ácidos grasos insaturados (21,24), y por su riqueza en compuestos antioxidantes. Entre estos se incluyen la vitamina E, lignanos como la sesamina y la sesamolina, sesamol, compuestos fenólicos y fitosteroles (21) (tabla 1), los cuales contribuyen a reducir el estrés oxidativo y protegen las células del daño causado por los radicales libres.

Tabla 1. Contenido de lignanos antioxidantes en semillas de ajonjolí

Lignano/ Compuesto	Contenido equivalente en 100 gr	Comentarios relevantes
Sesamina	248 mg (rango 111–941 mg) (21)	Lignano más abundante; fuertes propiedades antioxidantes y metabólicas.
Sesamolina	172 mg (rango 20–335 mg) (21)	Se convierte a sesamol con calor, mejorando la estabilidad oxidativa.
Total de lignanos (según color de semilla)	Negra: 356–1276 mg Marrón: 266–668 mg Blanca: 283–566 mg Amarilla: 252–594 mg/g (21)	Las semillas negras tienen el mayor contenido total de lignanos.

2.2. Actividad Antioxidante

Los antioxidantes son moléculas capaces de inhibir la reacción de los agentes oxidantes como los radicales libres (25) que pueden estar presentes en los alimentos.

Por lo que, una adecuada alimentación rica en antioxidantes puede contrarrestar los efectos negativos de los radicales libres (1,2). La actividad antioxidante puede ser evaluada mediante varios métodos, como el test de DPPH (*2,2-difenil-1-picril hidrazilo*), el test de ABTS (ácido 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) y FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), que miden la capacidad de los extractos para neutralizar radicales libres. Se sabe que la capacidad antioxidante total, proveniente de la dieta principalmente, es crucial para proteger el organismo del daño oxidativo y que si esta es baja, resulta un mayor riesgo a enfermedades crónicas, cáncer o procesos inflamatorios (26).

En el caso del tahini, estudios realizados en otros contextos han evaluado su actividad antioxidante total mediante el método FRAP y su contenido fenólico total, evidenciando variabilidad entre marcas comerciales y una asociación directa entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del producto(27). Considerando que la pasta de ajonjolí aporta compuestos bioactivos como lignanos (sesamina) y vitamina E, los métodos mencionados constituyen herramientas útiles para caracterizar su capacidad antioxidante, comparar su eficacia con la de otros alimentos y evaluar su potencial contribución a la protección frente al estrés oxidativo.

2.3. Peroxidación lipídica

Es un proceso químico en el que los ácidos grasos insaturados, presentes en aceites y grasas, se oxidan debido a la exposición al oxígeno, luz, metales o calor. Este fenómeno puede llevar a la formación de productos nocivos, como el malondialdehído (MDA), que se puede medir mediante el ensayo de TBARS (*Thiobarbituric Acid Reactive Substances*). Además, la determinación de peróxidos se utiliza para evaluar el estado inicial de la oxidación, proporcionando una indicación de la estabilidad oxidativa del producto (1,28) .

2.4. Proceso de elaboración de la Pasta de Ajonjolí

La pasta de ajonjolí tradicionalmente se obtiene a través de un proceso que comienza con el tostado de las semillas de sésamo. Este paso es fundamental, ya que al tostar las semillas se realza su sabor y se liberan los aceites naturales (29). Una vez tostadas, las

semillas se muelen para obtener una pasta suave y cremosa, que sería la base de productos como el tahini.

2.5. Posibles efectos del proceso de elaboración de la pasta de ajonjolí en las propiedades nutricionales

En el caso de la pasta de ajonjolí, que contiene una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados, es particularmente vulnerable al sobrecalentamiento en presencia de oxígeno (1,29). Esto puede resultar en la pérdida de calidad y propiedades nutricionales, así como en la generación de compuestos tóxicos que pueden afectar la seguridad alimentaria (29). Por lo tanto, el control riguroso de la peroxidación lipídica es esencial para preservar la frescura y la calidad del producto.

2.6. Técnicas de evaluación de la peroxidación lipídica

El ensayo de TBARS, que determina la peroxidación lipídica, es fundamental para garantizar que el producto mantenga sus características sensoriales y nutricionales (19). Este método se basa en la reacción de MDA con el ácido tiobarbitúrico (TBA) en medio ácido y bajo calentamiento, formando un complejo de color rosado-rojo. Dicho complejo presenta un máximo de absorción a una longitud de onda cercana a 532 nm, lo que permite su cuantificación espectrofotométrica (30). Por lo tanto, nos dará a conocer el efecto del procesamiento en la creación de sustancias no deseadas, como el MDA, en el producto.

2.7. Método FRAP para medir la actividad antioxidante

Existen varios métodos para medir la actividad antioxidante de una muestra, cada uno basado en diferentes mecanismos de acción de los antioxidantes. Uno de ellos es el ensayo FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) que mide la capacidad antioxidante de una muestra al reducir los iones férricos (Fe^{3+}) a iones ferrosos (Fe^{2+}) en medio ácido, formando un complejo azul con el ligando TPTZ (2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina), cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente a 593 nm. Este cambio de color es proporcional a la concentración de antioxidantes presentes en la muestra, lo que permite evaluar su actividad antioxidante en función de su habilidad

para reducir el complejo férrico. La intensidad del color generado refleja directamente el poder reductor de los compuestos antioxidantes en la muestra. (28).

2.8. Método ORAC para evaluar la capacidad antioxidante

El método de la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) mide la capacidad de los antioxidantes para interrumpir la cadena de radicales peróxidos, comunes en la oxidación de lípidos en alimentos y sistemas biológicos. Al reaccionar con una sonda fluorescente, el radical peróxido causa una pérdida de fluorescencia, que se registra con un fluorómetro. La capacidad antioxidante se evalúa comparando el decaimiento de la fluorescencia en presencia y ausencia de antioxidantes, y se expresa como equivalentes de trolox. Este ensayo se basa en la donación de átomos de hidrógeno (HAT) y se puede automatizar con sistemas de microplacas de fluorescencia (28).

2.9. Método DPPH para Medir la Eliminación de Radicales Libres

El ensayo de eliminación del radical DPPH (*2,2-difenil-1-picrilhidrazilo*) es uno de los métodos más utilizados para evaluar la actividad antioxidante ya que mide la habilidad de una muestra para donar electrones o átomos de hidrógeno a los radicales libres DPPH, lo que provoca un cambio en de color medido a 517 nm (29). Cuanto mayor sea la disminución de absorbancia, mayor será la capacidad antioxidante de la muestra (28).

2.10. Problema de investigación

El ajonjolí representa un insumo de alto valor nutricional por su contenido de compuestos antioxidantes, lo que lo convierte en un alimento funcional con potencial preventivo frente a enfermedades crónicas. Sin embargo, en el contexto peruano su aprovechamiento en la dieta nacional es limitado y su consumo se da principalmente como ingrediente en platos de la gastronomía asiática. A pesar de ello, el cultivo de ajonjolí ha comenzado a recibir impulso a través de iniciativas como el proyecto piloto del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), que promueve la siembra de 240 hectáreas de ajonjolí negro en Ucayali para su exportación a mercados asiáticos (31). Esta reactivación productiva contrasta con el escaso desarrollo de productos procesados con valor agregado para el mercado interno, lo cual representa una oportunidad desaprovechada, especialmente considerando que el ajonjolí es fuente de compuestos antioxidantes que pueden contribuir a incrementar la capacidad antioxidante dietaria. Este factor es particularmente importante, ya que una mayor capacidad antioxidante de la dieta se ha asociado con una reducción del riesgo de mortalidad (32).

El tahini ha sido abordado en estudios previos principalmente en relación con su capacidad antioxidante, empleando distintos métodos analíticos y, en muchos casos, evaluando semillas de ajonjolí, aceite de sésamo o formulaciones elaboradas bajo condiciones experimentales (27,33). Sin embargo, la información disponible sobre pastas de ajonjolí comercializadas como tahini es limitada, particularmente en el contexto peruano. Asimismo, los estudios que evalúan la peroxidación lipídica en productos derivados del ajonjolí se han centrado mayoritariamente en semillas o aceite, siendo escasa la evidencia que reporte valores de malondialdehído (MDA) directamente en tahini. En este sentido, el presente estudio se justifica por proporcionar información descriptiva sobre la capacidad antioxidante y la peroxidación lipídica de una pasta de ajonjolí disponible comercialmente en el Perú, obtenida mediante la medición de estas variables con más de un ensayo, lo que contribuirá a una valoración más informada de este producto dentro de la dieta nacional.

