UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Título

ESTUDIO DEL IMPACTO DE SOLVENTES ALTERNATIVOS EN LA RECUPERACIÓN DE POLIFENOLES CON EFECTOS INHIBIDORES DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DIABETES MELLITUS TIPO 2 A PARTIR DE SEMILLAS DE TUNA ROJA

TESIS

PRESENTADO POR:
BACH. KATHERIN THALIA QUISPE YUCRA

Asesor: Dr. ELIAS ESCOBEDO PACHECO
Co – Asesor: Dr. NILS LEANDER HUAMÁN CASTILLA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CIENCIAS AGROINDUSTRIALES

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MOQUEGUA – PERÚ
2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Folio N° ...31.....

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM FEDATARIO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:

RESOLUCION DE FACULTAD N° 250 - 2025 - CF - FAIN - UNAM

Fecha: 06-09-2023 Resolución de Facultad N° 135-2023-FACIA-UNAM

III. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N°250 - 2025 - CF - FAIN - UNAM

Fecha: 14 - 11 - 2025

IV. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS,

TITULADO: ESTUDIO DEL IMPACTO DE SOLVENTES ALTERNATIVOS EN LA RECUPERACIÓN DE POLIFENOLES CON EFECTOS INHIBIDORES DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DIABETES MELLITUS TIPO 2 A PARTIR DE SEMILLAS DE TUNA ROJA"

Bachiller: KATHERIN THALIA QUISPE YUCRA

Asesor Principal: ELIAS ESCOBEDO PACHECO

Co-Asesor: NILS LEANDER HUAMAN CASTILLA

V. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 19:20 horas, del 19 de NOVIEMBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente	Primer Miembro	Segundo Miembro
Erick Manuel Saldaña Villa	César Augusto Napa Almeyda	
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

Miembro Accesitario
Ing. Raquel Allison Choquehuanca Pineda
(Nombres y Apellidos)

Asesor Principal	Bachiller	Co-Asesor
Elías Escobedo Pacheco	Katherin Thalia Quispe Yucra	Nils Leander Huaman Castilla
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mi adorado Dios

Por ser mi refugio, mi fortaleza y guía en cada paso. Su amor y presencia nunca me abandonaron, dándome la fe, confianza y la esperanza para creer en lo imposible por que en medio de la adversidad nos enseñó a aferrarnos a Él. Gracias a Su luz, aprendí que todo propósito florece cuando se camina con fe.

A mi amada mamita Reyna Yucra Cruz

Ejemplo eterno de amor, valentía y fe. Eres mi pilar, mi mayor inspiración y la fuerza que me impulsó cuando el cansancio o el miedo intentaron detenerme. Tu entrega inquebrantable y tu espíritu lleno de esperanza me enseñaron a confiar en Dios y a no rendirme. Este logro lleva impreso todo tu amor por que en cada línea está tu huella. Tu fortaleza me inspira y tu amor me sostiene cada día.

A mis dos princesas Itzel y Arlett

Mis más grandes bendiciones. A Itzel, por su amor, comprensión y madurez, por alentarme y acompañarme incluso en mis responsabilidades, llenándome de orgullo con su esfuerzo y sus logros. Y Arlett, por su ternura y alegría, por iluminar mis días con su sonrisa y recordarme que aun en los momentos más difíciles, la vida siempre renace con amor. Ustedes son y serán siempre mi mayor motivo para seguir soñando y alcanzar todo lo que me proponga.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a **Dios**, por concederme salud, sabiduría, amor y confianza para culminar esta tesis. Su presencia y guía hicieron posible cada paso de este logro.

A la **Universidad Nacional de Moquegua**, por financiar esta investigación según la *Resolución de la Comisión Organizadora* ***N.° 1081-2023-UNAM***.

A las unidades de la **Dirección del Instituto de Investigación para el Desarrollo del Perú (IINDEP)**, por el apoyo y acompañamiento brindado durante el proceso de postulación y ejecución del financiamiento.

De todo corazón, expreso mi profundo agradecimiento a mis asesores: el **Dr. Nils Leander Huamán Castilla**, cuya experiencia, orientación constante, dedicación, paciencia, compromiso y aportes académicos fueron un pilar esencial para el desarrollo de esta investigación; y el **Dr. Elías Escobedo Pacheco**, por su apoyo y motivación, así como por impulsarme a postular al IINDEP y asumir la gestión documental necesaria durante todo el proceso.

A los **miembros del jurado**, por sus valiosas sugerencias, observaciones y comentarios que contribuyeron significativamente a la mejora de este trabajo.

A mi madre, **Reyna Yucra Cruz**, por criarme con valores firmes y enseñarme el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia. A pesar de las dificultades, siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo incondicional. Este logro también es tuyo, por cuidar con dedicación y ternura a mis hijas, permitiéndome cumplir con las jornadas de laboratorio y dedicar el tiempo necesario a la redacción de esta tesis. Eres, sin duda, el pilar más importante de mi vida.

A mi compañero de vida, **Heleman Manzano**, por su compañía, su apoyo moral, su aliento constante y ser mi fuente de alegría en los momentos más desafiantes.

A los **profesionales y técnicos de laboratorio** que me brindaron su apoyo, compartieron sus conocimientos y facilitaron los espacios necesarios para la ejecución experimental de este estudio.

Finalmente, a mis compañeros **Omar, Salomé, Jhony y María Fernanda**, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y valiosos momentos dentro de los laboratorios. Su ayuda y compañerismo fueron parte esencial de este recorrido.

RESUMEN

La tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) es un fruto ampliamente cultivado en el sur del Perú, cuya producción supera las 80 000 toneladas anuales. No obstante, su consumo y procesamiento generan entre 40 % y 55 % de residuos (cáscaras y semillas). En particular, las semillas representan entre el 10 % y 15 % del peso total del fruto y constituyen una fuente natural de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes. En este contexto, el presente estudio evaluó el efecto del uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) y tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) sobre la recuperación de polifenoles con capacidad antioxidante y propiedades inhibitorias de enzimas relacionadas con la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), mediante un sistema de extracción con líquidos presurizados (ELP). Para tal fin, se analizaron el contenido total de polifenoles, capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ORAC, el perfil de compuestos fenólicos específicos y la inhibición de enzimas relacionadas a la diabetes (α-amilasa y α-glucosidasa). Los resultados mostraron que el incremento de la temperatura favoreció la recuperación de polifenoles, siendo el 30 % de etanol a 150 °C la condición más eficiente para recuperar polifenoles (6,39 mg EAG/gss) con alta capacidad antioxidante por DPPH y ORAC con valores de IC_{50}: 5,94 mg/mL y ORAC: 221,87 µmol ET/gss, respectivamente. El perfil de polifenoles evidenció que, el uso del 30 % de etanol a 150 °C favoreció la extracción de catequina (2,69 µg/gss) y apigenina (1,67 µg/gss), mientras que el agua pura a la misma temperatura resultó más eficiente en la recuperación de procianidinas A2 y B2 (12,81 y 35,59 µg/gss, respectivamente). No obstante, los extractos obtenidos con 30 % de etanol a 120 °C y 90 °C presentaron la mayor capacidad de inhibición enzimática frente a α-amilasa y α-glucosidasa con 40 % y 52 %, respectivamente. Estos resultados confirman que la ELP combinada con mezclas agua-etanol constituyen una alternativa verde y eficiente para revalorizar las semillas de tuna roja, permitiendo obtener extractos ricos en polifenoles con potencial aplicación en alimentos funcionales orientados al control de la glucemia y la prevención de la DM2.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, extracción con líquidos presurizados, solventes alternativos, compuestos fenólicos, inhibición enzimática, alimentos funcionales, regulación glucémica.

ABSTRACT

The red prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) is widely cultivated in southern Peru, with annual production exceeding 80,000 tons. However, its consumption and processing generate 40–55% waste (peels and seeds). The seeds account for 10–15% of the fruit's total weight and represent a natural source of bioactive compounds with antioxidant and hypoglycemic properties. This study evaluated the effect of using alternative solvents (water, 30% ethanol, and 30% isopropanol) and three temperatures (90, 120, and 150 °C) on the recovery of polyphenols with antioxidant capacity and inhibitory activity against enzymes related to type 2 diabetes mellitus (T2DM), using a pressurized liquid extraction (PLE) system. Total polyphenol content, antioxidant capacity by DPPH and ORAC assays, specific phenolic profiles, and inhibition of diabetes-related enzymes (α-amylase and α-glucosidase) were analyzed. The results showed that increasing temperature favored polyphenol recovery, with 30% ethanol at 150 °C being the most efficient condition (6.39 mg GAE/g dry weight), exhibiting high antioxidant capacity by DPPH and ORAC (IC_{50} = 5.94 mg/mL; ORAC = 221.87 µmol TE/g dry weight). The phenolic profile indicated that 30% ethanol at 150 °C favored the extraction of catechin (2.69 µg/g dry weight) and apigenin (1.67 µg/g dry weight), whereas pure water at the same temperature was more effective in recovering procyanidins A2 and B2 (12.81 and 35.59 µg/g dry weight). Extracts obtained with 30% ethanol at 120 °C and 90 °C presented the highest inhibitory activities against α-amylase (40%) and α-glucosidase (52%). These findings confirm that PLE combined with water–ethanol mixtures constitutes a green and efficient alternative for valorizing red prickly pear seeds, enabling the production of polyphenol-rich extracts with potential applications in functional foods aimed at glycemic control and T2DM prevention.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, pressurized liquid extraction, alternative solvents, phenolic compounds, enzymatic inhibition, functional foods, glycemic regulation.

ÍNDICE

I. Planteamiento del problema 3
1.1. Descripción y formulación del problema 3
1.2. Objetivos 5
1.2.1. Objetivo General 5
1.2.2. Objetivos específicos 5
1.3. Justificación e importancia 5
1.4. Hipótesis 7
1.4.1. Hipótesis general 7
1.5. Variables 7
II. Marco teórico 8
2.1. Antecedentes del problema 8
2.2. Bases teóricas 11
2.2.1. Tuna (*Opuntia Ficus Indica L. Miller*) 11
2.2.2. Producción de tuna 13
2.2.3. Semillas del fruto de la tuna 15
2.2.4. Compuestos bioactivos 18
2.2.5. Propiedades bioactivas de los polifenoles 19
2.2.6. Polifenoles 22
2.2.7. Clasificación de los polifenoles 23
2.2.8. Fenoles presentes en la tuna 25
2.2.9. Capacidad antioxidante 27
2.2.10. Métodos de extracción de compuestos bioactivos 28
2.2.11. La diabetes 35
2.2.12. Diabetes en el Perú 35
2.2.13. Tipos de diabetes 36
2.2.14. Función de la alfa amilasa y alfa glucosidasa en el organismo 38
2.2.15. Importancia de inhibir el alfa amilasa y alfa glucosidasa 40
2.3. Definición de términos 40
III. Metodología 42
3.1. Tipo y nivel de investigación 42
3.2. Ámbito temporal y espacial 42
3.3. Población y muestra 42
3.4. Instrumentos 42
3.4.1. Materia prima 42

3.4.2. Instrumentos y materiales 43
3.4.3. Equipos 44
3.4.4. Insumos y reactivos 44
3.5. Procedimientos 46
3.5.1. Acondicionamiento de la muestra 46
3.5.2. Extracción por líquidos presurizados (ELP) 47
3.5.3. Determinación de polifenoles totales 49
3.5.4. Determinación de capacidad antioxidante 50
3.5.5. Identificación del perfil de polifenoles específicos 52
3.5.6. Inhibición de enzimas relacionadas con la DM2 54
3.5.7. Análisis de datos 59
IV. Resultados y discusiones 60
4.1. Efecto del uso de solventes alternativos y altas temperaturas sobre el contenido de compuestos antioxidantes 60
4.1.1. Polifenoles totales 60
4.2. Actividad antioxidante 61
4.2.1. Actividad antioxidante mediante el método DPPH 61
4.2.2. Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) 63
4.3. Cuantificación del perfil de polifenoles específicos 64
4.3.1. Ácidos fenólicos (Ácido vanílico) 64
4.3.2. Flavanoles 64
4.3.3. Flavonoles 65
4.3.4. Estilbenos (Resveratrol) 65
4.3.5. Flavona (Apigenina) 66
4.3.6. Feniletanoides 66
4.4. Impacto del uso de solventes alternativos para inhibir enzimas relacionadas con la Diabetes Mellitus 2 68
4.4.1. Inhibición de la actividad de alfa amilasa 68
4.4.2. Inhibición de la actividad de alfa glucosidasa 70
V. Conclusiones 73
VI. Recomendaciones 74
VII. Referencias bibliográficas 75
VIII. Anexos 113

Índice de tablas

Tabla 1 *Variables independientes y dependientes* 7
Tabla 2 *Taxonomía del Nopal (Opuntia ficus-indica Linneo Miller)* 11
Tabla 3 *Producción nacional de tuna en el Perú* 14
Tabla 4 *Producción regional de tuna según provincias y distritos de Moquegua* 15
Tabla 5 *Composición química de la tuna* 17
Tabla 6 *Composición de la tuna* 18
Tabla 7 *Características funcionales de ciertos polifenoles específicos en semillas* 20
Tabla 8 *Polifenoles totales en semillas de tuna* 25
Tabla 9 *Perfil de polifenoles específicos en semillas de tuna obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU)* 26
Tabla 10 *Contenido de polifenoles individuales en semillas de tuna liofilizadas extraídos por maceración en frío* 27
Tabla 11 *Grupos de hipoglicemiantes orales* 37
Tabla 12 *Contenido de polifenoles totales en extractos de semilla de tuna roja* 61
Tabla 13 *Capacidad antioxidante por el método DPPH en semillas de tuna roja* 62
Tabla 14 *Poder antioxidante (ORAC) en extractos de semillas de tuna roja* 63
Tabla 15 *Polifenoles específicos en extractos obtenidos de semillas de tuna roja* 67

Índice de figuras

Figura 1 *Opuntia ficus-indica y sus partes* 12
Figura 2 *Frutos y semillas de Opuntia dilleniid* 13
Figura 3 *Sección transversal de la semilla de tuna* 16
Figura 4 *Ácidos fenólicos en Nopal* 23
Figura 5 *Clasificación de polifenoles* 24
Figura 6 *Funcionamiento de antioxidantes* 27
Figura 7 *Técnicas de extracción* 29
Figura 9 *Diagrama esquemático de extracción de calor y flujo por maceración* 30
Figura 10 *Diagrama esquemático de extracción soxhlet* 31
Figura 11 *Esquema de extracción asistida por ultrasonido* 32
Figura 12 *Diagrama esquemático del efecto de extracción con líquidos presurizados* 33
Figura 13 *Extracción asistida por microondas* 34
Figura 14 *Función de las enzimas en el organismo y el efecto inhibidor* 39
Figura 14 *Acondicionamiento de la muestra (Semillas de tuna roja)* 46
Figura 15 *Esquema del proceso experimental de investigación* 48
Figura 16 *Metodología para cuantificación de polifenoles totales* 49
Figura 17 *Metodología de capacidad antioxidante con DPPH* 50
Figura 18 *Metodología para determinar capacidad antioxidante por ORAC* 52
Figura 19 *Metodología para Perfil de Polifenoles* 53
Figura 20 *Metodología para determinar el porcentaje de inhibición de α-amilasa* 55
Figura 21 *Metodología para determinar el porcentaje de inhibición de α-glucosidasa* 58
Figura 23 *Influencia de los extractos sobre la actividad enzimática de la α-amilasa* 69
Figura 24 *Influencia de los extractos sobre la actividad enzimática de la α-glucosidasa* 71

Índice de Anexos

Anexo A *Registro fotográfico del acondicionamiento de la muestra* 113
Anexo B *Registro fotográfico del proceso de extracción por ELP* 115
Anexo C *Registro fotográfico del contenido de polifenoles totales* 116
Anexo D *Panel fotográfico del análisis de capacidad antioxidante* 116
Anexo E *Registro fotográfico durante el análisis del perfil polifenólico* 117
Anexo F *Registro fotográfico en el proceso de inhibición enzimática* 119
Anexo G *Curva de calibración con ácido gálico por el método de Folin Ciocalteu* 121
Anexo H *Parámetros de calibración para la cuantificación de polifenoles específicos mediante HPLC* 122
Anexo I *Pruebas de normalidad y homocedasticidad por variable dependiente* 123
Anexo J *Análisis de varianza multifactorial del CTP en extractos de semillas de tuna* 123
Anexo K *Análisis de varianza multifactorial para capacidad antioxidante por DPPH* 126
Anexo L *Análisis de varianza multifactorial para capacidad antioxidante por ORAC* 128
Anexo M *Panel gráfico del perfil de polifenoles específicos* 130
Anexo N *Análisis comparativo en la inhibición de α-amilasa* 133
Anexo O *Análisis comparativo en la inhibición de α-glucosidasa* 138

INTRODUCCIÓN

El aumento de la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), constituye uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial. Esta enfermedad se caracteriza por niveles elevados de glucosa en sangre debido a la resistencia o deficiencia de insulina, lo que puede ocasionar complicaciones cardiovasculares, renales y neurológicas (Darenskaya et al., 2023; Ong et al., 2023). Una de las estrategias terapéuticas más efectivas para su control consiste en inhibir las enzimas digestivas α-amilasa y α-glucosidasa, responsables de la degradación de carbohidratos complejos en glucosa. No obstante, el uso prolongado de fármacos inhibidores como la acarbosa o el miglitol se asocia con efectos secundarios gastrointestinales, lo que ha impulsado la búsqueda de inhibidores naturales de origen vegetal (Ahmed et al., 2022; Rodriguez-saavedra et al., 2025).