III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la capacidad antioxidante y peroxidación lipídica de la pasta de ajonjolí "Tahini"?

IV. OBJETIVOS:

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad antioxidante y peroxidación lipídica en pasta de ajonjolí "Tahini"

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la capacidad antioxidante por DPPH y FRAP en la pasta de ajonjolí "Tahini"
- Determinar la peroxidación lipídica por el ácido tiobarbitúrico en la pasta de ajonjolí "Tahini"

V. METODOLOGÍA

5.1. Diseño de estudio

El estudio se llevó a cabo bajo un diseño descriptivo observacional, en el cual se midió diferentes indicadores de capacidad antioxidante en el producto alimenticio “Tahini”. La investigación fue de tipo cuantitativo, con el objetivo de determinar la capacidad antioxidante del Tahini a través de métodos bioquímicos establecidos, tales como el DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), FRAP (capacidad de reducción del poder de absorción de hierro) y la medición de peroxidación lipídica mediante TBARS (productos reactivos de malondialdehído).

5.2. Variables

5.2.1. Variables principales

- Capacidad antioxidante por DPPH
- Capacidad antioxidante por FRAP
- Peroxidación lipídica
- Pasta de semillas de ajonjolí “Tahini”

5.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Indicador	Tipo de variable /escala	Método de medición	Unidad de medición
Capacidad antioxidante medida por DPPH	Es la capacidad de una muestra para reducir el radical libre estable DPPH a su	Reducción del radical DPPH	Cuantitativa	Se cuantifica por la disminución en la absorbancia de la solución a 517 nm (34)	Milimoles de equivalentes Trolox (ET)/g de pasta (34)

	forma no radical (34).				
Capacidad antioxidante medida por FRAP	La capacidad de una muestra para reducir el ion férrico (Fe^{3+}) a ion ferroso (Fe^{2+}) (35)	Poder reductor de hierro +3 a +2	Cuantitativa /De razón	Se cuantifica mediante el cambio en la absorbancia de la solución a 593 nm debido a la formación de un complejo ferroso-tripiridiltriazina (Fe^{2+} -TPTZ) (35).	μ mol AAE /g de pasta (35)
Peroxidación lipídica medida por MDA	Indicador de daño celular debido a los productos de la oxidación de los ácidos grasos insaturados en las membranas celulares. MDA es un producto final de la peroxidación de lípidos	Productos de malondial dehído	Cuantitativa /De razón	Se mide mediante una reacción con el reactivo de TBA (ácido tiobarbitúrico) que da lugar a un complejo, cuya absorbancia se mide a 532 nm (36)	μ mol de MDA/g de pasta (36)
Pasta de semillas de		Rotulo del producto	Cualitativa /nominal	Listado de ingredientes	No aplica

ajonjolí “Tahini”					
----------------------	--	--	--	--	--

5.3. Producto: Pasta de ajonjolí “Tahini”

La pasta de ajonjolí se comercializa en presentación de frascos de vidrio, presenta un color beige claro, cuya tonalidad puede variar según el nivel de tostado de las semillas. Su consistencia es cremosa y espesa, y es posible que se forme una capa de aceite en la parte superior debido a su naturaleza, lo cual es completamente normal. Para su selección, el producto debía declarar como único ingrediente semilla de ajonjolí y encontrarse sellado al vacío para preservar su integridad y propiedades.

El producto se adquirió en presentación de frasco de vidrio transparente con 420 g de contenido. El etiquetado nutricional declara que por cada 25 g aporta 175 kcal, 16 g de grasa, 2 g de carbohidratos, 1 g de fibra dietética y 6 g de proteína. Todas las muestras analizadas pertenecen al mismo lote, identificado como lote N.º 12970. El producto fue adquirido a través de la plataforma web de Ilahu, con registro sanitario M8801519E, fabricado en el distrito de Zahle, Bekaa, Líbano, envasado por Superfood Factory SAC en Pampa Grande, Pachacamac, Lima, e importado por Nutriccori SAC, San Isidro, Lima.

La elección de esta marca respondió exclusivamente a la disponibilidad y accesibilidad del producto al momento de la adquisición. Además, el frasco indicaba como fecha de fabricación el 14 de febrero de 2024 y como fecha de vencimiento el 10 de febrero de 2026 (Anexo 1).

5.4. Dilución de la muestra

Para el análisis, se tomaron muestras de pasta de ajonjolí proveniente de 3 frascos de 420 g. De cada frasco se extrajeron dos muestras: una diluida con ácido tricloroacético (TCA) al 5% y otra con agua destilada. Posteriormente, las muestras fueron agitadas en vortex para asegurar una adecuada homogeneización. Luego se procedió a su centrifugación durante 10 minutos a 10 000 rpm para mejorar la separación de las fases, únicamente la

fracción acuosa (sobrenadante) para la determinación de la actividad antioxidante y evitar así posibles interferencias en la medición espectrofotométrica.

Para el ensayo DPPH, se emplearon 0.2 g de pasta de ajonjolí y 3 mL del solvente correspondiente (agua destilada o TCA al 5%). En el caso del método FRAP, se utilizaron 0.3 g de pasta de ajonjolí y 3 mL del solvente respectivo. Finalmente, para el ensayo TBARS, se pesaron 0.3 g de muestra y se mezclaron con 7.5 mL del solvente correspondiente (agua destilada o TCA al 5%).

5.5. Procesamiento de obtención de la información

5.5.1. Capacidad antioxidante por la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)

La determinación de la actividad antioxidante se llevó a cabo según el protocolo de Brand-Williams et al. (1995), que también se utilizó en muestras oleosas (30,37). La preparación del reactivo de DPPH se realizó con metanol a una concentración de 6×10^{-5} mol/L. Por otro lado, se preparó los estándares de Trolox en concentraciones de 200, 100, 80, 40, 20 y 10 $\mu\text{mol/L}$. Las muestras y los estándares de Trolox se mantuvieron en oscuridad a una temperatura de 25 ± 2 °C durante 30 minutos. Posteriormente, se midió la absorbancia a 515 nm utilizando un espectrofotómetro. En la Tabla 2 se detallan las concentraciones de los estándares de Trolox y los volúmenes utilizados para el blanco, los estándares y las muestras.

La capacidad antioxidante se determinó calculando el porcentaje de inhibición del DPPH mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \left(\frac{\text{Abs. blanco} - \text{Abs. muestra}}{\text{Abs. blanco}} \right) \times 100$$

Donde *Abs. blanco* es la absorbancia del radical DPPH y *Abs. muestra* la absorbancia del extracto o estándar evaluado (34).

Posteriormente, se construyó una curva de calibración con las soluciones estándar de Trolox, relacionando el porcentaje de inhibición con la concentración ($\mu\text{mol/L}$). A partir de dicha curva, se interpolaron los valores de las muestras, expresándose los resultados como milimoles de equivalentes de Trolox (ET) por gramo de muestra (34,38).

La prueba se realizó en el laboratorio de ciencias de los alimentos de la carrera de

Tabla 2. Procedimiento para la medición de capacidad antioxidante por DPPH

Reactivos	Blanco	Estándares	Muestras
Metanol	0.1 ml	---	---
Trolox*	---	0.1 ml	---
Muestras	---	---	0.1 ml
Reactivo DPPH	3.9 ml	3.9 ml	3.9 ml
Medir absorbancia 515 nm por 30 minutos (hasta observar la meseta)			

*Análogo de vitamina E utilizado para la medición en milimoles de equivalentes Trolox (ET)/g de pasta

5.5.2. Capacidad antioxidante por la técnica del poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

El protocolo del ensayo FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) descrito por Benzie y Strain en 1995 (35), probado también en muestras oleosas (37), se utiliza para medir el poder antioxidante de una muestra a través de su capacidad para reducir el hierro férrico (Fe^{3+}) a hierro ferroso (Fe^{2+}). Por otro lado, el reactivo principal del ensayo se prepara mezclando tres volúmenes de solución de ácido acético (pH 3.6), un volumen de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (10 mM) y un volumen de TPTZ (1 mM), justo antes de usarlo. En el procedimiento, se mezcló 50 μL de pasta de ajonjolí disuelta en el solvente correspondiente con 900 μL del reactivo FRAP preparado y 50 μL de agua destilada. Además, se elaboró una curva utilizando ácido ascórbico como estándar, a concentraciones de 800, 500, 300, 100, 50, 25 y 12.5 $\mu mol/L$, con el fin de determinar la ecuación de la curva.