En este contexto, los subproductos agroindustriales han adquirido relevancia como fuente económica y sostenible de compuestos bioactivos, especialmente polifenoles con propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes (Mellinas et al., 2022; Saini et al., 2025). En el sur del Perú, la producción de tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) constituye una actividad agrícola de creciente relevancia, cuyo procesamiento genera una cantidad considerable de residuos sólidos, principalmente cáscaras y semillas que, en conjunto, representan casi la mitad del fruto y, a pesar de ser comúnmente desaprovechados, poseen un alto potencial para ser valorizados como fuente natural de metabolitos bioactivos de interés industrial (FAO, 2022; DRA, 2024). Diversos estudios han identificado en estas semillas compuestos fenólicos como catequina, quercetina, ácido clorogénico y procianidinas, asociados con la inhibición de enzimas vinculadas al metabolismo de carbohidratos y la regulación de la glucemia (Bouaouich et al., 2023; Mamani Parí et al., 2025; J. Zhang et al., 2023).

Tradicionalmente, los polifenoles se han obtenido mediante métodos de extracción convencionales como la maceración o Soxhlet, los cuales requieren grandes volúmenes de solventes orgánicos y tiempos prolongados de operación, afectando la estabilidad de los compuestos y generando un impacto ambiental negativo (Lampakis et al., 2021). En respuesta, se han desarrollado tecnologías de extracción verde como la extracción asistida por ultrasonido, microondas y líquidos presurizados, que permiten mejorar la eficiencia y selectividad del proceso, reduciendo el uso de solventes tóxicos (Rajbhar et al., 2015; Yenduri et al., 2025). La extracción con líquidos presurizados (ELP) ha demostrado ser una técnica versátil para obtener extractos fenólicos de alta pureza bajo condiciones controladas de temperatura y presión, utilizando solventes seguros como agua o etanol (Osorio-Tobón, 2020).

En ese sentido, el presente estudio evaluó el efecto del uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) y tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) en la recuperación de polifenoles a partir de semillas de tuna roja mediante ELP. Además, se analizó la capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ORAC, el perfil de compuestos fenólicos específicos mediante HPLC, y la inhibición enzimática sobre α-amilasa y α-glucosidasa, con el propósito de identificar las condiciones óptimas que permitan maximizar la recuperación de compuestos bioactivos y su aplicación potencial en la formulación de alimentos funcionales destinados al control de la glucemia posprandial.

I. Planteamiento del problema

1.1. Descripción y formulación del problema

A nivel mundial se cultivan aproximadamente 2,8 millones de hectáreas de tuna (FAO, 2022). En Perú, se cultivan ~12 000 hectáreas, de tuna, con una producción superior a las 73 000 toneladas anuales (MIDAGRI, 2024). En particular, Moquegua tiene un rendimiento anual de 7 231,57 kg/ha, ubicándose como el sexto departamento con mayor producción (DRA, 2024). Sin embargo, este fruto es altamente perecedero, con una vida útil relativamente corta (máximo 12 días), y de solo 3 a 4 semanas bajo refrigeración (Escareño-Contreras et al., 2023; Ramadan et al., 2021). Esto limita su procesamiento y comercialización en regiones cercanas como Puno, Tacna y Arequipa, donde suele venderse de manera directa (Andreu-Coll et al., 2021; Hahn-Schlam et al., 2019; Trindade et al., 2023). Debido a esta distribución, su consumo es principalmente en fresco, el cual genera residuos de piel y semilla que actualmente representan un desafío para la gestión ambiental (Arafa et al., 2023; Hernández-Carranza et al., 2019; Karabagias et al., 2020).

En los últimos años, diversos estudios han resaltado el potencial de las semillas de tuna como fuente de compuestos bioactivos. Éstas semillas serían una excelente fuente natural de polifenoles con importantes propiedades bioactivas, los cuales han despertado el interés en la industria de alimentos (Guedri et al., 2023; J. Zhang et al., 2023). Estas propiedades están reconocidas como antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, antiproliferativas, antiarrítmicas, antihipertensivas, hipoglucemiantes e hipocolesterolemiantes (Belhadj Slimen et al., 2021). Por ello, establecer estrategias para la recuperación de estos metabolitos es aún una tarea pendiente por resolver.

En general, para la recuperación de estos compuestos bioactivos se utilizan métodos convencionales tales como infusión, maceración (lixiviación de compuestos a partir de materia sólida) y la extracción Soxhlet (Belwal et al., 2020; Picot-Allain et al., 2021). Sin embargo, estos métodos son costosos, debido a que requieren mayor tiempo de extracción y el uso de solventes tóxicos (acetona, éter dietílico, acetato de etilo, metanol, etanol y hexano) (Kant & Kumar, 2022; Mohammed, 2018). Además, los residuos de estos solventes pueden permanecer en los productos finales, reduciendo la posibilidad de aplicarlos en el desarrollo de productos nutracéuticos (Brglez Mojzer et al., 2016). Por ello, se opta por nuevas

técnicas de extracción que permitan menor tiempo de proceso, menos uso energía, que mejoren la eficiencia, el rendimiento y sin contaminar el medio ambiente (Tena & Asuero, 2022).

Se han investigado métodos de extracción alternativos, también conocidos como “Green Technologies”, los cuales han tomado mayor relevancia debido a que son eficientes y ecoamigables gracias a la reducción en el uso de solventes orgánicos y/o sintéticos, menor tiempo de operatividad y a la obtención de extractos de mejor calidad (Castillo-Reyes et al., 2022; Roselló-Soto et al., 2016; Wong-Paz et al., 2021). Estas tecnologías alternativas tales como extracción acelerada por solventes (ASE), extracción por microondas (MAE), extracción asistida por ultrasonido (UAE) y la extracción por fluidos supercríticos (SFE) (Amaya-Cruz et al., 2019). Además, para una mejor opción ecológica se opta reemplazar los solventes orgánicos por solventes verdes tales como etanol y agua pura. Sin embargo, la búsqueda de solventes amigables más económicos que permitan reducir costos de proceso, como el uso de isopropanol, continúa siendo un gran desafío.

Aunque algunos estudios hasta la fecha han caracterizado químicamente el contenido de polifenoles, la capacidad antioxidante e incluso el perfil de polifenoles en diferentes tipos de semillas, no se ha definido claramente cómo estos extractos de polifenoles pueden ayudar a prevenir enfermedades degenerativas como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2). Esta enfermedad degenerativa crónica se caracteriza por presentar elevados niveles de glucosa en sangre, como consecuencia de la poca producción de insulina o relacionada a los trastornos metabólicos (Zhang et al., 2022). La Federación Internacional de Diabetes (IFD) (2021) reporta que existen 537 millones de personas entre los 20 y 79 años con algún tipo de diabetes y se estima que, para el 2045, este número se incremente a 784 millones de personas diagnosticadas. Además, según las tres regiones geográficas en el Perú, la prevalencia de DM2 es de 8,2 % de población que padece en la costa, el 4,5 % en la sierra y el 3,5 % en la selva (Asenjo-Alarcón, 2020; IDF, 2022). Por ello, bajo estas consideraciones, es importante promover el estudio del uso de solventes alternativos en un proceso alternativo para recuperar compuestos bioactivos de diferentes matrices agroindustriales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el uso de solventes alternativos (agua, etanol e isopropanol) combinadas con tres temperaturas (90, 120 y 150°C) para la recuperación de compuestos antioxidantes con efecto inhibitorio de la actividad de enzimas α-amilasa y α-glucosidasa relacionadas con la DM2 a partir de las semillas de tuna roja mediante una tecnología de ELP.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) a tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) sobre la recuperación de polifenoles totales y capacidad antioxidante mediante el proceso de ELP a partir de extractos obtenidos de las semillas de tuna roja.

- Determinar el impacto del uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) a tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) sobre el perfil de polifenoles mediante el uso de un método alternativo (ELP) a partir de extractos obtenidos de las semillas de tuna roja.

- Examinar la influencia del uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) a tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) sobre la capacidad de inhibición de la actividad enzimática (α-amilasa y α-glucosidasa) relacionadas con la DM2 mediante el método alternativo (ELP) a partir de extractos obtenidos de las semillas de tuna roja.

1.3. Justificación e importancia

Los residuos provenientes del fruto (tuna) que se pueden aprovechar son la piel o cáscaras y las semillas; éstas representan del 33 % y el 55 % y entre el 10 % y el 15 % del peso total del fruto respectivamente, estos residuos son considerados desechos de impacto ambiental por su mal uso y acumulación. Por ello, el aprovechamiento de estos residuos puede revalorizar el recurso, promover una economía circular, favorecer a la industria alimentaria, medicinal o farmacéutica y disminuir la contaminación al medio ambiente.

A causa de lo mencionado, la semilla de tuna, al presentar contenidos de polifenoles con propiedades antihipertensivas, antiinflamatorias, hipoglucémicas e hipocolesterolémicas, se evalúan el uso de tecnologías alternativas para la obtención de extractos con capacidad antioxidante y efecto inhibidor de enzimas relacionadas con la DM2 a partir de semillas de tuna roja, esto permitiría contribuir con la búsqueda de soluciones a esta enfermedad y poder darle un valor significativo a este descarte generado en la región.

En los últimos años, hay un enfoque cada vez mayor en la búsqueda de fuentes naturales para obtener compuestos bioactivos, como los polifenoles, para su uso en alimentos funcionales o productos nutricionales. En este sentido, se ha informado que las semillas de tuna son una fuente económica, renovable y rica en polifenoles con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e hipoglucemiantes, que contribuyen a prevenir ciertos tipos de enfermedades degenerativas como la DM2.

Por otro lado, los cambios en el estilo de vida y los hábitos alimentarios conducen al desarrollo de enfermedades degenerativas como la diabetes. Además, una gran proporción de la población presenta intolerancia a la glucosa, que es una de las principales características que predisponen a las personas a la DM2. Este tipo de diabetes se diagnostica en el 90 % de los pacientes, y sus síntomas suelen pasar desapercibidos hasta que comienzan a manifestarse las complicaciones.

Ante esta situación, la industria alimentaria y farmacéutica busca constantemente remedios naturales que sean efectivos y accesibles para la población, utilizando fuentes naturales ricas en compuestos bioactivos como los polifenoles. Por lo tanto, encontrar y aprovechar nuevas materias primas, como las semillas de tuna, no sólo puede aportar beneficios para la salud, sino también puede contribuir a mejorar la situación económica de las familias involucradas en el cultivo de estos recursos naturales.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El uso de solventes alternativos (agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) a altas temperaturas (90, 120 y 150 °C) mejoran la obtención de extractos con alta cantidad de polifenoles totales, capacidad antioxidante, perfil de polifenoles y alta capacidad antioxidante y potencial de inhibición de la actividad de enzimas (α-amilasa y α-glucosidasa) relacionadas con la DM2 a partir de semillas de tuna roja.

1.5. Variables

Tabla 1

Variables independientes y dependientes

Variables	Dimensiones	Niveles	Indicadores	Unidades
Independientes (Condiciones de Proceso)	Solventes		Volumen/volumen	%
		Agua	100 : 0	
		Agua : Etanol	70 : 30	
		Agua : Isopropanol	70 : 30	
	Temperatura	90	Temperatura	°C
		120		
		150		
Dependientes	Polifenoles totales		masa/masa	mg EAG/gss
	Capacidad antioxidante			
	DPPH	-	masa/volumen	mg/mL
	ORAC	-	masa/masa	µmol ET/gss
	Perfil de polifenoles	-	masa/masa	µg/gss
	Inhibición enzimática			
	α-amilasa	-	Actividad enzimática	%
	α-glucosidasa	-		

Nota. El método para polifenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH e inhibición enzimática fue mediante la espectrofotometría UV-vis, para capacidad antioxidante por ORAC fue por espectrofotometría de fluorescencia y para perfil de polifenoles fue por cromatografía líquida de alta resolución (UHPLC-DAD).

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes del problema

Kolniak-Ostek et al. (2020) reportaron el contenido de compuestos bioactivos, perfil de polifenoles y capacidad antioxidante en semillas de siete variedades de tuna, como resultado obtuvieron diferencias significativas en las concentraciones fenólicas, la variedad “Nopal espinoso” obtuvo (266,67 mg/kg), en la variedad “Fresa” (34,07 mg/kg), mientras que en los aminoácidos de la proteína en semilla se vio influenciada por la variedad de tuna; los predominantes fueron el ácido glutámico y aspártico, la arginina y leucina, además se identificaron 13 ácidos grasos de los que predominó el ácido linoleico en “Nopal espinoso” (63,11 %) y “Nopal Ovalado” (57,72 %), demostrando así que las semillas de tuna son excelente fuente de nutrientes y sustancias beneficiosas para la salud, gracias al alto contenido de compuestos fenólicos caracterizados por sus fuertes propiedades antioxidantes.

Benayad et al. (2014) evaluaron la actividad antioxidante y antiinflamatoria mediante extracción acelerada con solventes (ASE) utilizando 80 % de acetona en agua a 80 °C, con lo cual obtuvieron un mayor rendimiento de polifenoles totales, procianidinas y flavonoides, destacaron que el uso de esta tecnología avanzada proporciona protección a los compuestos sensibles al oxígeno y la luz, siendo esto fundamental para la extracción de compuestos bioactivos los cuales son beneficiosos para la salud del ser humano.

Vardanega et al. (2023) desarrollaron un proceso de extracción secuencial a partir de semillas de granadilla en dos etapas, la primera utilizando extracción con fluidos supercríticos (SFE) para recuperar aceite rico en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), resultando que la optimización a 20 MPa y 40 °C produjo un 24,84 % de un aceite rico en PUFA y en segunda etapa el extracto rico en compuestos fenólicos de las semillas desgrasadas, mediante la extracción con líquidos a presión (ELP) y extracción asistida por ultrasonido (EAU), donde los resultados demostraron que la ELP realizada a 70 °C y 10 MPa con EtOH al 75 % fue más eficiente que la EAU para recuperar compuestos fenólicos de semillas de granadilla.

Enciso Roca et al. (2021) determinaron actividad antiinflamatoria y antioxidante de la tuna en tres variedades (anaranjada, morada y blanca) de

Opuntia ficus-indica, obteniendo como resultado 4,08; 3,87 y 3,69 mg de fenoles respectivamente, en la variedad anaranjada encontraron mayor cantidad de flavonoides (2,36 mg EQ/g), seguido de la variedad morada (2,29 mg EQ/g) y blanca (2,0 mg EQ/g) ($p < 0,05$), respectivamente. La capacidad de retención de radical libre DPPH en la variedad anaranjada reportó mayor actividad (6,20 mmol ET/g) ($p < 0,05$); para ABTS, la variedad morada presentó mayor actividad (25,35 µmol ET/g) ($p < 0,05$), mientras que para el potencial antioxidante reductor del hierro (FRAP), todas las variedades presentaron valores similares ($p > 0,05$). Concluyeron que la pulpa de los frutos de las tres variedades tiene actividad antioxidante y antiinflamatoria.

Chaalal et al. (2012) estudiaron el efecto del tipo de solvente, la extracción y la temperatura en las semillas de tuna, los resultados demostraron que los parámetros de extracción mostraron efectos significativos ($p < 0,05$) sobre la eficacia de extracción del contenido de polifenoles totales y las actividades antioxidantes de extractos de semillas tuna, además concluyeron que las mejores condiciones fueron acetona 75 %, relación muestra/solvente 0,2 g/10 mL, tiempo de extracción de 90 min, y 90 °C con valores de 416 mg GAE/100 g, 237 mg AAE/100 g y 95 % para contenidos de polifenoles totales, poder reductor férrico y eliminación de radicales libres, respectivamente.