Las muestras y los estándares se incubaron a 37°C durante 10 minutos. Después de la incubación, se midió la absorbancia de la solución a 593 nm en un espectrofotómetro. Se realizó la ecuación de la curva con los estándares y se expresó los resultados en equivalentes de ácido ascórbico. La prueba se realizó en el laboratorio de ciencias de los alimentos de la carrera de Nutrición de la UPCH.

Tabla 3. Procedimiento para la medición de capacidad antioxidante por FRAP

Reactivos	Blanco FRAP	Estándares	Blanco muestra	Muestras
Acido ascórbico	-	225	-	-
Solución FRAP	1840	1840	1840	1840
Buffer acetato	225	-	-	-
Muestras	-	-	-	225
Vortex				
Baño maría	37°C 4 min o 10 min			
Lectura	593nm			

5.5.3. Peroxidación lipídica por la técnica del ensayo de ácido tiobarbitúrico (TBARS)

El protocolo del ensayo de ácido tiobarbitúrico de Buege y Aust (1978) se ha utilizado hasta la actualidad para medir la peroxidación lipídica en muestras oleosas (30), como la pasta de ajonjolí, al detectar malonaldehído (MDA), un producto de la descomposición de los ácidos grasos poliinsaturados. Por otro lado, se preparó los estándares con 1,1,3,3-Tetraetoxipropano (TEP) a concentraciones de 6.25, 12.5, 25, 50, 100 $\mu\text{mol/L}$ para crear la ecuación.

Para la reacción, mezcló 1 ml de la muestra tratada con 2 ml de reactivo TCA-TBA- HCl (ácido tricloroacético al 15%, ácido tiobarbitúrico al 0,375%, y ácido clorhídrico 0,25 N), y luego se calentó durante 15 minutos en baño de agua hirviendo. Tras enfriar, el precipitado se eliminó por centrifugación a 6000 rpm durante 10 minutos. La absorbancia de la muestra y de los estándares se midió a 535 nm frente a un blanco, y la concentración de MDA se calculó con la curva de TEP (36). La prueba se realizó en el laboratorio de ciencias de los alimentos de la carrera de Nutrición de la UPCH.

Tabla 4. Procedimiento para la medición de peroxidación lipídica TBARS

Reactivos	Estándares	Blanco muestra	Muestras
Reactivo TCA-TBA-HCL	2 ml	2 ml	2 ml
Muestras	-	-	1 ml

1,1,3,3-Tetraetoxipropano (TEP)	1 ml	-	-
Metanol	-	1 ml	-
Vortex			
Baño maría	15 min a 100 °C		
Enfriar 5 minutos			
Centrifugación	6000 rpm por 10 min		
Medir absorbancia	535 nm		

5.6. Plan de análisis

El análisis se realizó con muestras provenientes de un solo lote de Tahini marca “Ilahu” para garantizar la fiabilidad de los resultados. Además, se utilizó tres métodos analíticos anteriormente descritos: FRAP, DPPH y TBARS. Cada muestra fue analizada en duplicado para obtener resultados consistentes y minimizar la variabilidad experimental.

Los datos obtenidos de cada repetición se organizaron y se calcularon los promedios y las desviaciones estándar para evaluar los resultados. Finalmente, los resultados fueron presentados en tablas y gráficos, destacando los valores promedio y su desviación estándar.

VI. RESULTADOS

6.1. Capacidad antioxidante medida por la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)

En el análisis de capacidad antioxidante mediante el método DPPH, las muestras disueltas en agua, se obtuvo un valor promedio de 217.31 $\mu\text{mol TE/g}$, con una desviación estándar de 28.91. Por otro lado, las muestras disueltas en TCA presentaron un valor promedio de 270.41 $\mu\text{mol TE/g}$, con una desviación estándar de 31.96.

Tabla 5. Media y desviación estándar de la capacidad antioxidante medida en equivalente de Trolox ($\mu\text{mol/g}$) determinados mediante por DPPH

Disolvente	Media ($\mu\text{mol/g}$)	Desviación estándar
Agua	217.31	28.91
TCA	270.41	31.96

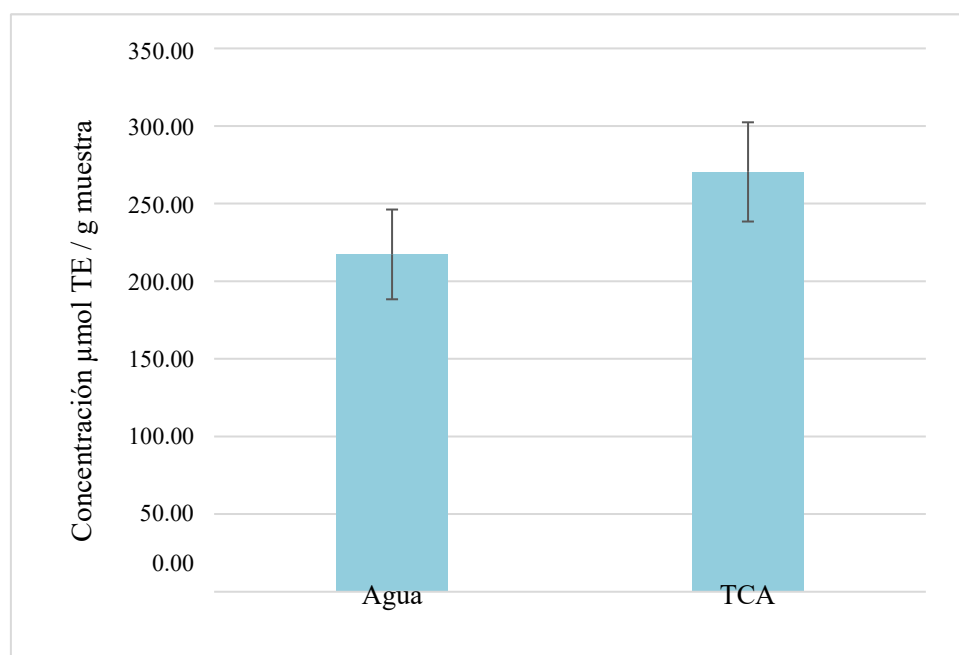


Figura 1. Concentración antioxidante ($\mu\text{mol TE/g}$) en función del disolvente mediante el ensayo DPPH

6.2. Capacidad antioxidante medida por la técnica del poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

En cuanto a la capacidad reductora evaluada mediante el método FRAP, se observaron diferencias según el disolvente utilizado. En las muestras disueltas en agua, se obtuvo un valor promedio de 57.18 $\mu\text{mol AAE/g}$, con una desviación estándar de 3.06. Por otro lado, en las muestras disueltas en TCA, el promedio fue de 24.7 $\mu\text{mol AAE/g}$, con una desviación estándar de 2.34.