La et al., (2021) evaluaron la reactividad del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) en metanol, etanol, isopropanol, isooctano y acetato de etilo, evaluaron las capacidades antioxidantes en triaglicerol de cadena media. Obtuvieron resultados en 30 minutos, con muestreo cada 5 minutos en donde los antioxidantes en etanol e isopropanol reaccionaron con DPPH eficientemente en comparación con la serie de galato, que mostró menor reactividad que TBHQ, sesamol o BHA en metanol. Concluyeron que el uso de etanol e isopropanol para la reactividad del DPPH podría proporcionar información fiable sobre las capacidades antioxidantes de las sustancias químicas de los aceites comestibles.

Avila-Nava et al. (2017) evaluaron la actividad antioxidante de la Dieta Mexicana Prehispánica (PMD), compuesto por semillas de maíz, frijol, tomate, nopal, chía y calabaza en forma deshidratada, realizaron el ensayo ORAC y mostraron que la actividad de antioxidante más alta fue la del nopal, con 8 737 ± 1037 equivalentes de Trolox (µmol/g). Estos resultados indicaron que la PMD tenía una actividad antioxidante diez veces mayor que las dietas de control AIN-93 y

HFD ($p < 0,001$). Concluyeron que la PMD disminuyó la intolerancia a la glucosa y las anomalías bioquímicas causadas por la obesidad, al aumentar la abundancia de proteínas involucradas en la oxidación de ácidos grasos, reducir el estrés oxidativo y modificar el microbiota intestinal.

Santos et al. (2021) evaluaron el efecto de tres solventes alternativos (etanol, isopropanol y acetato de etilo) en la recuperación de antioxidantes de semillas mediante el método de líquido presurizado, donde las mejores condiciones se lograron con etanol, el cual proporcionó un mayor contenido de polifenoles totales (197,4 mg GAE.kg) y una mayor actividad antioxidante (6,0 mmol Trolox kg).

Mamani Apaza, (2023) evaluó la efectividad de dos técnicas de extracción, mediante líquidos bajo presión (ELP) y extracción ultrasónica (EAU), para obtener un extracto de hoja de olivo con propiedades antioxidantes e inhibidoras de enzimas. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas de extracción fueron mediante ELP a 70 °C al 15 % de glicerol para el contenido de polifenoles de 19,46 mg EAG/gss y las capacidades antioxidantes DPPH y ORAC que fueron 4,11 mg/mL y 500,26 µmol ET/gss, respectivamente. Respecto a la capacidad inhibidora de ELP a 70 °C y etanol al 15 % mostraron una reducción de actividad enzimática α-amilasa y α-glucosidasa al 76 % y 29 %, respectivamente, lo que es consistente con el efecto del fármaco de referencia (Acarbosa). Concluyó que a través de ELP las hojas de olivo tienen un gran potencial para inhibir enzimas asociadas con la diabetes tipo 2, lo que ayudará a futuros trabajos dirigidos a formulaciones de alimentos que reduzcan el índice glucémico posprandial.

Molina Juarez & Mamani Pari, (2023) evaluaron el efecto de ELP y EAU métodos alternativos para la extracción de polifenoles, betalaínas y capacidad antioxidante en residuos de tuna roja. Mediante ELP a 90 °C con 60 % de etanol obtuvieron mayor contenido de polifenoles (1,26 mg EAG/gss) y capacidad antioxidante (IC50: 20,20 mg/mL - ORAC: 38,83 µM ET/gss) frente a la EAU, la mejor condición a 70 °C con 60 % de etanol los cuales contenían la mayor cantidad de polifenoles (1,67 mg EAG/gss) y capacidad antioxidante (IC50: 15,3 mg/mL - ORAC: 47,2 µM ET/gss). Concluyeron que para ambos métodos la máxima recuperación de compuestos fenólicos en semillas de tuna se da en altas temperaturas y a concentraciones altas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tuna (Opuntia Ficus Indica L. Miller)

Opuntia ficus-indica (L.) Miller es una planta perteneciente a la familia *Cactaceae* que se conoce comúnmente como tuna, higo indio o nopal (Prieto-García et al., 2008; Trindade et al., 2023). Hernández-Pérez et al. (2005) señalan que esta planta es originaria de México y se encuentra ampliamente distribuida en América del Sur, América central, Australia y Sudáfrica (Özcan & Al Juhaimi, 2011). Esta especie se caracteriza por su adaptabilidad ecológica a condiciones climáticas extremas, tiene poca necesidad de agua y es de rápido crecimiento en suelos áridos y secos (Giraldo-Silva et al., 2023; Onakpoya et al., 2015).

2.2.1.1. Clasificación taxonómica de Opuntia ficus-indica

Según el Sistema Integrado de Información Taxonómica (2024), el vegetal *Opuntia ficus-indica* Linneo Miller se conoce comúnmente como nopal, cactus, higo indio y tuna, la Tabla 2 muestra la clasificación taxonómica de dicha planta.

Tabla 2
Taxonomía del Nopal (Opuntia ficus-indica Linneo Miller)

Dominio: *Eucariota*
Reino: *Plantas*
Subreino: *Embriofita*
Filo: *Espermatofitas*
División: *Magnoliofitas*
Clase: *Magnoliopsida*
Subclase: *Cariofílidos*
Orden: *Cariófilas*
Suborden: *Cactáceas*
Familia: *Cactáceas*
Subfamilia: *Opuntioideae*
Tribu: *Opuntiae*
Género: *Opuntia*
Subgénero: *Plantyopuntia*
Especie: *Opuntia ficus-indica (*Linneo*)* Miller

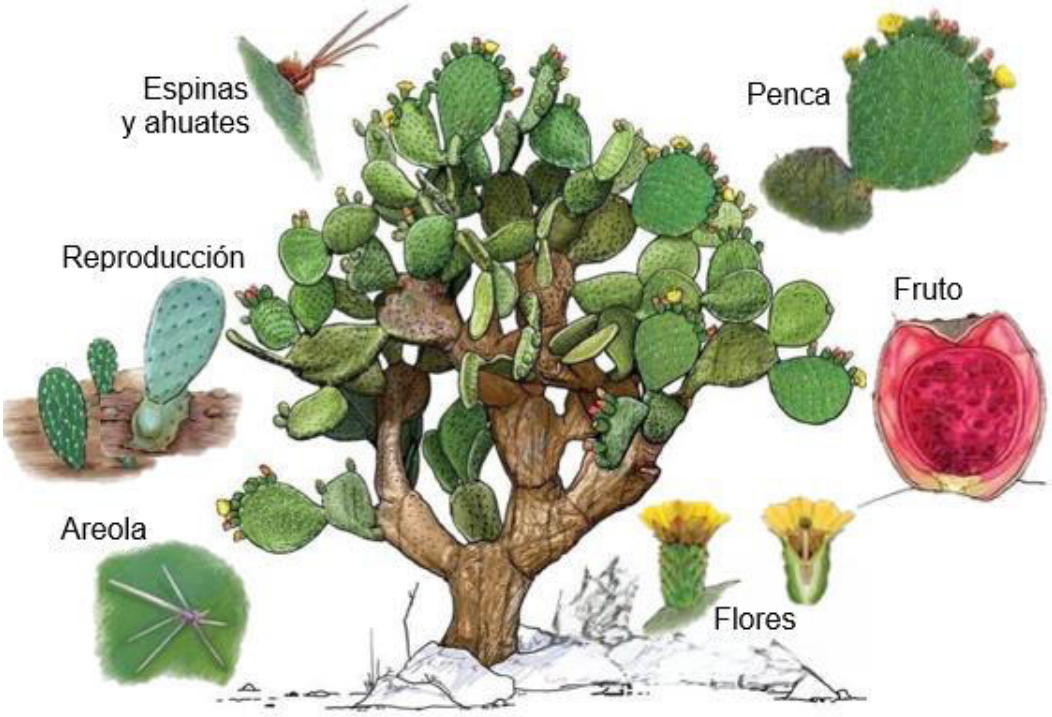
Nota. Adaptado de Martins et al. (2023).

2.2.1.2. Características morfológicas

La especie *Opuntia ficus-indica* tiene raíces, cladodios, hojas, flores y frutos (Figura 1). La planta es un arbusto que mide de 0,6 – 1 m de altura aproximadamente, extensamente poblado por ramas lateralmente de forma ovoide de 15 – 30 cm de largo y 13 – 21 cm de ancho, aplanados lateralmente, espinas una más grande que otras de 3,6 espinas y flores solitarias sésiles, carnosa, áfilos con espinas con raíces superficiales finas y absorbentes (Martins et al., 2023; Vargas Mamani et al., 2019).

Figura 1

Opuntia ficus-indica y sus partes



Nota. Fuente: Ponce-Luna et al. (2023).

2.2.1.3. Características del fruto

La tuna son bayas uniloculares y poliespérmicas, de forma elipsoide; su maduración se completa entre 110 y 120 días después de la floración, la longitud varía de 5 a 10 cm y de 4 a 8 cm de ancho, pesa entre 80 y 200 g (Nazzaro et al., 2021; Soni & Kumar, 2023). Además la tuna está compuesta por cáscara (30-40 %), pulpa (60 a 70 %) y semillas (10 a 15 %), cuyo color varía de acuerdo a

concentraciones de betaxantinas y betacianinas (Figura 2) (Borchani et al., 2021; Ettalibi et al., 2021; López-Palacios et al., 2019; Martins et al., 2023).

Figura 2

Frutos y semillas de Opuntia dilleniid



Frutos de Opuntia dilleniid *Semillas de Opuntia dilleniid*

Nota. Adaptado de Al-Naqeb et al. (2023).

Lekhuleni et al. (2021) evaluaron las propiedades fisicoquímicas de la fruta (tuna) con respecto a la madurez sobre el peso (153,58 g – 222,58 g), pH (5,04 – 6,04), acidez titulable (0.03 % - 0.06 % a. cítrico), solidos solubles totales (13,02 – 14,47 °Brix), y el grosor de la cáscara (0,40 – 0,54 cm).

2.2.2. Producción de tuna

2.2.2.1. Producción nacional de tuna

Perú produce más de 80 mil toneladas por año en costa, sierra y ceja de selva y en valles interandinos. Este fruto crece en forma silvestre, la mayor concentración de tuna se encuentra en 9 departamentos: Ayacucho, Cusco, Ancash, Huancavelica, Moquegua, Arequipa, Apurímac, Lima, y Tacna respectivamente (Tabla 3) (Fernandez Herrera et al., 2024).

Tabla 3

Producción nacional de tuna en el Perú

Región	2023 (t)	2024 (t)
Ayacucho	24 397,0	24 786,0
Cusco	10 666,0	13 600,0
Ancash	10 264,0	10 705,0
Huancavelica	5 579,8	7 474,0
Moquegua	4 237,0	6 147,0
Arequipa	3 414,0	5 545,0
Apurímac	5 412,3	5 775,0
Lima	3 843,3	3 108,0
Tacna	1 233,0	1 061,0
Ica	769,1	601,0
Cajamarca	413,1	587,0
La Libertad	480,8	531,0
Huánuco	151,0	194,0
Junín	157,9	190,0
Pasco	12,1	13,0
Lambayeque	1,0	10,0
Piura	2 704,0	0,0
Total	**73 735,0**	**80 327,0**

Nota. t: toneladas métricas. Fuente: Sistema Integrado de Estadística Agraria (2023, 2024).

2.2.2.2. Producción regional de tuna

Moquegua produce 4 237 toneladas de tuna al año, donde la mayor cantidad de producción pertenece a la provincia Mariscal Nieto con 3 318 toneladas, mientras que en la provincia General Sánchez Cerro la producción alcanza las 918 toneladas (Tabla 4) (DRA, 2024).

Tabla 4

Producción regional de tuna según provincias y distritos de Moquegua

Región / Provincia / Distrito Político	Superficie cosechada 2023 (ha)	Producción 2023 (t)
Región Moquegua	**586**	**4 237,7**
Mariscal Nieto	**358**	**3 318,8**
Moquegua	10	52,2
San Antonio	3	27,0
Samegua	4	21,0
Torata	24	193,0
Carumas	4	47,1
Cuchumbaya	13	232,5
San Cristóbal	300	2 746,0
General Sánchez Cerro	**228**	**918,9**
Omate	54	126,5
Coalaque	23	80,1
Quinistaquillas	3	15,6
Puquina	3	12,2
Ubinas	40	186,0
Matalaque	20	85,5
Chojata	11	28,0
Lloque	52	281,0
Yunga	22	104,0

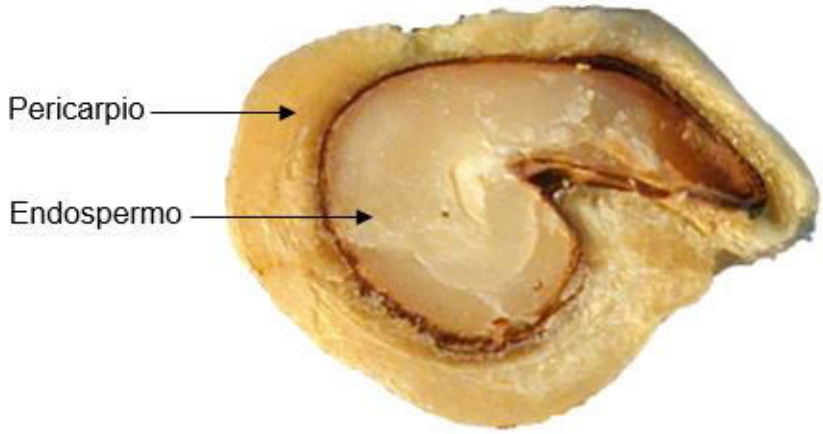
Nota. ha: hectáreas; t: toneladas métricas. Fuente: DRA (2024).

2.2.3. Semillas del fruto de la tuna

Según Habibi (2004) la semilla de tuna consta de dos capas: el pericarpio son fibras fusiformes o fibras de esclerénquima y algunos vasos espirales (capa externa) y el endospermo son gránulos de almidón incrustados en una pared celular parenquimatosa en forma de teja (capa interna) (Figura 3).

Figura 3

Sección transversal de la semilla de tuna



Nota. Adaptado de Habibi (2004).

Bellache et al. (2022) destacan a la semilla de tuna con un alto contenido de fibra (54,2 g/100 g), proteínas (11,8 g/100 g) y lípidos (6,77 g/100 g), en comparación con la pulpa y la piel. Asimismo, contienen niveles relevantes de aminoácidos como serina (8,46 mg/100 g) y arginina (6,63 mg/100 g), así mismo minerales esenciales como potasio (hasta 275 mg/100 g) y magnesio (hasta 208 mg/100 g) (Tabla 5).

Tabla 5

Composición química de la tuna

Componente	Pulpa	Piel	Semilla
Macronutrientes (g/100 g de materia seca)			
Proteína	0,5 – 5,3	8,3	11,8
Lípidos	0,7 – 1,0	2,4	6,77
Fibra total	20,5	40,8	54,2
Cenizas	0,4 – 8,5	12,1	5,9
Azúcar	11 – 16	ND	ND
Aminoácidos (mg/100 g)			
Alanina	3,17	ND	4,75
Arginina	1,11	ND	6,63
Asparagina	1,52	ND	Rastro
Serina	6,34	ND	8,46
Histidina	1,64	ND	3,11
Glutamina	12,59	ND	Rastro
Metionina	2,01	ND	0,70
Prolina	46,00	ND	Rastro
Taurina	15,79	ND	Rastro
Minerales (mg/100 g)			
Calcio (Ca)	163	2090	92 – 258
Magnesio (Mg)	76	322	79 – 208
Sodio (Na)	7,8	<0,8	<0,8 – 12
Potasio (K)	559	3430	122 – 275
Fósforo (P)	0,1	0,1	110 – 124
Hierro (Fe)	16,5	8,3	1,2 – 12,1
Cobre (Cu)	<0,8	0,9	<0,8 – 0,23
Zinc (Zn)	1,5	1,7	1,4 – 4,2
Manganeso (Mn)	7	73	<0,8 – 2,3
Molibdeno (Mb)	<0,3	<0,3	<0,3

Nota. ND: No detectado. Rastro: Contenidos muy bajos. Adaptado de Bellache et al. (2022).

Jiménez-Aguilar et al. (2014) señalan que las semillas contienen cantidades significativas de celulosa (83,2 mg/100 g) y hemicelulosa (9,9 mg/100 g). Mientras, Mostafa et al. (2014) señalan que las semillas contienen cantidades significativas de Vitamina E (Tabla 6).

Tabla 6

Composición de la tuna

Componente	Pulpa	Piel	Semilla	Referencias
Vitaminas (mg/100 g de materia seca)				
Vitamina K	53,2	109	52,5	(El-Mostafa et al., 2014)
Vitamina C	34 – 40	ND	ND	
Vitamina E	527,4	2 182	106	
Fibra dietética (mg/100 g de materia seca)				
Hemicelulosa	2,5 – 6,4	20,8	9,9	(Jiménez-Aguilar et al., 2014)
Celulosa	14,2 – 22,4	71,4	83,2	
Pectina	0,21 – 1,45	7,7	6,69	
Lignina	0,01	0,06	0,19	

Nota. ND: No detectado.