Tabla 6. Media y desviación estándar, de la capacidad antioxidante medida en equivalente de ácido ascórbico ($\mu\text{mol AAE/g}$) determinados mediante por FRAP

	Media ($\mu\text{mol AAE/g}$)	Desviación Estándar
Agua	57.18	3.06
TCA	24.70	2.34

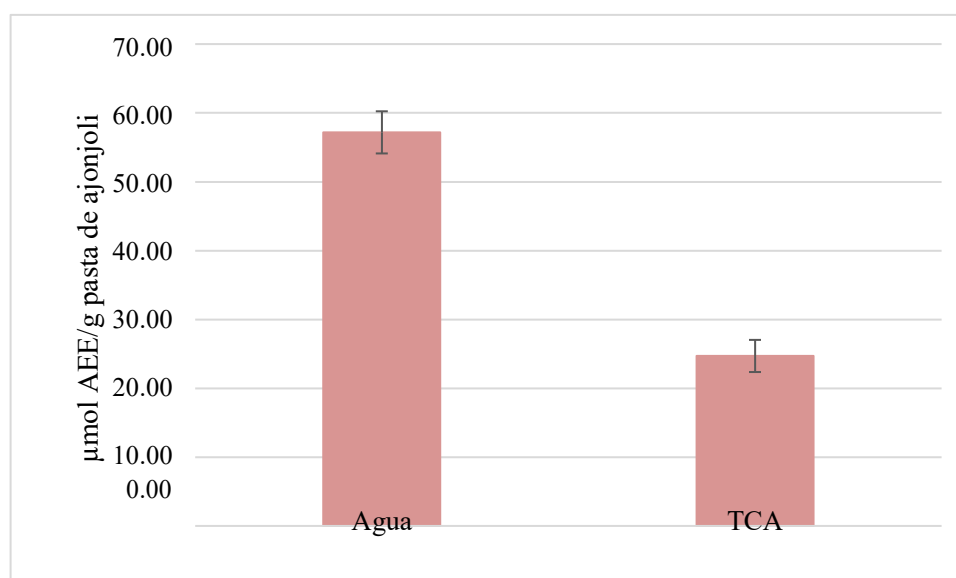


Figura 2. Concentración antioxidante ($\mu\text{mol AAE/g}$) en función disolvente determinado mediante ensayo FRAP

6.3. Peroxidación lipídica medida por el ensayo ácido tiobarbitúrico (TBARS):

A partir de las concentraciones de malondialdehído (MDA) obtenidas por gramo de muestra, se calcularon los valores promedio y la desviación estándar para cada medio de disolución utilizado. En el caso de las muestras disueltas en agua, el promedio fue de 7.26 $\mu\text{g MDA/g}$ de muestra, con una desviación estándar de 0.803. Por otro lado, las muestras disueltas en TCA presentaron un promedio de 7.57 $\mu\text{g MDA/g}$ de muestra, con una desviación estándar de 0.78.

Tabla 7. Media y desviación estándar de las concentraciones de MDA en agua y TCA determinados mediante el ensayo TBARS

	Media ($\mu\text{g MDA/g}$)	Desviación estándar
Agua	7.26	0.8037
TCA	7.57	0.7834

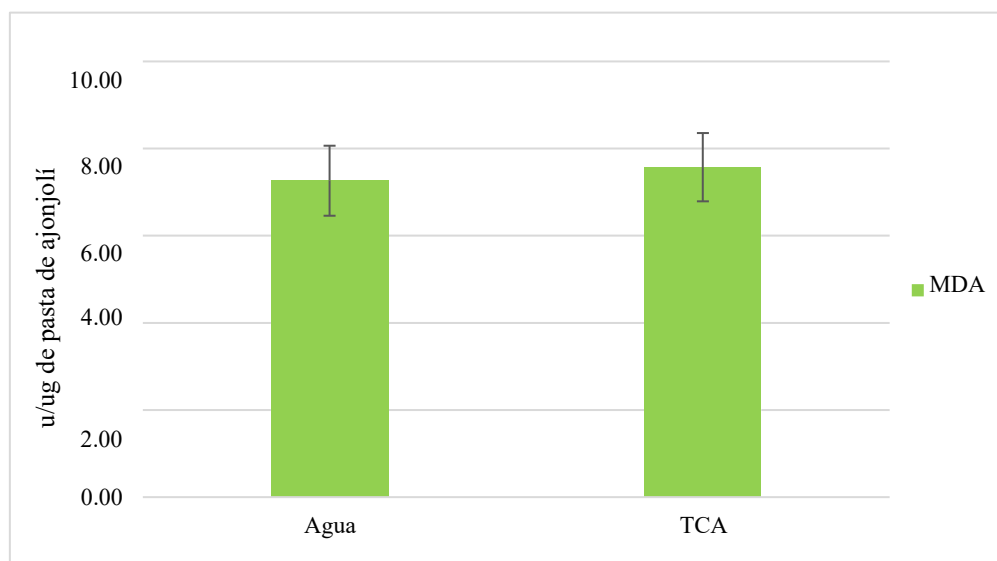


Figura 3. Concentración de MDA ($\mu\text{g/g}$) en función del disolvente determinada mediante el ensayo TBARS

VII. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo describir la capacidad antioxidante de la pasta de ajonjolí Tahini disponible en el mercado peruano, utilizando los métodos DPPH y FRAP, aplicados a extractos obtenidos con agua y ácido tricloroacético (TCA) como medios de disolución. La elección de estos solventes respondió a la naturaleza química de los antioxidantes presentes en la pasta de ajonjolí y a su elevada proporción de lípidos y proteínas. El agua permitió solubilizar compuestos hidrofílicos, mientras que el TCA facilitó la precipitación de proteínas y la liberación de compuestos fenólicos y lignanos (39,40), mejorando la obtención de extractos más claros y aptos para los ensayos espectrofotométricos. Asimismo, se evaluó la peroxidación lipídica a través del ensayo TBARS, con el fin de estimar la concentración de malondialdehído (MDA) como marcador de daño oxidativo en la

pasta de ajonjolí tahini, permitiendo evaluar su grado de oxidación lipídica y su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento.

7.1. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las muestras varió según el disolvente y el método utilizado. En el ensayo DPPH, las muestras disueltas en TCA presentaron una mayor actividad (270.4 $\mu\text{mol TE/g}$) en comparación con las disueltas en agua (217.3 $\mu\text{mol TE/g}$), lo que sugiere una mejor liberación de compuestos antioxidantes. En contraste, en el ensayo FRAP se observó un patrón inverso: las muestras en agua mostraron mayor capacidad reductora (57.18 $\mu\text{mol AAE/g}$) que las tratadas con TCA (24.7 $\mu\text{mol AAE/g}$); lo que podría deberse a que el TCA, si bien útil para precipitar proteínas, habría afectado la disponibilidad o estabilidad de los compuestos reductores (41).

Este patrón opuesto sugiere que no existe una correlación directa entre ambos métodos, probablemente por las diferencias en los mecanismos que evalúan. Aunque estudios previos han reportado correlaciones entre DPPH y FRAP en extractos vegetales, las discrepancias encontradas bajo distintas condiciones de extracción refuerzan la importancia de considerar el tipo de solvente y la naturaleza química de los antioxidantes presentes. En este contexto, sería útil complementar con el método ORAC, que evalúa la inhibición de radicales peroxilo en condiciones fisiológicas y permite una cuantificación cinética de la capacidad antioxidante (42). No obstante, este método requiere equipamiento especializado y mayores costos (42). A pesar de que tanto DPPH como ORAC pueden involucrar transferencia de hidrógeno, no siempre presentan una alta correlación debido a diferencias en el tipo de radical, medio de reacción y enfoque metodológico (38).

Por otro lado, en un estudio que evaluó alimentos representativos de la dieta coreana, se observó que los grupos con mayor actividad antioxidante *in vitro* medida por DPPH presentaron un mayor efecto protector contra el daño oxidativo al ADN en linfocitos humanos evaluado por el ensayo cometa. Este resultado sugiere una correlación positiva entre la capacidad antioxidante total (DPPH-TEAC) y la protección del material genético celular (43).

En el presente estudio se encontró que la pasta de ajonjolí Tahini obtuvo mediante el método DPPH una capacidad antioxidante de 270.41 a 217.3 $\mu\text{mol TE/g}$. Al compararlo con reportes previos en semillas de ajonjolí sin procesar, se ha informado un valor aproximado de 345 $\mu\text{mol TE/100 g}$ (equivalente a 3.45 $\mu\text{mol TE/g}$) (44), se observa que la pasta exhibe una actividad antioxidante mayor. Este incremento podría atribuirse a los efectos del tostado y la molienda lo cual estaría favoreciendo la liberación de antioxidante. Por ejemplo, se ha reportado que el procesamiento térmico puede mejorar la actividad antioxidante de las semillas de sésamo(45), con incrementos particularmente marcados cuando se utilizan temperaturas elevadas. En la mayoría de los casos, el tostado incrementó la actividad antioxidante, registrándose aumentos del 150 % o superiores a temperaturas entre 200 y 220 °C (45), lo que sugiere que el calor favorece la liberación de lignanos y la formación de compuestos antioxidantes adicionales. Estos hallazgos respaldan la posibilidad de que el tratamiento térmico aplicado durante la elaboración del tahini contribuya a su mayor capacidad antioxidante en comparación con la semilla cruda. En conjunto, estos factores podrían aumentar la disponibilidad y eficacia de los compuestos antioxidantes presentes, lo que explicaría que el tahini muestre una densidad antioxidante superior a la semilla en su estado entero.