Albergamo et al. (2022) identificaron la composición de la semilla de tuna, alto contenido de proteínas (17,34 %), lípidos (9,65 %), ácidos Grasos saturados (14,12 %) y ricos en ácidos linoleico (61,11 %).

2.2.4. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son moléculas químicas esenciales y no esenciales con actividad biológica que se encuentran en la naturaleza (Martínez-Navarrete et al., 2008; Urrialde et al., 2022). Se encuentran en pequeñas proporciones en matrices de origen vegetal, como frutas, verduras, nueces, aceites, granos integrales, semillas y hojas (Altemimi et al., 2017; Daud et al., 2022). Debido a sus propiedades bioquímicas, aportan diversos beneficios a la salud humana, como la reducción de la presión arterial y del azúcar en sangre, la disminución del riesgo de cáncer y la prevención de enfermedades cardiovasculares (El-Saadony et al., 2024).

Además de sus efectos positivos en la salud, los compuestos bioactivos presentan un alto valor funcional, lo que ha permitido su aplicación en múltiples campos, como la medicina, la agronomía, la nutrición, la cosmética y la industria textil (Morán Alarcón et al., 2022).

2.2.5. Propiedades bioactivas de los polifenoles

Las semillas de tuna contienen polifenoles con funciones bioactivas específicas que contribuyen a diversos beneficios para la salud. A continuación, se describen algunas de sus características funcionales más destacadas dentro del organismo (Tabla 7).

Tabla 7

Características funcionales de ciertos polifenoles específicos en semillas

Polifenol Específico	Propiedad Bioactiva	Acción en el Organismo	Referencia
		Ácidos Fenólicos	
Derivados del ácido ferúlico	Antioxidante	Neutralizan radicales libres, protegiendo las células del daño oxidativo.	(Aruwa et al., 2018; Chbani et al., 2020)
Ácido Vanílico	Hipoglucemiante y neuroprotector	Inhibe enzimas digestivas como la alfa-amilasa y alfa-glucosidasa. Además, modula la inflamación mediante la inhibición selectiva de mediadores como la interleucina-6 y el óxido nítrico.	(Ingole et al., 2021; Jainambu et al., 2025; Oke et al., 2021)
		Flavonoles	
Isorhamnetina	Antiinflamatorio	Modula la expresión de enzimas proinflamatorias y reduce el estrés oxidativo.	(Silva M.A et al., 2021)
Quercetina	Antiinflamatorio	Inhibe liberación de histamina y otras citocinas proinflamatorias	(Cota-Sánchez, 2016)
Kaempferol	Citoprotector	Induce la autofagia en células dañadas, un proceso celular que promueve la limpieza y renovación interna, previniendo enfermedades neurodegenerativas	(Zeghbib et al., 2022)
Rutina	Anticancerígeno, Antiproliferativo y Antidiabética	Inhibe la proliferación celular en cánceres como colon y leucemia mediante inducción de apoptosis, fortalece capilares, mejora la circulación sanguínea, reduce la fragilidad vascular y protege órganos blancos en diabetes.	(Jeong et al., 2018; John, Enema et al., 2025; Nandhini et al., 2025)
		Flavanoles	
Catequina	Anticancerígeno, y antitumoral	Altera la señalización celular implicada en la proliferación de células cancerosas, induciendo apoptosis (muerte celular programada) sin dañar células sanas. Además, protegen de los rayos UV.	(Baranwal et al., 2022; Pacyga et al., 2024)

Polifenol Específico	Propiedad Bioactiva	Acción en el Organismo	Referencia
Oleuropeina	Neuroprotectora Cardioprotectora Hepatoprotectora	Elimina radicales libres, activa rutas celulares protectoras como Nrf2 y modula genes involucrados en inflamación, apoptosis y función mitocondrial. Inhibe la oxidación del colesterol LDL, lo que previene la aterosclerosis.	(Reyes-Corral et al., 2025; Sen & Kasikci, 2025; Tarchi et al., 2025)
Procianidina A2 y B2	Antidiabéticas, Antiglicación, Epitelio-protectora	Estimulan la degradación de lípidos hepáticos mediante la activación de rutas como AMPK, reducen el estrés oxidativo y, tras su metabolismo intestinal, generan compuestos bioactivos. Además, inhiben bacterias patógenas sin afectar las benéficas, contribuyendo al equilibrio de la microbiota.	(Cano-Lou et al., 2025; He et al., 2025; Kawabata et al., 2019; Mao et al., 2025; Ou et al., 2014)
Estilbeno			
Resveratrol	Anticancerígeno y Epigenético	Activa las sirtuinas, proteínas asociadas al envejecimiento celular y la longevidad, lo que mejora la reparación del ADN y la función mitocondrial	(Faisal et al., 2024; Unnikrishnan Meenakshi et al., 2024)
Feniletanoide			
Hidroxitirosol	Mitoprotector, Hipoglucémico	Protege las mitocondrias del estrés oxidativo, mantiene su función y previene el daño celular relacionado con el envejecimiento y enfermedades degenerativas.	(Monteiro et al., 2021; Vijakumaran et al., 2023)
Secoiridoide			
Oleuropeína	Antiviral	Inhibe la replicación de ciertos virus, incluyendo los de tipo respiratorio, al interferir con la entrada del virus a las células huésped y modular la respuesta inmune.	(Haris Omar, 2010; Rufino-Palomares et al., 2022)

2.2.6. Polifenoles

Los polifenoles, también conocidos como “fitoquímicos”, son metabolitos secundarios de origen vegetal que poseen diversas actividades biológicas (Da Silva et al., 2025; Pawase et al., 2024). Estos compuestos presentan un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo, cuya estructura puede variar desde moléculas simples, como ácidos fenólicos, hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos (Alara et al., 2021; Sridhar et al., 2021). Una de sus principales funciones biológicas es la capacidad de quelar metales y neutralizar radicales libres, lo que les confiere una notable actividad antioxidante (Osorio-Tobón, 2020).

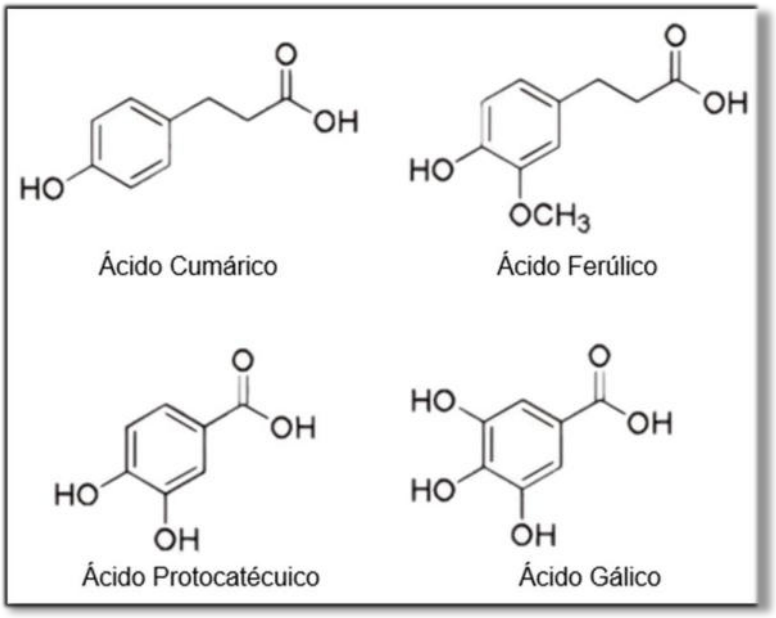
En particular, los polifenoles presentes en las semillas de tuna son reconocidos como compuestos GRAS (generalmente reconocidos como seguros) y presentan propiedades nutracéuticas y tecnológicas relevantes (G.-J. Shi et al., 2018). Por ejemplo, la oleuropeína ha demostrado efectos anticarcinogénicos, antiinflamatorios y antioxidantes al mejorar la actividad mitocondrial mediante la activación de enzimas específicas (Abd-Elhakim & Al-Sagheer, 2021). Asimismo, flavonoles como la quercetina inhiben la liberación de histamina, lo que les otorga propiedades antiinflamatorias y antialérgicas (Mlcek et al., 2016).

Mohan et al. (2016) señalaron que los polifenoles pueden inhibir la actividad de enzimas digestivas como la α-amilasa, la tripsina, la quimotripsina, α-glucosidasa y la lipasa.

Los ácidos fenólicos como el ferúlico, gálico, protocatéquico y p-cumárico (Figura 4) presentan efectos prometedores en el manejo de la diabetes tipo 2, al mejorar la sensibilidad a la insulina, reducir el estrés oxidativo y proteger órganos clave, destacando el ácido ferúlico por su capacidad de regular la gluconeogénesis hepática y mejorar la tolerancia a la glucosa (Narasimhan et al., 2015), mientras que el ácido gálico actúa como agonista parcial del receptor PPARγ y favorece la translocación del transportador GLUT4 (Gandhi et al., 2014). Por su parte, el ácido protocatéquico mejora la resistencia a la insulina promoviendo el metabolismo lipídico (Xiang et al., 2023), y el ácido p-cumárico ejerce un efecto protector frente al daño renal inducido por hiperglucemia (Mani et al., 2022).

Figura 4

Ácidos fenólicos en Nopal



Nota. Adaptado de Bousbia et al. (2022).

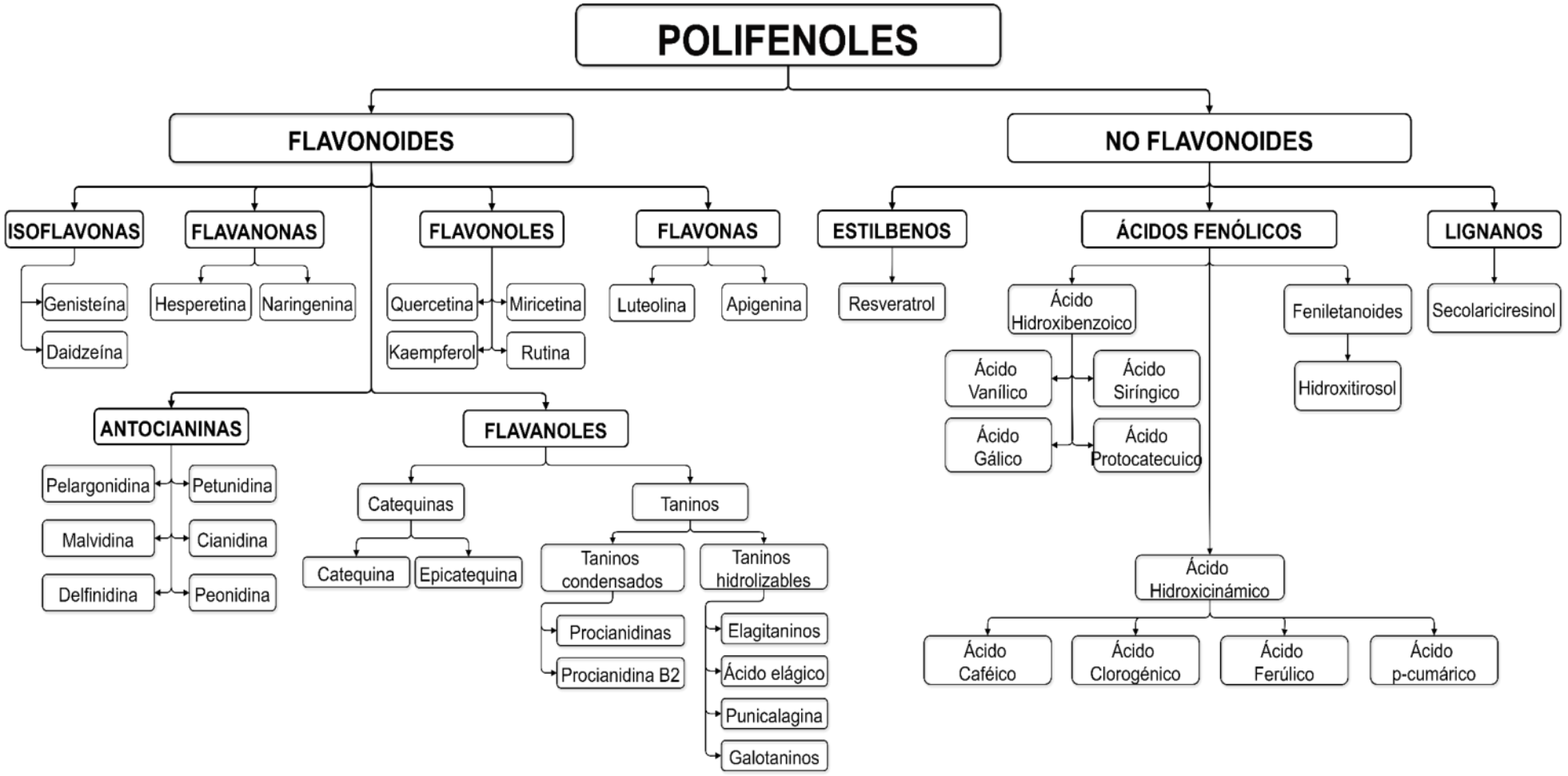
Las semillas de frutas contienen altas cantidades de compuestos fenólicos que oscilan entre 48 y 89 mg/100 g e incluyen derivados de feruloílo, taninos y sinapoil diglucósido, además de los siguientes compuestos: ácido fenólico total 48-49 mg/100g; Isómero de feruloil-sacarosa 1 7,36–17,62; Isómero 2 de feruloil-sacarosa 2,9–17,1; Sinapoil-diglucósido 12,6–23,4; Flavonoides totales 1.5–2.6; Taninos totales por lo que se ha sugerido potencial terapéutico para el síndrome metabólico (incluida la diabetes tipo 2 y la obesidad), la enfermedad del hígado graso no alcohólico, el reumatismo, la isquemia cerebral, cánceres y las infecciones virológicas y bacterianas (El-Mostafa et al., 2014).

2.2.7. Clasificación de los polifenoles

Actualmente se reconoce la existencia de cerca de 8 000 compuestos fenólicos, los cuales se agrupan en diferentes clases como los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, lignanos, así como una categoría diversa que incluye taninos tanto hidrolizables como condensados, cuya clasificación se representa en la Figura 5 (Prabhu et al., 2021).

Figura 5

Clasificación de polifenoles



Nota. Adaptado de Din et al. (2023).

2.2.8. Fenoles presentes en la tuna

Diversos estudios señalan que la pulpa de la tuna roja presenta mayores concentraciones de polifenoles en comparación con las variedades naranja y blanca. Gonzalez et al. (2021), reportaron contenidos de 2,15; 1,68 y 1,53 mg GAE/gss para las variedades roja, naranja y blanca, respectivamente. Mannoubi (2021), también encontró mayores niveles en la variedad roja frente a la naranja, con valores que variaron entre 5,37 y 6,75 mg GAE/g, dependiendo del solvente utilizado. De manera similar, Yeddes et al. (2013) observaron que, al emplear metanol con ácido acético (99:1), la tuna roja presentó un contenido de 1,25 mg GAE/g frente a 0,99 mg GAE/g en la naranja.

Tabla 8

Polifenoles totales en semillas de tuna

Solvente (% v/v)	Temperatura (°C)	Tipo de tuna	Polifenoles totales (mg EAG/g)	Referencias
Metanol 80%	15	Roja	0,70	Louppis et al. (2025)
	15	Amarilla	0,07	Louppis et al. (2025)
	105	Naranja	0,76	Bouaouich & Bouguerche (2022)
	105	Amarilla	0,92	Bouaouich & Bouguerche (2022)
Metanol 50%	4	Rojo-Morado	34,8	Ordoñez et al. (2019)
		Amarillo - Naranja	27,4	Ordoñez et al. (2019)
Acetona 75%	90	Roja	4,16	Chaalal et al. (2012)
Acetona 60%	70	Naranja	9,05	Touati et al. (2025)
Etanol 50%	40	Naranja	1,58	Jorge et al. (2025)
Etanol 40%	40	Naranja	0,76	Bouaouich et al. (2023)
	40	Amarilla	0,82	Bouaouich et al. (2023)

La Tabla 8 muestra una recopilación de contenidos de polifenoles totales en semillas de diferentes variedades de tuna, donde se observa una alta variabilidad según el tipo de solvente, la temperatura y la variedad empleada. Destacan los valores obtenidos en la variedad rojo-morado con metanol al 50 % (Ordoñez et al., 2019), que superan ampliamente los registrados en otras condiciones.

2.2.8.1. Perfil de polifenoles en las semillas de tuna

Los polifenoles en las semillas de tuna pueden verse afectados por ciertos factores de cultivo y genéticos (condiciones de crecimiento), tiempo de cosecha y postcosecha (almacenamiento, tiempo de vida útil), etapa de madurez o procesamiento de la fruta y lo más general e importante, por métodos de extracción (Tabla 9 y 10) (Kadda et al., 2023).

Tabla 9

Perfil de polifenoles específicos en semillas de tuna obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU)

No flavonoides (µg/gss)	
Ácido protocatequiico	2,144 ± 0,01
Ácido elágico	6,01 ± 0,01
Ácido clorogénico	885,31 ± 0,003
Glucósido de ácido ferúlico	96,33 ± 0,92
4-glucurónido de ácido ferúlico	67,14 ± 0,04
Flavonoides (µg/gss)	
Lupinisoflavona	64,42 ± 0,12
Isorhamnetina	73,74 ± 0,56
Miricetina	197,19 ± 0,06
Isohamnetina 3-O-(6''-O-feruloil-glucósido)	67,14 ± 0,17
1,2 Di-O-sinapoil glucosa	174,82 ± 0,48

Nota. Adaptado de Amrane-Abider et al. (2018).

Tabla 10

Contenido de polifenoles individuales en semillas de tuna liofilizadas extraídos por maceración en frío

Polifenol	λmáx. (nm)	(mg/100 gms)
ácido 4-hidroxibenzoico	255	1,37 ± 0,11
Ácido siríngico	220.275	3,78 ± 0,75
Ácido ferúlico	230.320	12,53 ± 3,22
ácidos fenólicos totales		**17,68 ± 5,22**
Rutina	257.354	20,37 ± 5,87
Quercetina	205.254.370	32,33 ± 11,09
Flavonoides totales		**52,70 ± 7,36**

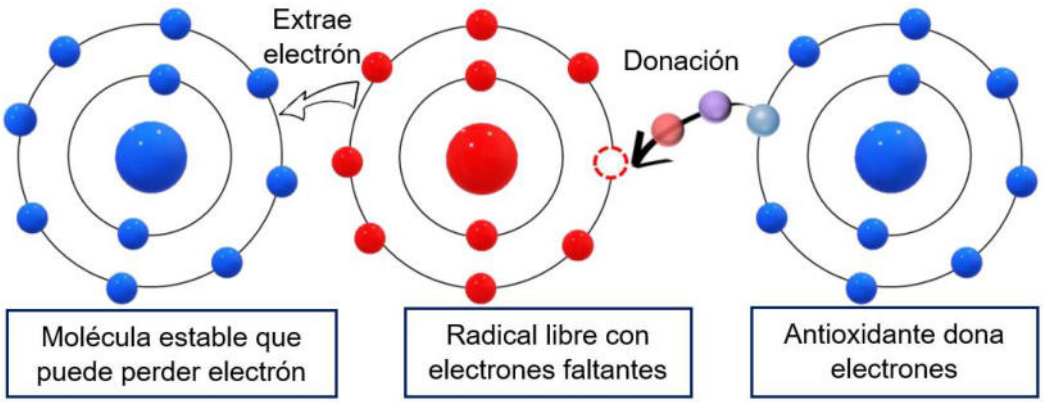
Nota. Adaptado de Albergamo et al. (2022).

2.2.9. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es la habilidad de ciertos compuestos para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo celular, principalmente causado por especies reactivas de oxígeno (ROS), que son los radicales más comunes y actúan eliminando átomos de hidrógeno de moléculas como los lípidos, desencadenando procesos perjudiciales para la salud celular (Figura 6) (Abeyrathne et al., 2021).

Figura 6

Funcionamiento de antioxidantes



Nota. Adaptado de Pedro et al. (2022).

Según Rumpf et al. (2023), la capacidad antioxidante es una propiedad compleja, por lo que es mejor elegir diferentes pruebas que no estén estrechamente relacionadas entre sí para comprender mejor qué mecanismos son responsables al jugar un papel crucial para el antioxidante específico en investigación.

Una técnica ampliamente utilizada para medir esta capacidad es el método DPPH, que evalúa la eficiencia de los antioxidantes para donar átomos de hidrógeno o electrones y así desactivar la reactividad del radical libre DPPH (Ali et al., 2022).

2.2.10. Métodos de extracción de compuestos bioactivos

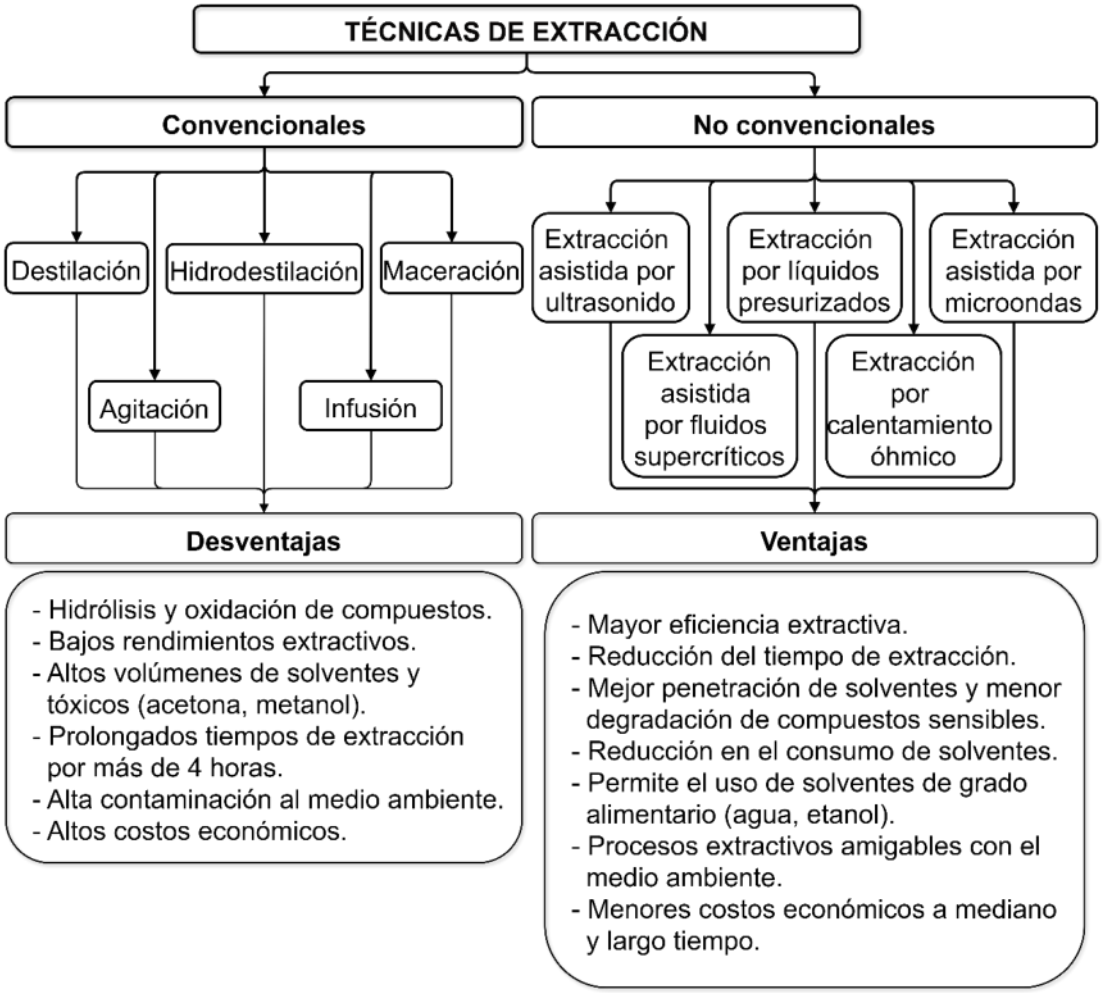
Los compuestos bioactivos en diferentes matrices vegetales pueden extraerse mediante métodos convencionales bajo condiciones atmosféricas, utilizando la capacidad del solvente y la aplicación de calor y/o homogenización. Además, existen métodos no convencionales que son más ecológicos y están ganando popularidad como excelentes alternativas en la actualidad (Sagar et al., 2018).

Matiacevich et al., (2022) mencionan que no existe un método estándar para su extracción. Además, los polifenoles son inestables y pueden verse afectados por factores externos como el oxígeno y la luz, alterando su actividad biológica.

Por otro lado, aunque las técnicas convencionales resultan accesibles, presenta desventajas como baja eficiencia, tiempos prolongados de extracción y posibles pérdidas de compuestos sensibles (Santos et al., 2022). Las técnicas no convencionales son consideradas como métodos de extracción verde, debido al bajo consumo de energía, volumen de solvente y tiempo. Estos procesos, normalmente utilizan solventes orgánicos, como metanol, etanol, hexano y acetona, pero también pueden emplearse solventes acuosos amigable con el medio ambiente. El mecanismo del proceso implica la eliminación de una fracción soluble de un sólido insoluble (Piasecka et al., 2022). La Figura 7 presenta un resumen de las principales desventajas de los métodos convencionales y las ventajas de los métodos no convencionales.

Figura 7

Técnicas de extracción



Nota. Adaptado de Matiacevich et al. (2022); Ngandjui et al. (2024).

2.2.10.1. Métodos convencionales

2.2.10.1.1. Extracción por hidrodestilación

Dunkić et al., (2022) mencionan que éste método inicia con la inmersión del material vegetal en agua, la ebullición, la evaporación de los compuestos volátiles junto con el vapor, su condensación y posterior separación por decantación, aprovechando la diferencia de densidades entre los compuestos extraídos y el agua. Sin embargo, Ghazanfari et al., (2020) evaluaron la extracción de compuestos en semillas de cilantro mediante hidrodestilación convencional y asistida por microondas, observando que la técnica convencional requirió 180 minutos y mostró menor rendimiento de compuestos fenólicos y actividad

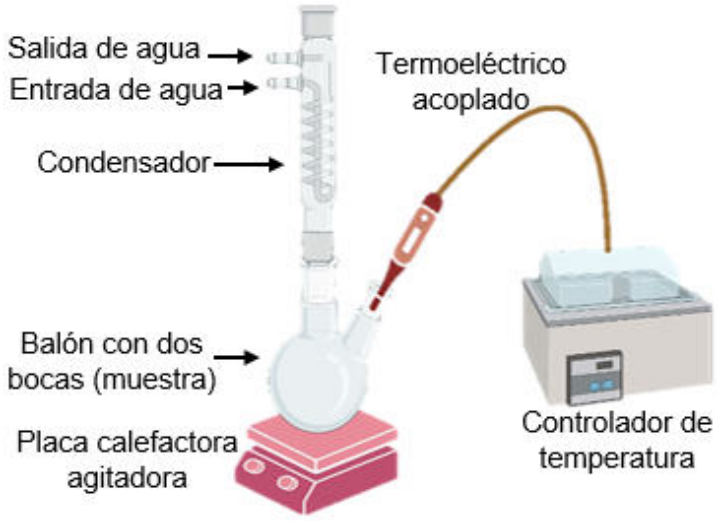
antioxidante en comparación con la técnica asistida por microondas, lo que evidencia las limitaciones en la recuperación eficiente de polifenoles.

2.2.10.1.2. Extracción por maceración

La maceración es uno de los métodos más simples y tradicionales para extraer compuestos bioactivos de matrices vegetales. Consiste en moler la muestra para aumentar el área de contacto y sumergirla en un disolvente adecuado por un tiempo prolongado, favoreciendo la ruptura de las paredes celulares y facilitando la difusión de compuestos solubles; al finalizar, el extracto es filtrado y prensado para maximizar la recuperación de compuestos bioactivos (Maduka et al., 2024). El proceso puede involucrar agitación, y la transferencia de calor ocurre por conducción y convección, mientras que la elección del disolvente influye en el tipo de metabolitos extraídos (Figura 8) (Azwanida, 2015; Sagar et al., 2018). Sin embargo, Jagatić Korenika et al. (2023) evaluaron la extracción de polifenoles en uvas *Plavac Mali* mediante maceración, obteniendo un incremento del 29,3 % en antocianinas y 18,7 % en flavonoles, no obstante, reportaron limitaciones relevantes, como un tiempo de extracción extendido de 10 a 12 días, que favoreció la degradación oxidativa de ciertos polifenoles y la pérdida de compuestos volátiles clave, lo cual dificulta su aplicación a nivel industrial.

Figura 8

Diagrama esquemático de extracción de calor y flujo por maceración



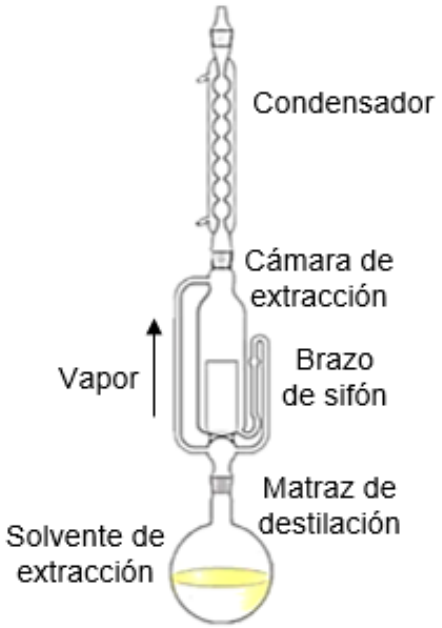
Nota. Adaptado de Nour et al. (2024).

2.2.10.1.3. Extracción soxhlet

López-Bascón & Luque de Castro (2020) describen que este método es continuo y consiste en colocar la muestra dentro de un cartucho de celulosa en la cámara de extracción, donde el disolvente, al calentarse en el matraz, se evapora y es dirigido hacia un condensador; el vapor condensado retorna en forma líquida a la cámara de extracción, donde entra en contacto con la muestra, y una vez que el líquido alcanza el nivel de desbordamiento, es redirigido al matraz mediante un sifón, reiniciando el ciclo (Figura 9). En este contexto, Doan et al. (2020) evaluaron la extracción Soxhlet de compuestos fenólicos en semillas de papaya utilizando etanol como solvente, obteniendo un rendimiento de 1,2 mg GAE/g de extracto; sin embargo, se observó que la exposición prolongada al calor durante las 8 horas de extracción podría degradar compuestos fenólicos sensibles, lo que evidencia que este método, aunque efectivo en términos de rendimiento, puede comprometer la integridad de compuestos bioactivos debido a la exposición prolongada a altas temperaturas.

Figura 9

Diagrama esquemático de extracción soxhlet



Nota. Adaptado de Hirondart et al. (2020).

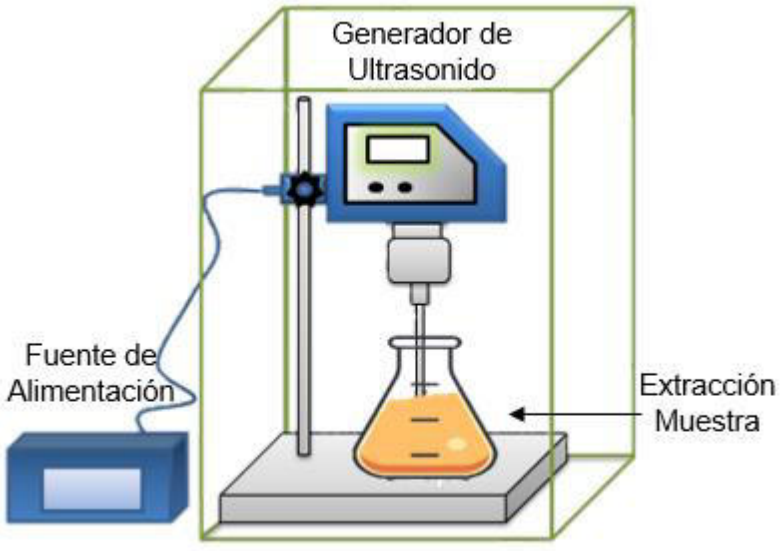
2.2.10.2. Extracción mediante tecnologías emergentes alternativas

2.2.10.2.1. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

La EAU es una técnica eficaz para extraer compuestos sensibles al calor, operando en frecuencias de 20 a 2 000 kHz e intensidades superiores a 10 W/cm² (Figura 10)(Khalid et al., 2024). Bajo estas condiciones, se produce cavitación, fenómeno donde el colapso de burbujas genera temperaturas de hasta 5 000 °C y presiones de 1000 atm durante aproximadamente 400 µs, facilitando la ruptura de enlaces intermoleculares (Adetunji et al., 2017). Este proceso involucra ciclos de expansión y compresión que modifican la estructura del medio (Carreira-Casais et al., 2021). Su eficiencia depende de factores como el tipo de solvente, el tamaño de partícula, la temperatura, el tiempo, la relación solvente-sólido y los parámetros ultrasónicos como potencia y frecuencia (Jurinjak Tušek et al., 2022; Marhamati et al., 2020). Sin embargo, una limitación es la necesidad de un suministro continuo de energía ultrasónica para mantener la eficiencia de extracción de compuestos fenólicos (Sridhar et al., 2021). Macedo et al. (2022), aplicaron esta técnica para extraer compuestos fenólicos de semillas de *Cucurbita pepo*, observando mejoras en la actividad antioxidante y el perfil fenólico, aunque también reportaron una mayor turbidez y liberación de impurezas no deseadas, lo que complica las etapas de purificación posteriores.