Asimismo, el valor de capacidad antioxidante obtenido en el Tahini evaluado supera ampliamente los reportados para frutas del género *Passiflora*, como el maracuyá (*Passiflora edulis*) y la gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), cuyos rangos oscilan entre 6.44 y 20.07 $\mu\text{mol TE/g}$ (expresados originalmente en mmol TE/100 g de extracto seco) (46). Esta comparación evidencia que el tahini constituye una fuente concentrada de antioxidantes, aun cuando se contrastan sus valores con los de frutas reconocidas por su aporte antioxidante.

Respecto a su inclusión en la dieta, no existe una recomendación específica sobre la ingesta diaria de pasta de ajonjolí; sin embargo, la lista de intercambios de alimentos de la Asociación Americana de Diabetes (ADA) incluye la pasta de sésamo o tahini dentro del grupo de grasas, asignándole una porción equivalente a 2 cucharaditas (47), que son aproximadamente 10 gramos, lo que corresponde a un intercambio de

grasa (5 g de lípidos y 45 kcal). Por lo que, la capacidad antioxidante por porción determinada por el método DPPH fue de 2704.1 μmol equivalentes de Trolox (TE) para las muestras disueltas en TCA y de 2173.1 μmol TE para las disueltas en agua. En cuanto al método FRAP, los valores fueron de 571.8 μmol equivalentes de ácido ascórbico (AAE) para las muestras extraídas con agua y de 247 μmol AAE para aquellas tratadas con TCA.

Considerando el peso comestible por unidad, un maracuyá morado contiene aproximadamente 15 gramos de pulpa, lo que equivale a un aporte de 96.6 a 301.1 μmol TE por unidad; mientras que una unidad de maracuyá amarilla (con unos 25 a 40 gramos de pulpa) aporta entre 161.0 y 802.8 μmol TE. Así, una sola porción de pasta de ajonjolí aporta más capacidad antioxidante que una unidad de gulupa y que una unidad de maracuyá, a pesar de que ambas frutas son conocidas por su alto contenido fenólico.

De manera similar, al comparar con frutos secos como el pistacho (*Pistacia vera L.*), cuya capacidad antioxidante promedio determinada por DPPH en once cultivares fue de aproximadamente 17.81 μmol TE/g (48), lo que equivale a aproximadamente 178.1 μmol TE por porción de 10 gramos, considerando una porción. En el caso de los anacardos (*Anacardium occidentale*), se reportaron valores de 77.65 μmol TE/g para la pulpa roja y 38.52 μmol TE/g para la nuez (49). La American Diabetes Association (ADA) considera una porción intercambiable de anacardos equivalente a 6 unidades (47), lo que corresponde aproximadamente a 10 gramos y, por tanto, a un aporte antioxidante de entre 385.2 y 776.5 μmol TE por porción.

Finalmente, los residuos de cáscara de almendra (*Prunus amygdalus*), considerados subproductos agroindustriales, presentaron una capacidad antioxidante de 4.19 μmol TE/g según el método DPPH (50), valor considerablemente menor al observado en la pasta de ajonjolí (270.41 μmol TE/g), lo que evidencia su superior actividad como agente donador de electrones. Por otro lado, mediante el método FRAP, la capacidad reductora de la cáscara de almendra fue estimada en aproximadamente 16.01 μmol AAE/g (50), calculada a partir del valor reportado de 2.82 mg AAE/g. Este valor

también fue inferior al obtenido para la pasta de ajonjolí disuelta en agua (57.18 μmol AAE/g), resaltando su destacada capacidad antioxidante bajo ambos métodos.

Aunque el pistacho, el anacardo y la almendra son alimentos con un perfil lipídico elevado, su contenido antioxidante es menor al de la pasta de ajonjolí. Desde el punto de vista nutricional, estos frutos secos presentan una menor proporción de proteínas en comparación con las semillas de sésamo. Por ejemplo, el pistacho contiene aproximadamente 20 % de proteínas y 45 % de grasa, el anacardo aporta alrededor de 18 % de lípidos y entre 15–18 % de proteínas, mientras que la almendra presenta cerca de 50 % de grasa y entre 18–21 % de proteínas, además de ser fuente de vitamina E (51). Sin embargo, estos alimentos no contienen lignanos como la sesamina y la sesamolina, compuestos fenólicos exclusivos del ajonjolí con potente actividad antioxidante (21).

En comparación, la pasta de ajonjolí (tahini), elaborada a partir de semillas de sésamo, contiene en promedio 50–55 % de lípidos y 20–25 % de proteínas (21), además de los lignanos mencionados, que junto con su contenido en tocoferoles y un perfil de ácidos grasos insaturados (especialmente ácido oleico y linoleico), podrían explicar su mayor capacidad antioxidante por porción, a pesar de compartir una matriz grasa similar con otros frutos secos. Este perfil nutricional y funcional convierte al tahini en un alimento con mayor densidad antioxidante, es decir, una mayor capacidad para neutralizar radicales libres por gramo de producto. La presencia de lignanos, en particular la sesamina, ha sido asociada con efectos protectores frente al estrés oxidativo (52), lo cual refuerza el potencial de la pasta de ajonjolí como un alimento funcional.

De acuerdo a un metaanálisis de dosis-respuesta lineal, un aumento de 5 mmol/día (5000 $\mu\text{mol/día}$) en la capacidad antioxidante de la dieta (DTAC), evaluada mediante los métodos FRAP y ORAC, se asoció con una reducción del 7 % y del 15 % en el riesgo de mortalidad por cualquier causa, respectivamente (32). Además, el análisis de dosis-respuesta no lineal identificó una disminución significativa del riesgo con valores diarios de FRAP entre 2000 y 12,000 $\mu\text{mol/día}$, y de ORAC entre 5000 y 11,000 $\mu\text{mol/día}$ (32). En este contexto, una porción de pasta de ajonjolí aporta entre

247 y 571.8 μmol AAE, lo que representa entre el 12.4 % y el 28.6 % del umbral mínimo de FRAP considerado beneficioso.

7.2. Peroxidación lipídica

En cuanto al ensayo TBARS, se determinó la concentración de malondialdehído (MDA) como indicador del nivel de peroxidación lipídica. Las muestras disueltas en agua presentaron un valor promedio de 7.26 μg MDA/g ($\text{DS}\pm 0.803$) de muestra, mientras que las disueltas en TCA alcanzaron un promedio ligeramente mayor de 7.57 μg MDA/g ($\text{DS}\pm 0.78$). Esta diferencia sugiere una leve mayor liberación de productos de peroxidación bajo el tratamiento con TCA, aunque ambos valores se mantuvieron en un rango similar.

Considerando la porción intercambiable de 10 gramos de pasta de ajonjolí, se estimó una ingesta de MDA de entre 72.6-75.7 μg por porción. Esta cantidad se encuentra por debajo del límite tolerable establecido por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), que fija una ingesta diaria máxima de 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal al día (53). En personas con un peso entre 60 y 70 kg, este umbral estaría entre 1800 y 2100 μg diarios. Lo anterior indica que una porción de pasta de ajonjolí representaría aproximadamente entre el 4 % de la ingesta diaria máxima tolerable de MDA, lo que sugiere que el consumo de este producto no representa un riesgo para la salud en términos de exposición a productos de peroxidación lipídica.