Figura 10

Esquema de extracción asistida por ultrasonido



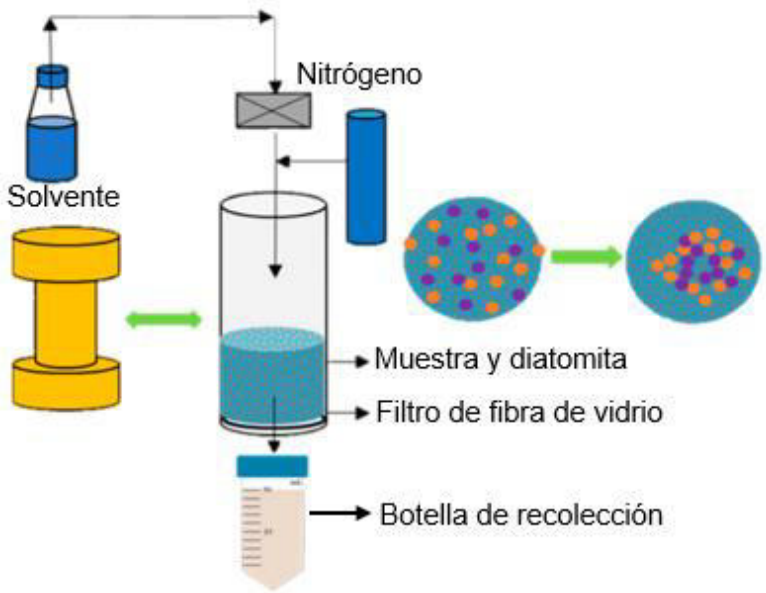
Nota. Adaptado de Jurinjak Tušek et al. (2022).

2.2.10.2.2. Extracción con líquidos presurizados

También conocida como extracción acelerada por solventes (ASE), esta técnica emplea temperaturas entre 50 y 200 °C y presiones de 10 a 15 MPa para mantener el solvente en estado líquido incluso por encima de su punto de ebullición, mejorando su solubilización, difusión y contacto con la muestra (Barik et al., 2024; Herbst et al., 2021). El procedimiento consiste en introducir un filtro y la muestra junto a un dispersante en una celda de acero inoxidable, aplicar calor y presión, y recolectar el extracto líquido en un recipiente, con ayuda de un gas inerte como el nitrógeno que arrastra el solvente residual (Figura 11) (Alvarez-Rivera et al., 2020; Gómez-López et al., 2022). Esta metodología permite reducir el tiempo de extracción entre 12 y 20 minutos (Ahmad et al., 2020; Donn et al., 2024). Pese a sus ventajas, como la alta eficiencia y el bajo consumo de solventes, puede degradar compuestos sensibles si se superan los 140 °C, además de favorecer la formación de subproductos no deseados como el hidroximetilfurfural por reacciones de Maillard. (Ebrahimi & Lante, 2022; Khanyile et al., 2022). Supasatyankul et al. (2022) evaluaron su aplicación en cubiertas de semillas de *Vigna radiata*, logrando una alta recuperación de polifenoles con buena actividad antioxidante, lo que demuestra su eficacia en matrices vegetales complejas.

Figura 11

Diagrama esquemático del efecto de extracción con líquidos presurizados



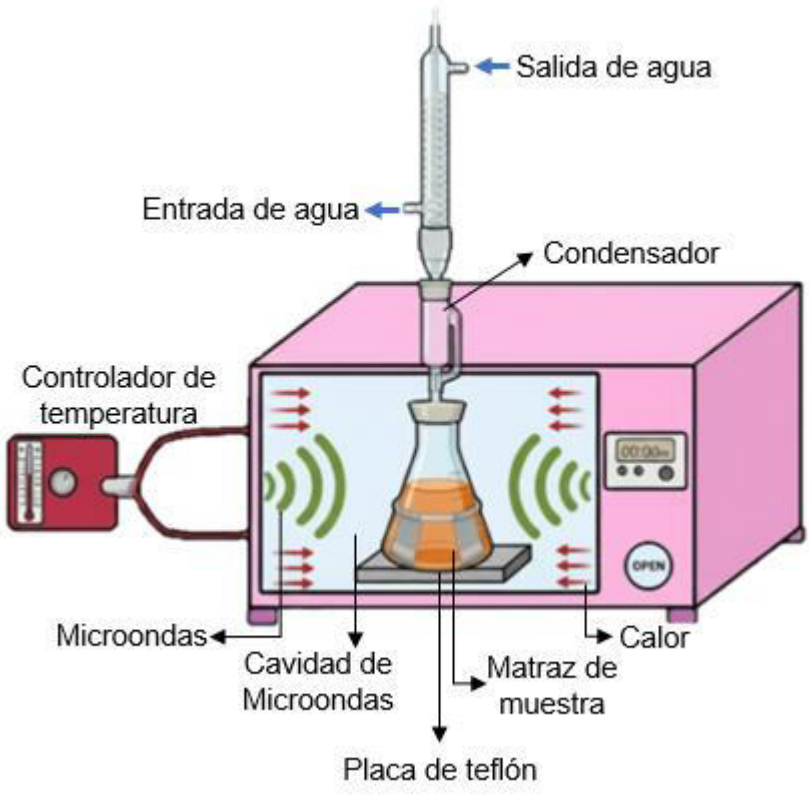
Nota. Adaptado de Wang et al. (2021).

2.2.10.2.3. Extracción por microondas

La extracción asistida por microondas (MAE) incrementa la eficiencia del proceso al reducir el tiempo de extracción y el consumo de solventes, gracias a la acción del calentamiento dieléctrico que rompe enlaces de hidrógeno, facilita la penetración del solvente y promueve la liberación de compuestos fitoquímicos (Figura 12) (Imtiaz et al., 2023). Alchera et al. (2024), establecen que los parámetros óptimos de operación comprenden potencias entre 100 y 1000 vatios, temperaturas de 60–70 °C, tiempos de extracción de 15–30 min, una relación disolvente/matriz de 10–20 mL/g, y un intervalo de rampa térmica/isotérmico de 0,5–2 minutos. La MAE ha demostrado ser eficaz para recuperar compuestos bioactivos de diversas semillas (Araújo et al., 2020). Por ejemplo, en semillas de *Persea americana*, la MAE optimizada con 58,3 % de etanol, 400 W de potencia y 4,8 minutos de extracción permitió una alta recuperación de polifenoles y actividad antioxidante (Weremfo et al., 2020).

Figura 12

Extracción asistida por microondas



Nota. Adaptado de Fărcaș et al. (2022).

2.2.11. La diabetes

Según la FID, (2023) es una enfermedad crónica que ocurre cuando el páncreas no produce insulina suficiente o el cuerpo no la utiliza de manera efectiva. La insulina, una hormona producida por el páncreas, permite que la glucosa de los alimentos pase del torrente sanguíneo a las células para generar energía. Cuando el cuerpo no puede producir o usar insulina adecuadamente, los niveles de glucosa en sangre aumentan, causando hiperglucemia. A largo plazo, esta condición puede dañar varios órganos y tejidos del cuerpo y aproximadamente hay 537 millones de adultos (20 - 79 años) viven con diabetes a nivel mundial, la tendencia es que este número aumente a 643 millones en 2030 y a 783 millones en 2045, así mismo más del 90 % de estos casos son de DM2. La OMS, (2023) refiere que en América Latina, se estima que 62 millones de personas viven con DM2. Este número se ha triplicado desde 1980 y en el 2040 alcanzaría los 109 millones.

2.2.12. Diabetes en el Perú

En el Perú según Carrillo-Larco & Bernabé-Ortiz (2019), reportaron el 0,8% en zonas rurales, 2,8 % en migrantes de zonas rurales a urbanas, y 6,3 % en zonas urbanas. Por otra parte, Seinfeld et al. (2024) reportaron que el 3,9 % de los peruanos mayores de 15 años fueron diagnosticados con diabetes en 2019, cifra que aumentó a 4,5 % en 2020 y a 4,9 % en 2021. Además, investigaciones basadas en criterios clínicos estimaron una prevalencia del 7 %, con el 96,8 % de los casos siendo de diabetes tipo 2. Mientras que Alvarado-Valdivia et al. (2024), reportaron una prevalencia de diabetes tipo 2 del 2,9 % en la población peruana mayor de 15 años, aumentando a 7 % en personas mayores de 40 años.

La diabetes mellitus tipo 2 representa a la morbilidad, mortalidad y discapacidad, estudios reportaron que, internacionalmente, el Perú cuenta con un 7,2 % de población femenina con diabetes, y el alcance de esta enfermedad es del 5,1 % en personas ≥ 35 años 7,0 % en personas ≥ 25 años (Seclen et al., 2017).

2.2.13. Tipos de diabetes

La diabetes mellitus es causado cuando el sistema inmunológico destruye las células responsables de producir insulina, causando la deficiencia absoluta de esta, como ocurre en la diabetes mellitus tipo 1 (Roy et al., 2024). También puede originarse por una resistencia a la insulina, combinada con una producción inadecuada de esta hormona y una deficiente absorción de glucosa en tejidos como el hígado, el tejido adiposo y el músculo esquelético, características propias de la diabetes mellitus tipo 2, representando aproximadamente el 90 – 95% de los casos; por lo tanto, es un problema de salud de rápido crecimiento en todo el mundo (Kumar et al., 2011; Leitner et al., 2017). Además, según Chhabra et al. (2021), mencionan que este tipo de desarrollo está asociado con la pérdida de la función de las células β pancreáticas y el aumento de la resistencia a la insulina por parte de las células. La DM2 provoca 41 millones de muertes anuales junto a las enfermedades cardiovasculares, respiratorias y el cáncer (Ashcroft & Rorsman, 2012; Jaisankar, 2018).

La hiperglucemia prolongada predispone a las personas a complicaciones vasculares de la diabetes, como enfermedad renal, retinopatía y síntomas cardiovasculares (Shi et al., 2018). La progresión de la diabetes mellitus está asociada al estrés oxidativo provocado por la generación de radicales libres y/o generación de especies reactivas (ROS) en condiciones de hiperglucemia, una de las principales fuentes de radicales libres es la oxidación de la glucosa, que a su vez provoca daños al hígado, riñón y estructura pancreática (Johansen et al., 2005; Özkaya et al., 2011).

Diversos trabajos de investigación han demostrado que el consumo de compuestos bioactivos, como los polifenoles, no solo ayuda en la prevención de la DM2, sino también puede ser usado como un tratamiento efectivo a bajo costo (Choi et al., 2023; Lammari et al., 2023; R. Li et al., 2019; Rahman et al., 2022). En particular, el uso de flavanoles y flavonoles presentes en diversos descartes agroindustriales, como semillas de tuna podrían ser usados en el tratamiento de la DM2 a través de la inhibición de las enzimas relacionadas con la diabetes, tales como α-amilasa y α-glucosidasa, con la consecuente reducción del índice glucémico, que comprende una herramienta terapéutica potencial contra esta enfermedad (Fan et al., 2013; Rasouli et al., 2017; Sarian et al., 2017; Striegel et al., 2015). Por lo tanto, la extracción e identificación de agentes farmacéuticos y

dietéticos, como los extractos selectivos de polifenoles, parece ser un enfoque rentable para el manejo de la DM2.

2.2.13.1. Tratamiento de diabetes mellitus

El tratamiento eficaz comenzó con el descubrimiento de la insulina en 1921 y su administración en el año 1922 por Banting, Best, MacLeod y Collip; posteriormente se introdujeron los hipoglicemiantes orales que, resultaron ser más eficaces en el control de la diabetes mellitus tipo 2 (Tabla 11) (Ruano Imbaquingo et al., 2023).

Tabla 11

Grupos de hipoglicemiantes orales

Fármacos	Mecanismo de acción	Efectos sobre el peso
Acarbosa Miglitol	Reducción de la absorción intestinal de carbohidratos	Disminuyen las excursiones de glucosa actuando en el tracto digestivo
Metformina	Disminuye la resistencia a la insulina	Neutra/ Disminuyen la insulinoresistencia
Glibenclamida Glipizida Glimepirida	Estimulación de la secreción de insulina	Aumentan la secreción de insulina inde pendiente del nivel de glucosa

Nota. Adaptado de Ruano Imbaquingo et al. (2023).

Robbani et al. (2022), indican que en el tratamiento de la diabetes se emplean fármacos inhibidores de la α-glucosidasa, como la acarbosa, el miglitol y la voglibosa, los cuales actúan inhibiendo competitivamente las enzimas α-glucosidasa en el intestino delgado, ralentizando así la digestión del almidón presente en la dieta.

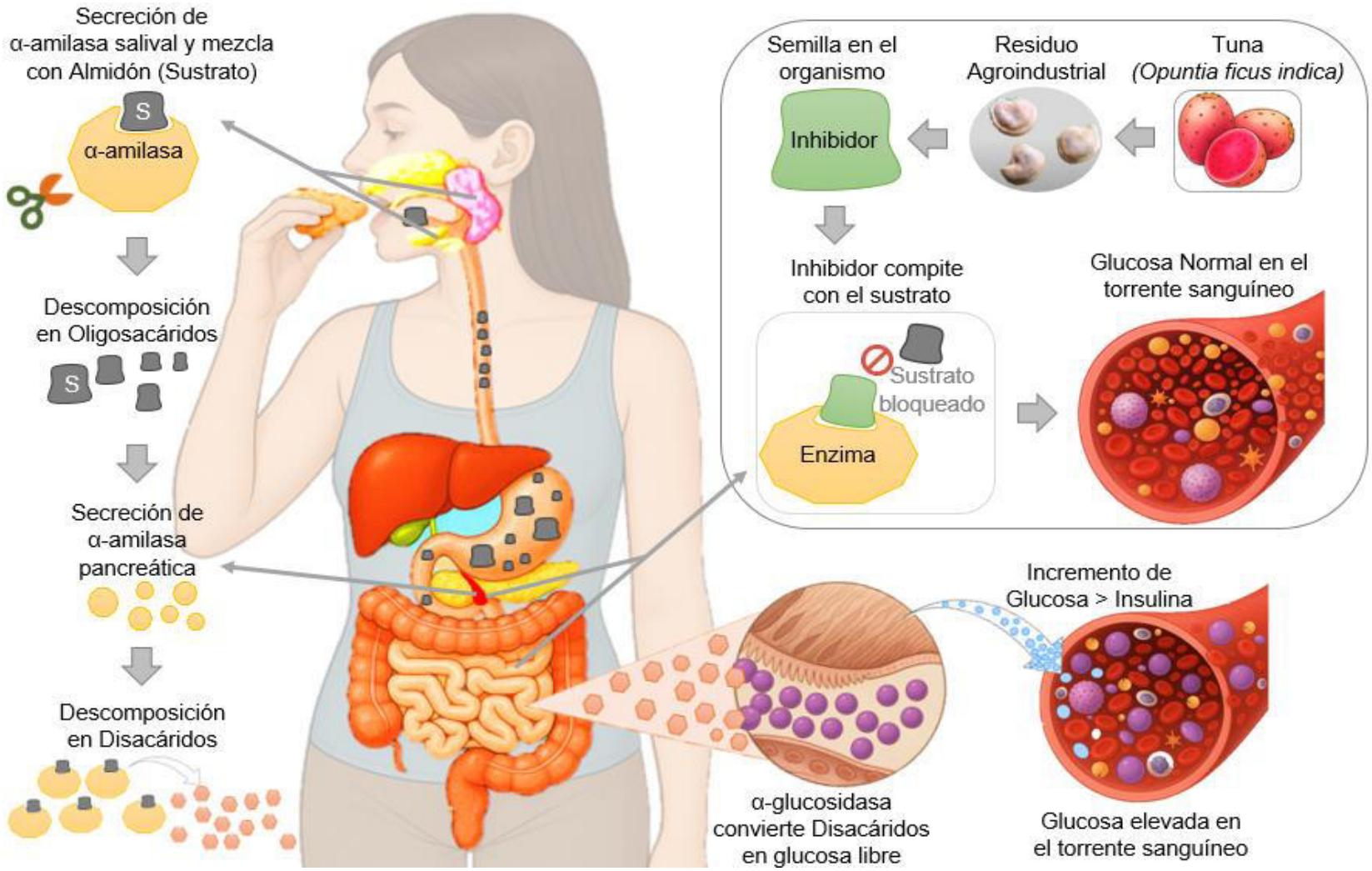
2.2.14. Función de la alfa amilasa y alfa glucosidasa en el organismo

Narita & Inouye (2015) mencionaron que la α-amilasa es una enzima endoglucanasa secretada por las glándulas salivales y el páncreas. Su función es iniciar la digestión de carbohidratos al hidrolizar los enlaces alfa-1,4-glucosídicos presentes en almidones, produciendo la amilosa y amilopectina, generando oligosacaridos (Agarwal & Gupta, 2016; Peyrot des Gachons & Breslin, 2016). Al masticar, la amilasa salival comienza a degradar los almidones, y luego, en el intestino delgado, la amilasa pancreática continúa este proceso, transformando los almidones en oligosacáridos como la maltosa, maltotriosa y dextrinas para facilitar su digestión posterior (Bonnefond et al., 2017).