Si bien no se han identificado estudios en humanos que evalúen de forma directa la relación entre la ingesta dietaria de MDA y sus niveles plasmáticos o efectos clínicos específicos, evidencia epidemiológica indica que los patrones alimentarios influyen en los niveles circulantes de este compuesto (54). Además, estudios en modelos animales han demostrado que la exposición dietaria al MDA puede inducir respuestas adversas. En investigaciones con peces, la inclusión de MDA en la dieta se asoció con alteraciones en la función inmunológica, procesos inflamatorios y daños en la integridad intestinal, así como en la calidad del tejido muscular (55). Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que el MDA ingerido, incluso en especies distintas al ser humano, puede generar efectos fisiológicos desfavorables, subrayando la

importancia de considerar su presencia en los alimentos como un posible factor de riesgo.

Asimismo, estudios en humanos han evidenciado que una mayor ingesta dietética de productos oxidativos, incluidos aquellos que contienen MDA o favorecen su formación, puede estar asociada a niveles plasmáticos elevados de este compuesto. En adultos con síndrome metabólico, se ha observado que una dieta con alta carga energética, hiperglucemia, resistencia a la insulina e hipertrigliceridemia se relaciona con concentraciones significativamente mayores de MDA en plasma (56), lo que sugiere una conexión entre ciertos patrones dietarios y el estado oxidativo del organismo.

Por otro lado, se ha descrito que el MDA es una molécula altamente reactiva que puede inducir modificaciones estructurales en lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, generando productos tóxicos que alteran la función celular. Su acumulación se ha asociado con estrés oxidativo crónico, considerado un factor clave en la progresión de enfermedades como la aterosclerosis, la diabetes tipo 2, trastornos neurodegenerativos (como Alzheimer y Parkinson) y diversos tipos de cáncer (20). Además, los aductos que el MDA forma con el ADN presentan potencial mutagénico, lo que refuerza su uso como biomarcador tanto de daño oxidativo como de riesgo toxicológico que debe ser determinado en los alimentos procesados.

VIII. CONCLUSIONES

La capacidad antioxidante de la pasta de ajonjolí evaluada mediante el método DPPH fue mayor cuando se utilizó como solvente ácido tricloroacético (TCA) en comparación con los que se utilizó agua. En contraste, la capacidad antioxidante determinada mediante el método FRAP fue superior en los extractos acuosos respecto a los obtenidos con TCA.

Con respecto a la peroxidación lipídica hallada, el contenido de malondialdehído (MDA) fue semejante entre los solventes de agua y TCA, manteniéndose dentro de los límites considerados seguros según los criterios establecidos por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

IX. LIMITACIONES

Entre las principales limitaciones del presente estudio se encuentra el uso de los métodos de medición de capacidad antioxidante como técnica de análisis, los cuales, si bien son accesible y ampliamente utilizada; sin embargo, no permiten una identificación precisa de los compuestos responsables de la actividad antioxidante, a diferencia de métodos más específicos como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Asimismo, no se realizó una caracterización cualitativa ni cuantitativa de los metabolitos antioxidantes presentes, lo que limita una comprensión más detallada de los compuestos bioactivos involucrados. Finalmente, los resultados obtenidos mediante el método DPPH no son directamente comparables con los reportados por métodos como ORAC, debido a las diferencias en sus principios metodológicos y mecanismos de medición de la actividad antioxidante.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Gutiérrez V, R J. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. Rev Cuba Med Mil. junio de 2002;31(2):126-33.
2. Mayor R. Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante. Rev Inst Med Trop. diciembre de 2010;5(2):23-9.
3. Chaverri JP, Rodríguez NC. Especies reactivas de oxígeno y sistemas antioxidantes. Aspectos básicos. Educ Quím. 2006;17(2):164-73.
4. Llacuna L, Mach N. Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. Rev Esp Nutr Humana Dietética. 1 de enero de 2012;16(1):16-24.
5. Pincay IGP, Gualan TLC, Viteri HMG, Andrade FJQ. Dieta alimentaria para la prevención de enfermedades no transmisibles. Arandu UTIC. 22 de octubre de 2024;11(2):1140-55.
6. Guyton y Hall. Fisiología médica. 13.^a ed. Ciudad de Mexico: Elsevier; 2016.
7. Fernández JM, Da Silva ME, Túnez-Fiñana I. Estrés oxidativo inducido por el ejercicio. Rev Andal Med Deporte. 1 de marzo de 2009;2(1):19-34.
8. Coronado H, Vega S, Gutierrez T, Vasquez F, Radilla V. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. Univ Autónoma Metrop Unidad Xochim México. 2015;2(42):206-12.
9. Higgins MR, Izadi A, Kaviani M. Antioxidants and exercise performance: with a focus on vitamin E and C supplementation. Int J Environ Res Public Health. 15 de noviembre de 2020;17(22):8452.

10. Rendra E, Riabov V, Mossel DM, Sevastyanova T, Harmsen MC, Kzhyshkowska J. Reactive oxygen species (ROS) in macrophage activation and function in diabetes. *Immunobiology*. marzo de 2019;224(2):242-53.
11. Prieto D. Especies reactivas de oxígeno: papel en la función vascular y en la disfunción endotelial asociada a la enfermedad metabólica. *Real Acad Farm*. 2019;288-300.
12. Sánchez V, Méndez. Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad. *Médica Sur*. 18 de mayo de 2018;20(3):161-8.
13. Saravia D, Espinoza G. Estudio de pre-factibilidad para la producción y comercialización de néctar de ajonjolí en Lima metropolitana [Internet]. [Lima-Perú]: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2015 [citado 21 de junio de 2025]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5986>
14. Pérez PL, Pérez JL. Métodos para medir el daño oxidativo. *Rev Cuba Med Mil*. diciembre de 2000;29(3):192-8.
15. Kuskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, Mancini-Filho J, Fett R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc E Tecnol Aliment*. diciembre de 2005;25(4):726-32.
16. Rincón AM, R MNP de, Rached LB, Romero AH, Bucarito LC, Padilla F de J. Métodos para la determinación de la actividad antioxidante de vegetales. *Rev Fac Farm*. 2011;74(1):24-8.
17. Benítez A, Villanueva J, González G, Alcántar VE, Puga R, Quintero AG, et al. Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Rev Espec En Cienc Quím-Biológicas* [Internet]. 2020 [citado 22 de diciembre de 2024];23. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-888X2020000100103&lng=es&nrm=iso&tlng=es
18. Rioja Antezana AP, Vizaluque BE, Aliaga E, Tejeda L, Book O, Mollinedo P, et al. Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Rev Boliv Quím*. 2018;35(5):168-76.
19. Delgado WA. Por qué se enrancian las grasas y aceites? *Palmas*. 1 de enero de 2004;25(2):35-43.
20. Ayala A, Muñoz MF, Argüelles S. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal. *Oxid Med Cell Longev*. 2014;2014:360438.
21. Wei P, Zhao F, Wang Z, Wang Q, Chai X, Hou G, et al. Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*. 30 de septiembre de

- 2022;14(19):4079.
22. Sumaina G, Laban L. Tahini: The Magical Condiment In-Depth Look at its Nutritional and Health Benefits.
 23. Sadeghi N, Vafi MR, Jannat B, Behzad M, Oveisi MR, Hajimahmoodi M. Evaluation of Total Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Different Tahini (Sesame Paste) Brands in Iran's Market. *mljgoums*. 1 de marzo de 2020;14(2):13 EP - 19.
 24. García MR, Prieto IGS, Barrientos CE. Tablas peruanas de composición de alimentos. Ministerio de Salud; 2023.
 25. Arriba C, Battistini T, Rodríguez MG, Bernabé A. Asociación entre obesidad y consumo de frutas y verduras: un estudio de base poblacional en Perú. *Rev Chil Nutr*. septiembre de 2015;42(3):241-7.
 26. García CJC. Estudio de interrelación entre potencial antioxidante de la dieta y biomarcadores de capacidad antioxidante, nutrientes antioxidantes e inflamación. [Granada]: Universidad de Granada; 2019.
 27. Sadeghi N, Vafi MR, Jannat B, Behzad M, Oveisi MR, Hajimahmoodi M. Evaluation of Total Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Different Tahini (Sesame Paste) Brands in Iran's Market. *Med Lab J*. 10 de marzo de 2020;14(2):13-9.
 28. Zhong Y, Shahidi F. Métodos para la evaluación de la actividad antioxidante en alimentos 1. En: Shahidi F, editor. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation* [Internet]. Woodhead Publishing; 2015 [citado 22 de diciembre de 2024]. p. 287-333. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782420897000129>
 29. Sawaya WN, Ayaz M, Khalil JK, Al-Shalhat AF. Chemical composition and nutritional quality of tehneh (sesame butter). *Food Chem*. 1 de enero de 1985;18(1):35-45.
 30. Fagali NS. Peroxidación de diferentes especies lipídicas: efecto de antioxidantes [Internet] [Doctor en Ciencias Exactas, área Química]. Universidad Nacional de La Plata; 2011 [citado 4 de enero de 2025]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2739>
 31. Gobierno promueve cultivo de ajonjolí, en beneficio de más de 180 productores agrarios de la región Ucayali [Internet]. [citado 16 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/agromercado/noticias/1146180-gobierno-promueve->

cultivo- de-ajonjolí-en-beneficio-de-mas-de-180-productores-agrarios-de-la-region-ucayali

32. Parohan M, Anjom-Shoae J, Nasiri M, Khodadost M, Khatibi SR, Sadeghi O. Dietary total antioxidant capacity and mortality from all causes, cardiovascular disease and cancer: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur J Nutr.* septiembre de 2019;58(6):2175-89.
33. Ruiz Mora FE, Cordova Suarez M, Silva Ordoñez MDP, Álvarez Núñez MF. Estudio de la estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*) empleando antioxidantes. *Rev Investig Talent.* 2023;10(2):29-40.
34. Brand W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol.* 1 de enero de 1995;28(1):25-30.
35. Benzie I, Strain J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Anal Biochem.* 15 de julio de 1996;239(1):70-6.
36. Buege JA, Aust SD. Microsomal lipid peroxidation. En: Fleischer S, Packer L, editores. *Methods in Enzymology* [Internet]. Academic Press; 1978 [citado 5 de enero de 2025]. p.302-10. (Biomembranes - Part C: Biological Oxidations; vol. 52). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0076687978520326>
37. Boom EA, Orozco JA, Alean JD, Rojano B, Boom EA, Orozco JA, et al. Evaluación de la actividad antioxidante de aceites esenciales de eucaliptos cultivados en Colombia. *Inf Tecnológica.* diciembre de 2018;29(6):57-66.
38. Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros L. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J Food Compos Anal.* 1 de septiembre de 2006;19(6-7):669-75.
39. Álvarez R, Araya H, Navarro-Lisboa R, Lopez de Dicastillo C. Evaluation of Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Fruits and Vegetables Using a Modified Enzymatic Extraction. *Food Technol Biotechnol.* diciembre de 2016;54(4):462-7.
40. Apak R, Özyürek M, Güçlü K, Çapanoğlu E. Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 1. Classification, Physicochemical Principles, Mechanisms, and Electron Transfer (ET)-Based Assays. *J Agric Food Chem.* 10 de febrero de 2016;64(5):997-1027.

41. Koontz L. TCA precipitation. *Methods Enzymol.* 2014;541:3-10.
42. Romulo A. The Principle of Some In vitro Antioxidant Activity Methods: Review. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* febrero de 2020;426(1):012177.
43. Lee MY, Han JH, Kang MH. Protective effect of Korean diet food groups on lymphocyte DNA damage and contribution of each food group to total dietary antioxidant capacity (TDAC). *J Nutr Health.* 31 de octubre de 2016;49(5):277-87.
44. Melo D, Álvarez-Ortí M, Nunes MA, Costa ASG, Machado S, Alves RC, et al. Whole or Defatted Sesame Seeds (*Sesamum indicum* L.)? The Effect of Cold Pressing on Oil and Cake Quality. *Foods.* 6 de septiembre de 2021;10(9):2108.
45. Sławińska N, Olas B. Effect of thermal processing on the antioxidant activity of oilseeds used in bakery products: A systematic review. *Ind Crops Prod.* 1 de octubre de 2025;233:121459.
46. Carvajal de Pabón LM, Turbay S, Rojano B, Álvarez LM, Luz Restrepo S, Álvarez JM, et al. Algunas especies de Passiflora y su capacidad antioxidante. *Rev Cuba Plantas Med.* diciembre de 2011;16(4):354-63.
47. Geil PB. Choose Your Foods: Exchange Lists for Diabetes: The 2008 Revision of Exchange Lists for Meal Planning. *Diabetes Spectr.* 1 de octubre de 2008;21(4):281-3.
48. Moreno-Rojas JM, Velasco-Ruiz I, Lovera M, Ordoñez-Díaz JL, Ortiz-Somovilla V, De Santiago E, et al. Evaluation of Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Eleven Pistachio Cultivars (*Pistacia vera* L.) Cultivated in Andalusia. *Antioxidants.* abril de 2022;11(4):609.
49. Figueroa M, Rosales P, Santoyo F, Ramos O, Garcia F, Hernandez M, et al. Antioxidant Properties of Red and Yellow Varieties of Cashew Apple, Nut and Husk (*Anacardium Occidentale* L.) Harvested in Mexico. *J Antioxid Act.* 5 de junio de 2019;1(4):19-32.
50. Valdés A, Garrigós M, Jiménez A. Extraction and Characterization of Antioxidant Compounds in Almond (*Prunus amygdalus*) Shell Residues for Food Packaging Applications. *Membranes* [Internet]. 20 de agosto de 2022 [citado 26 de julio de 2025];12(8). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36005720/>
51. USDA FoodData Central [Internet]. [citado 5 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/>

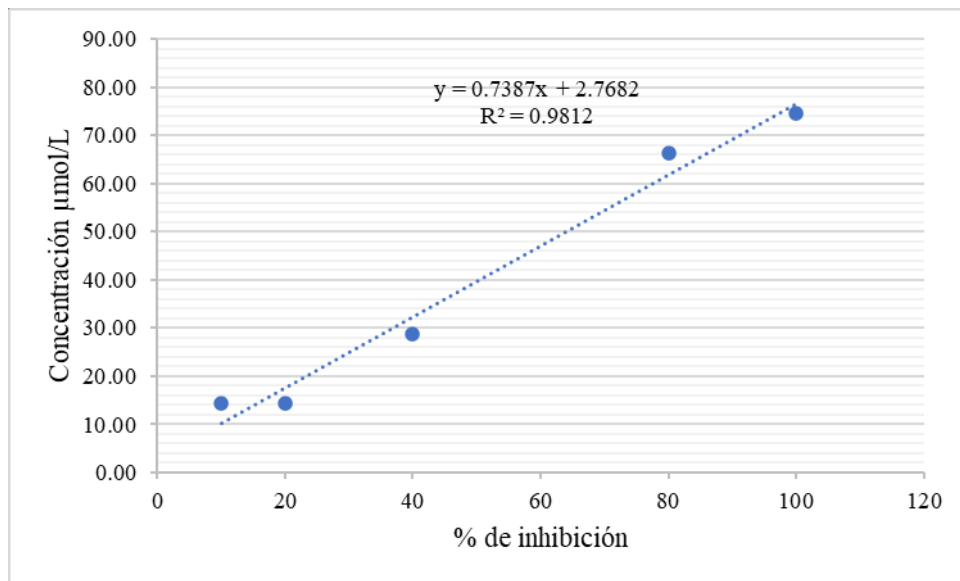
52. Ramesh B, Saravanan R, Pugalendi K. Influence of Sesame Oil on Blood Glucose, Lipid Peroxidation, and Antioxidant Status in Streptozotocin Diabetic Rats. *J Med Food*. septiembre de 2005;8(3):377-81.
53. Food matrixes play a key role in the distribution of contaminants of lipid origin: A case study of malondialdehyde formation in vegetable oils during deep-frying. *Food Chem*. 15 de junio de 2021;347:129080.
54. Lasheras C, Gonzalez S, Huerta JM, Lombardia C, Ibañez R, Patterson AM, et al. Food habits are associated with lipid peroxidation in an elderly population. *J Am Diet Assoc*. noviembre de 2003;103(11):1480-7.
55. Wang X, Fan J, Dong X, Zhang S, Yang Q, Chi S, et al. Dietary Malondialdehyde Impair Intestinal Health and Fillet Quality of Hybrid Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *E. lanceolatus*♂). *Anim Open Access J MDPI*. 8 de noviembre de 2024;14(22):3208.
56. Moreto F, de Oliveira EP, Manda RM, Burini RC. The Higher Plasma Malondialdehyde Concentrations Are Determined by Metabolic Syndrome-Related Glucolipototoxicity. *Oxid Med Cell Longev*. 2014;2014:505368.