Por otro lado, la α-glucosidasa se encuentra en el borde en cepillo del epitelio (intestino delgado) y es clave en la digestión final de carbohidratos. Hidroliza los enlaces alfa-1,4-glucosídicos de los oligosacáridos producidos previamente, liberando moléculas de glucosa. Esta enzima convierte disacáridos como la maltosa en glucosa, que se absorbe directamente en el torrente sanguíneo, aumentando el azúcar en sangre (índice glucémico alto) (Figura 13) (Dirir et al., 2022).

Figura 13

Función de las enzimas en el organismo y el efecto inhibidor



Nota. Adaptado de Abdulkareem et al. (2024); Ansari et al. (2024)

2.2.15. Importancia de inhibir el alfa amilasa y alfa glucosidasa

La diabetes tipo 2 (DM2) surge debido a un desequilibrio entre la absorción de glucosa en la sangre y la producción de insulina, hormona encargada de regular los niveles de azúcar (Tian et al., 2021).

Los polifenoles, una alternativa natural a los fármacos sintéticos como la acarbosa, inhiben las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa (Papoutsis et al., 2021). Su acción se debe a la interacción con estas enzimas: en el caso de la α-amilasa al interactuar con la enzima y disminuir su actividad, mientras que en la α-glucosidasa forma un complejo que facilita su precipitación e inactivación (Hui et al., 2020; Yilmazer-Musa et al., 2012). La inhibición de estas enzimas ralentiza la descomposición de los carbohidratos complejos, limitando la absorción rápida de glucosa en el intestino (Li et al., 2023). Esto ayuda a estabilizar los niveles de azúcar en sangre, reducir el índice glucémico de los alimentos y prevenir picos postprandiales (Lal et al., 2021).

Para su aplicación comercial, es necesario desarrollar procesos sostenibles de extracción y purificación que permitan obtener extractos ricos en polifenoles como ingredientes funcionales para inhibir las enzimas asociadas a la diabetes mellitus tipo 2 (Kalita et al., 2018).

2.3. Definición de términos

a) **Perecedero:** Se dice de algo que se deteriora o se echa a perder rápidamente, como los alimentos frescos.

b) **Hipoglucemiantes:** Son medicamentos que ayudan a reducir niveles de glucosa (azúcar) en la sangre, utilizados para tratar la diabetes.

c) **Nutracéuticos:** Son productos que combinan propiedades nutritivas y medicinales, como suplementos alimenticios con beneficios para la salud.

d) **Sésiles:** Se refiere a organismos o estructuras que no tienen un tallo o pedículo, es decir, que están fijos directamente al sustrato (como algunas plantas o animales marinos).

e) **Bayas uniloculares:** Son frutas que tienen una sola cavidad interna (lugar donde se encuentran las semillas), como el tomate.

f) **Poliespérmicas:** Se refiere a los frutos o semillas que tienen varios embriones o que provienen de varios óvulos fecundados.

g) **Fibras fusiformes:** Son fibras largas y delgadas con forma de huso, que generalmente se encuentran en tejidos vegetales.

h) **Fibras de esclerénquima:** Son fibras vegetales gruesas y resistentes que proporcionan soporte y rigidez a las plantas.

i) **Pared celular parenquimatosa:** Es una pared celular flexible que se encuentra en las células parenquimatosas, que son las más comunes en las plantas y tienen funciones como almacenamiento y fotosíntesis.

j) **Isquemia cerebral:** Es la falta de flujo sanguíneo en el cerebro, lo que puede causar daño cerebral debido a la falta de oxígeno y nutrientes.

k) **Índice glucémico:** Es una medida que indica qué tan rápido los alimentos aumentan los niveles de azúcar en la sangre después de ser consumidos.

III. Metodología

El proyecto de investigación se realizó en etapas de extracción, análisis de polifenoles totales, determinación de la capacidad antioxidante e inhibición enzimática en el Laboratorio de Tecnologías Sustentables para la Extracción de Compuestos de Alto Valor (TESECAV) de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Nacional de Moquegua.

3.1. Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo experimental cuantitativo, ya que se aplicó un diseño factorial completo 3 x 3 para analizar el efecto de dos variables independientes (Tipo de solvente y temperatura) sobre las variables respuesta. Se utilizó un esquema factorial completo con un nivel de confianza del 95 %.

3.2. Ámbito temporal y espacial

Este trabajo de investigación se desarrolló del 16 de enero del 2024 al 31 de agosto del 2024.

3.3. Población y muestra

La muestra estuvo conformada por 40 kg de frutos maduros de tuna roja, de los cuales se seleccionaron 30 kg en buen estado. A partir de estos, se obtuvieron 800 g de semillas, lo que representó aproximadamente el 3 % del peso total del fruto. Las muestras fueron proporcionadas por la Asociación de Productores Flor de Tuna, ubicada en el distrito de San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua.

El método de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, dada la facilidad de acceso a los frutos y la disponibilidad del recurso. De las semillas recolectadas, se tamizaron hasta un tamaño de partícula uniforme, obteniéndose 400 g de muestra final, los cuales fueron empleados en el presente estudio.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Materia prima

- Semillas de tuna roja

3.4.2. Instrumentos y materiales

A. Instrumentos

- Fiolas de vidrio graduados (5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL)
- Vasos precipitados graduados de vidrio (10 a 500 mL)
- Micropipetas con volumen ajustable de 0.5 – 10 uL, 5 - 50 uL y de 10 – 100 uL (Precipette Four e's scientific)
- Micropipetas con volumen variable de 10 – 100 uL, 20 - 200 uL, 100 – 1000 uL y de 1000 - 5000 uL (Boeco Germany)
- Micropipetas con volumen variable de 100 - 1000 uL, 20 – 1000 uL y de 1 - 10 mL (Thermo Scientific).
- Balón de 10 m3 de nitrógeno.
- Celdas de extracción de 100 mL para ASE 150.
- Probetas graduadas de vidrio de 10mL y 25mL (Boeco Germany).
- Probetas graduadas de vidrio de 50 mL y 100 mL (Isolab).
- Microtubos graduados de polipropileno de 2 mL (Eppendorf)
- Tamizador de 0.5mm en acero inoxidable (wstyler N°35)
- Cartuchos HyperSep C18 de 10 mL (Thermo Scientific)
- Tubos de vidrio graduados con base cónica de 15 mL
- Jeringas descartables de 3 mL (Segurimaxx)
- Filtros de jeringa Choice 13mm, PVDF hidrofóbicos de 0,22 µm (Thermo Scientific)

B. Materiales

- Papel aluminio 30 cm x 24 metros (Uthil)
- Cubetas para espectrofotómetro de Poliestireno
- Puntas para micropipetas universales azules de 100 a 1000 uL (Isolab)
- Puntas para micropipetas universales amarillas 10 a 100 uL (Isolab)
- Puntas de micropipetas transparentes de 0.1 a 10 uL.
- Cucharas espátulas dosificadoras de acero inoxidable.
- Cucharas dosificadoras de acero inoxidable de 1 mL y 15 mL.
- Tubos cónicos de polipropileno de 50 mL para centrifuga (Isolab).
- Filtros celulosa de extracción para ASE 150 (Thermo Scientific).
- Embudos de vidrio.
- Papel filtro N° 42 de 125 mm (Whatman).
- Frasco de PVC color ámbar de 250 mL.
- Caja de plástico para soporte de puntas (96 pocillos)
- Microplacas de poliestireno transparente de 96 pocillos de 200 uL.

- Microplacas de poliestireno negras de 96 pocillos de 200 uL.
- Viales ámbar para cromatografía de 1.5 mL (Isolab)
- Caja térmica N°4 de Tecnopor (43.00 cm. X 28.50 cm. x 27.00 cm.)
- Placas Petri de poliestireno transparente (Fisherbrand)

3.4.3. Equipos

- Tamizador (Analysette 3 pro, Fritsch, Idar-Oberstein, Alemania)
- Balanza analítica de 220 Gramos (ENTRIS224-1S, SARTORIUS Lab Instruments GmbH & Co, KG, Goettingen, Alemania)
- Analizador de humedad AND de 0.01% / Max. 51 g (MODELO PCE)
- Espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 150, Thermo Scientific, EEU).
- Balanza de precisión de 3000 Gramos (EWJ3000-2 KERN)
- Extractor de líquidos presurizados (Dionex – ASE 150, Thermofisher)
- Centrifuga (Pro-analityt.C2004, Centurion Scientific Ltd, UK)
- Lector de microplacas multidetectores (SYNERGY/HTX, Biotek Instruments Inc, Alemania)
- Lector de microplacas (Thermo scientific - Fluoroskan 5200112)
- Sistema de extracción en fase solida de 12 puertos (SPE-SOPELCO Visiprep 12)
- Rotavapor R-300 Sistema Profesional de 5 litros con 10 a 280 rpm
- Concentrador de muestras por nitrógeno de 24 puertos (Zw-Zhongxing)
- Cromatógrafo Líquido de Ultra Alta Performance (UHPLC) 1290 Infinity II (Agilent, USA) acoplado a un detector de arreglo de diodos 1290 Infinity II (Agilent, USA)
- Rotavapor (Hei-vap Ultimate control, Heidolph, Alemania)
- Liofilizador Alpha 1-4 LSCplus temperatura del condensador – 55 °C

3.4.4. Insumos y reactivos

A. Insumos

- Arena de cuarzo
- Agua destilada y agua tipo I
- Etanol pureza ≥ 99.9% (C_2H_5OH)
- Isopropanol pureza ≥ 99.7% ($CH_3CHOHCH_3$)
- Metanol pureza ≥ 99.9% (CH_3OH)
- Ácido Gálico
- Carbonato de sodio anhidrido P.A. al 99.5% (Na_2CO_3)

- Metanol, grado gradiente para HPLC/UHPLC - CH_3OH (J.T. Baker)

B. Reactivos

- Folin-Ciocalteu 2N
- Carbonato de sodio anhidrido P.A. al 99.5% (Na2CO3)
- DPPH - 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (> 90%)
- Hidrogenofosfato dipotásico (K2HPO4)
- Dihidrógeno fosfato de potasio al 99.9% (KH2PO4)
- Fluoresceína sódica (C.I. 45350)
- Trolox - Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico ≥ 98% (C14H18O4)
- AAPH - Dihidrocloruro de 2,2'-Azinobis (2-metilpropionamidina) ≥ 97%
- Estándar de tirosol
- Estándar de rutina (93%)
- Estándar de quercetina (90%)
- Estándar de hidroxitirosol (97%)
- Estándar de catequina (95%)
- Estándar de procianidina A2 y B2 (90%)
- Estándar de epicatequina (90%)
- Estándar de ácido vainíllico (97%)
- Estándar de resveratrol (99%)
- Estándar de apigenina (95%)
- Estándar de kaempferol (97%)
- Hidrogenofosfato disódico (Na_2HPO_4)
- Fosfato de sodio monobásico ($NaH_2PO_4 \cdot H_2O$)
- Cloruro de sodio (NaCl) y almidón soluble $(C_6H_{10}O_5)$ n
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Potasio y sodio tartrato tetrahidratado ($C_4H_4KNaO_6$ * 4 H_2O)
- DNS - Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (C7H4N2O7)
- α - Amilasa de páncreas porcino (Tipo VI-B, ≥5 unidades/mg sólido / 11 unidades/mg)
- Fosfato potásico dibásico al 98% (K_2HPO_4)
- Bifosfato potásico al 99.5% (KH_2PO_4)
- PNPG (p -Nitrofenil α-D-glucopiranósido)
- α-glucosidasa de Saccharomyces cerevisiae Tipo I, polvo liofilizado ≥ 10 Unidades/mg de proteína.

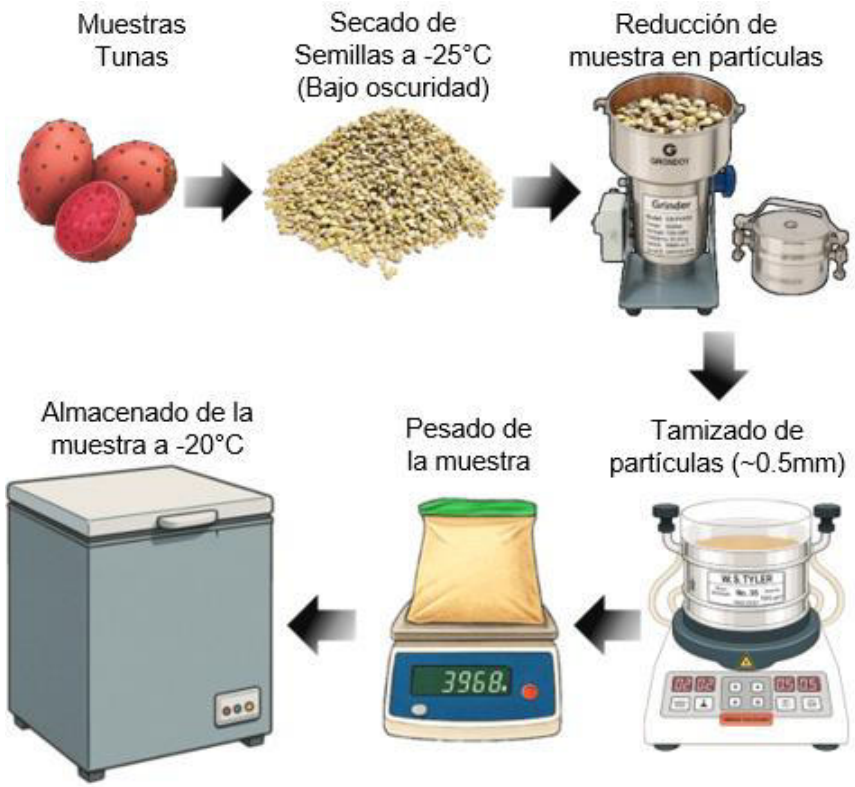
3.5. Procedimientos

3.5.1. Acondicionamiento de la muestra

La muestra fue recolectada y acondicionada (Figura 14). Inicialmente, los frutos fueron lavados para eliminar los gloquidios. Con un cuchillo de acero inoxidable, se retiraron la corteza por los extremos y luego longitudinalmente. Posteriormente, la pulpa comestible fue separada manualmente, mientras que las semillas fueron lavadas repetidamente con agua destilada hasta eliminar por completo los restos de pulpa adherida. A continuación, se filtraron para obtener únicamente las semillas. Estas fueron secadas en condiciones atmosféricas (25 °C) y en oscuridad durante dos semanas, y posteriormente molidas utilizando un molino de granos (GRONDOY). El material resultante fue tamizado hasta obtener partículas de aproximadamente ~ 0,5 mm (Analysette 3 pro, Fritsch). Finalmente, la muestra fue almacenada en bolsas selladas (Ziploc) en estado congelado (-20 °C) hasta su posterior uso.

Figura 14

Acondicionamiento de la muestra (Semillas de tuna roja)



Nota. Elaborado y adaptado utilizando FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word y draw.io, con fines ilustrativos.