ANEXOS

1. Evidencia fotográfica del producto analizado



2. Curva de calibración de Trolox en el ensayo DPPH



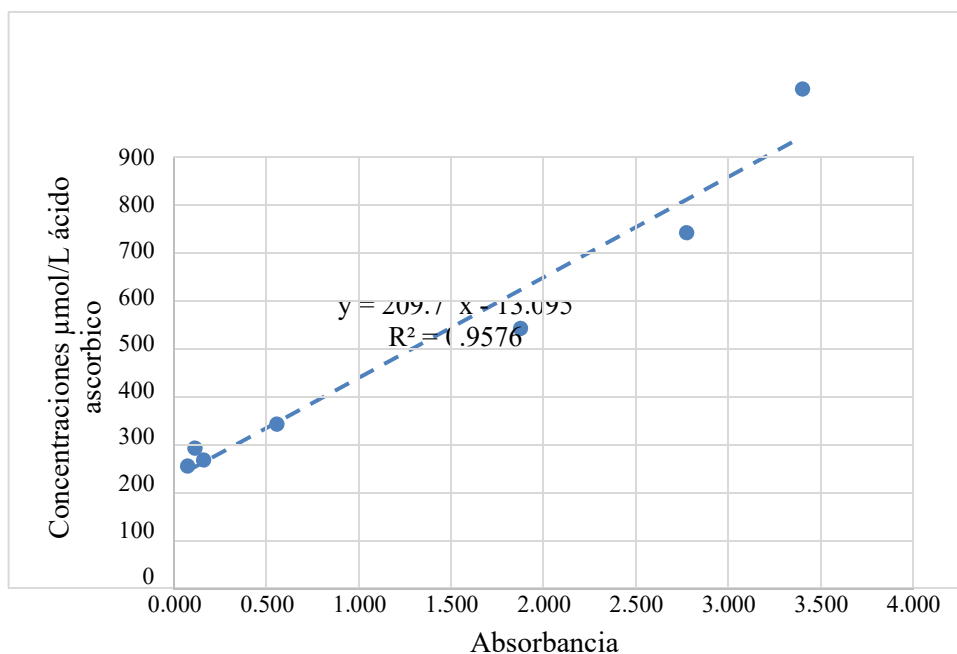
3. Mínimos y máximos de porcentaje de inhibición

% Inhibición	Máximo	Mínimo
Agua	68.30%	43.49%
TCA	85.75%	77.15%

4. Resultados del ensayo DPPH para muestras de pasta de ajonjolí tratadas con agua y TCA determinados mediante DPPH

	% de inhibición	μmol/L equivalente de Trolox	μmol/g muestra	μmol/100 g muestra
Muestra 1 agua	59.46	46.69	225.56	22555.99
Muestra 1 agua 2	43.49	34.89	168.57	16856.75
Muestra 2 agua	61.18	47.96	211.28	21128.37
Muestra 2 agua 2	59.95	47.05	207.29	20728.59
Muestra 3 agua	67.81	52.86	244.73	24473.08
Muestra 3 agua 2	68.30	53.22	246.41	24641.14
Muestra 1 TCA	83.54	64.48	282.80	28279.73
Muestra 1 TCA 2	81.57	63.03	276.43	27642.89
Muestra 2 TCA	85.75	66.11	236.11	23611.17
Muestra 2 TCA 2	82.31	63.57	227.04	22703.67
Muestra 3 TCA	81.08	62.66	307.17	30717.06
Muestra 3 TCA 2	77.15	59.76	292.94	29293.54

5. Curva estándar de ácido ascórbico: relación entre concentración (μmol/L) y absorbancia determinados mediante por FRAP

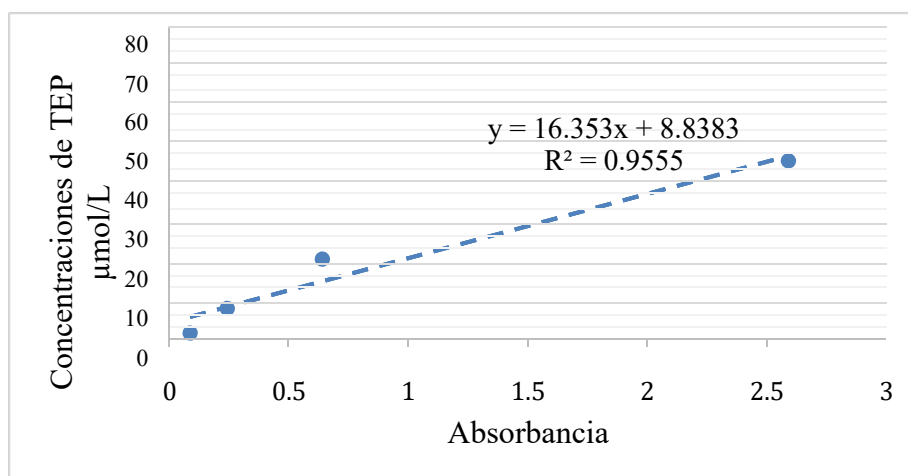


6. Tabla de resultados de absorbancia y concentraciones equivalentes de ácido ascórbico ($\mu\text{mol AAE}$) en $\mu\text{mol/L}$, $\mu\text{mol/g}$ y $\mu\text{mol/100 g}$ determinados mediante por FRAP

		Absorbancia	$\mu\text{mol/L}$	$\mu\text{mol/g}$ muestra	$\mu\text{mol/100}$ gr
Muestra	1	1.48	297.93	62.49	6248.58
agua					
Muestra	1	1.38	276.54	58.00	5799.91
agua 2					
Muestra	2	1.32	263.96	54.88	5487.51
agua					
Muestra	2	1.30	258.72	53.79	5378.50
agua 2					
Muestra	3	1.38	275.91	57.73	5772.65
agua					
Muestra	3	1.34	268.78	56.23	5623.46
agua 2					
Muestra	1	0.62	116.31	25.98	2597.63
TCA					

Muestra	1	0.51	93.87	20.96	2096.43
TCA	2	0.65	123.65	27.71	2770.56
Muestra	2	0.58	109.39	24.51	2451.01
TCA	2	0.61	115.68	25.66	2566.09
Muestra	3	0.57	105.40	23.38	2338.13
TCA	2				

7. Curva estándar de TEP: Absorbancia y concentración (µmol/L) determinada mediante el ensayo TBARS



8. Absorbancia y concentraciones de MDA determinadas mediante el ensayo TBARS

	Absorbancia	Concentracion µmol/L	µmol/g muestra	µg/g de muestra	Concentración MDA µg/g
Muestra 1 agua	0.145	11.21	0.73	0.10	7.03
Muestra 1 agua 2	0.140	11.13	0.73	0.10	6.98

Muestra 2 agua	0.207	12.22	0.85	0.11	8.17
Muestra 2 agua 2	0.215	12.35	0.86	0.11	8.26
Muestra 3 agua	0.129	10.95	0.64	0.09	6.17
Muestra 3 agua 2	0.216	12.37	0.73	0.10	6.97
Muestra 1 TCA	0.311	13.92	0.88	0.12	8.50
Muestra 1 TCA 2	0.199	12.09	0.77	0.10	7.38
Muestra 2 TCA	0.095	10.39	0.67	0.09	6.41
Muestra 2 TCA 2	0.295	13.66	0.88	0.12	8.42
Muestra 3 TCA	0.158	11.42	0.76	0.10	7.34
Muestra 3 TCA 2	0.163	11.50	0.77	0.10	7.39

9. Capacidad antioxidante y concentración de MDA por porción de 10 g de pasta de ajonjolí, según tipo de disolvente

Método	Disolvente	μmol/g	μmol/10g
DPPH (μmol TE/g)	Agua destilada	217.3	2173
	TCA al 5%	270.4	2704
FRAP (μmol AAE/g)	Agua destilada	57.18	571.8
	TCA al 5%	24.7	247
TBARS (μg MDA/g)	Agua destilada	7.26	72.6
	TCA al 5%	7.57	75.7