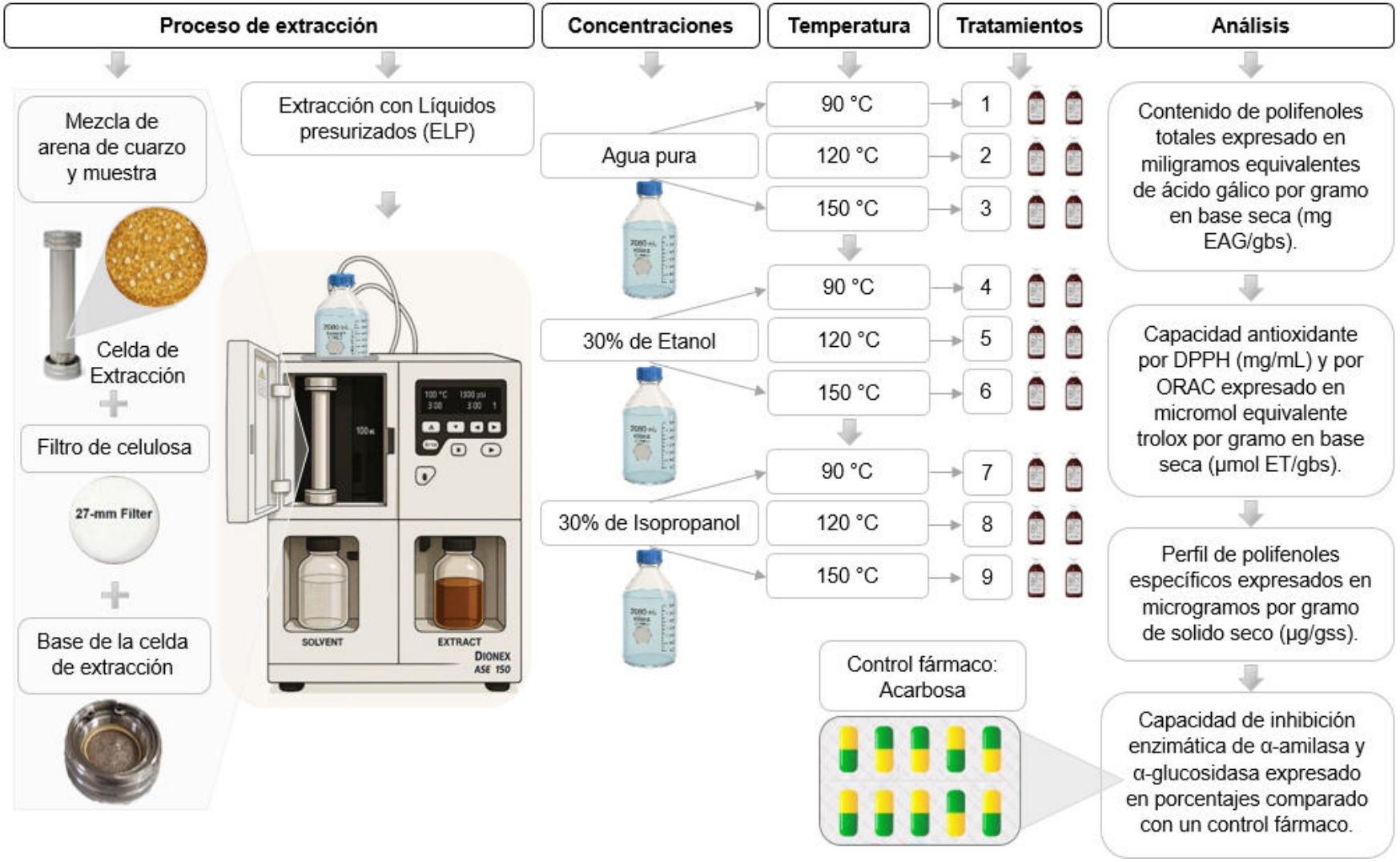
3.5.2. Extracción por líquidos presurizados (ELP)

Los compuestos bioactivos fueron extraídos utilizando un sistema de extracción con líquidos presurizados (ASE 150, Dionex, Thermo Fisher, San José, CA, EE. UU.), equipado con una celda de acero inoxidable de 100 mL y un frasco recolector de vidrio de 250 mL (Dionex ASE). La metodología aplicada correspondió a una adaptación de los procedimientos descritos por Gajardo-Parra et al. (2023) y Mihelčič et al. (2023), con modificaciones específicas para este estudio. Se mezclaron 10 g de muestra seca (micropartículas de semillas de tuna roja) con 40 g de arena de cuarzo, la cual actuó como dispersante y desecante (relación 1:4 p/p). En el fondo de la celda de extracción, fue colocado en papel filtro de celulosa (Thermo Scientific) y se cargaron con la mezcla previamente descrita. La presión fue ajustada a 10 MPa (1500 psi), el volumen de lavado fue establecido en 20 % y el tiempo de extracción estática fue de 5 minutos, seguido por un enjuague con 100 mL de disolvente y una purga con nitrógeno presurizado. Finalmente, los extractos fueron centrifugados a 5000 rpm durante 5 minutos, filtrados a través de papel Whatman N.º 1 con porosidad de 0,22 µm y almacenados en frascos de PVC color ámbar de 200 mL, protegidos de la luz a -20 °C hasta su análisis posterior.

Como control, se realizó una extracción convencional utilizando metanol al 60 % a 30 °C durante 1 hora. Las extracciones experimentales incluyeron el uso de agua al 100 %, etanol al 30 % e isopropanol al 30 %, a temperaturas elevadas de 90, 120 y 150 °C. Estas condiciones permitieron mantener una relación matriz/extracto de 1:10 (Figura 15).

Figura 15

Esquema del proceso experimental de investigación



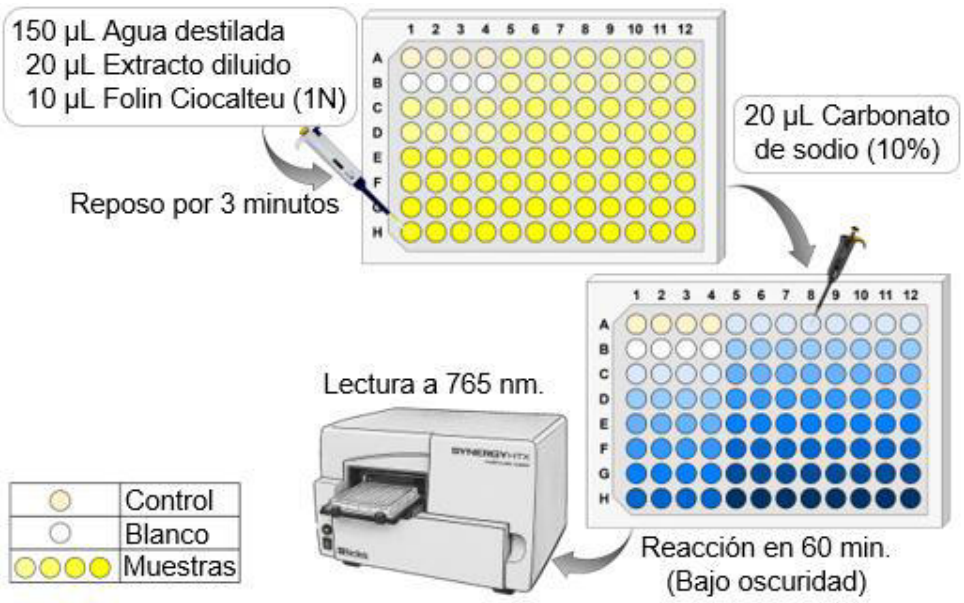
Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

3.5.3. Determinación de polifenoles totales

Para determinar el contenido de compuestos fenólicos totales en semillas de tuna roja se empleó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu como lo describen Singleton y Rossi (1965), adaptado por Huamán-Castilla et al. (2024) con ligeras modificaciones. Se preparó una curva de calibración con diferentes concentraciones (20–80 mg/L; R^2: 0.9996), utilizando ácido gálico como estándar, y se midieron las absorbancias a una longitud de onda de 765 nm. A partir de estos datos, se aplicaron la ecuación de la recta (y = 10,352 x + 0,0042), despejando "x" y reemplazando "y" por el valor de absorbancia correspondiente, de modo que los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de sólido seco (mg EAG/gss). El procedimiento seguido se muestra en la Figura 16: se mezclaron 150 µL de agua destilada, 20 µL del extracto diluido y 10 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1 N), y la mezcla fue dejada en reposo durante 3 minutos. Posteriormente, se añadieron 20 µL de carbonato de sodio al 10 % (p/v), y la reacción fue incubada en oscuridad a 25 °C durante 60 minutos. Finalmente, la absorbancia a 765 nm fue medida utilizando un lector de microplacas (Multi-Modal Microplate Synergy - HTX).

Figura 16

Metodología para cuantificación de polifenoles totales



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word y draw.io,* con fines ilustrativos.

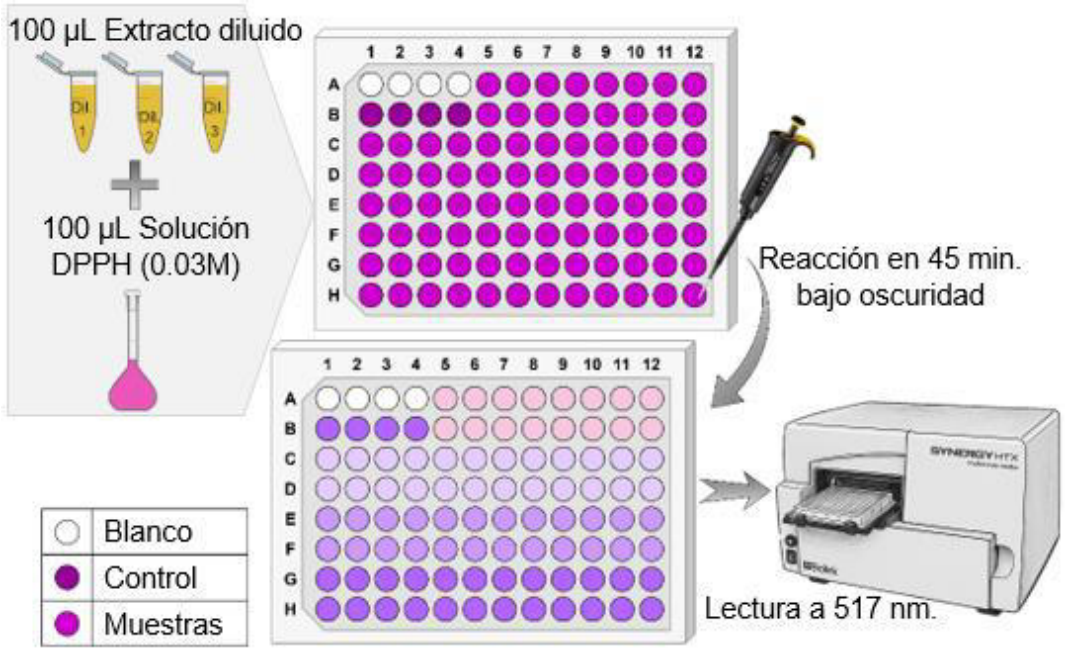
3.5.4. Determinación de capacidad antioxidante

3.5.4.1. Capacidad antioxidante por DPPH

La evaluación de la actividad antioxidante de los extractos de semillas de tuna roja se realizó utilizando el método de inhibición del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) propuesto por Brand-Williams et al., (1995), con adaptaciones hechas por Saravanakumar et al. (2015) y otros ajustes. En el proceso dentro de una microplaca de 96 pocillos, se combinaron 100 µL del extracto diluido y 100 µL de la solución de DPPH en metanol (0,3 mM), manteniéndola alejada de la luz durante 45 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, un espectrofotómetro midió la absorbancia a 517 nm. Paralelamente, se empleó 100 uL de metanol con 100 uL del solvente usado en el extracto (blanco) y una mezcla de 100 µL de solución de DPPH y 100 µL del metanol para el control (Figura 17).

Figura 17

Metodología de capacidad antioxidante con DPPH



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

Ecuación para calcular la capacidad antioxidante mediante DPPH:

$$Inhibición\ \% = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b}\right)\right] x\ 100$$

Donde:

Am: Absorbancia de la muestra de extracto; Ac : Absorbancia del blanco.

Ac : Absorbancia del control.

Ecuación para determinar el IC_{50} mediante regresión lineal:

$$IC_{50} = \frac{50 - b}{a}$$

donde:

y (50): % de inhibición

b = Ordenada

a = Pendiente

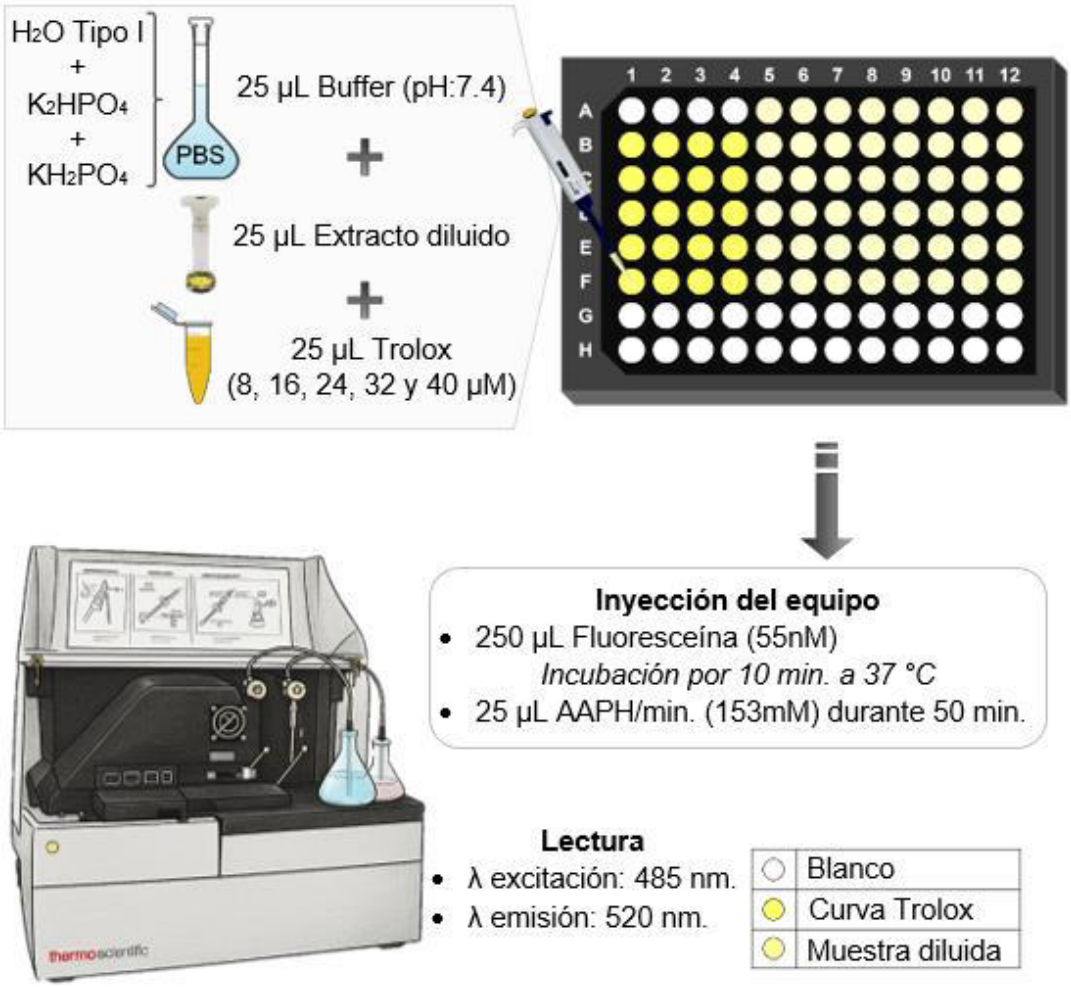
Los datos obtenidos se expresaron en términos de IC_{50} (mg/mL), que representa la concentración del extracto de semillas de tuna roja necesaria para reducir en un 50 % la captación de radicales libres DPPH.

3.5.4.2. Determinación de capacidad antioxidante por ORAC

La capacidad antioxidante de los extractos se evaluó mediante el método recomendado por Chirinos et al. (2013), adaptado por Chen et al. (2018) y Huamán-Castilla et al. (2021), empleando placas de 96 pocillos y un lector de microplacas (Thermo Scientific Fluoroskan). Para la curva estándar se usó Trolox como antioxidante de referencia, expresando los resultados en µmol de equivalentes de Trolox por gramo en base seca (µmol ET/gbs). Se aplicaron 25 µl del extracto de semillas de tuna roja diluido en solución salina de tampón fosfato (PBS: 75 mM, pH 7.4) y se preparó una curva Trolox (0.0002 M) con diluciones de 8, 16, 24, 32 y 40 µM. A cada concentración se añadieron 250 µl de fluoresceína (55 nM). Luego, la mezcla fue incubada por el equipo durante 10 minutos a 37°C, agregando 25 µl de AAPH (153 mM) en cada pocillo como fuente de radicales peroxilo. La fluorescencia fue registrada cada minuto durante 50 minutos, con una longitud de excitación de 485 nm y una emisión de 520 nm (Figura 18).

Figura 18

Metodología para determinar capacidad antioxidante por ORAC



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

3.5.5. Identificación del perfil de polifenoles específicos

La cantidad de polifenoles en las semillas de tuna roja fue evaluada utilizando una metodología basada en el trabajo de Sandhu & Gu (2010), adaptado por Beara et al. (2024) con algunas modificaciones. Para la cuantificación específica de estos compuestos, se utilizó un cromatógrafo líquido de ultra alta resolución acoplado a un detector de arreglo de diodos (UHPLC-DAD). El procedimiento incluyó una etapa de purificación mediante extracción en fase sólida, donde los cartuchos HyperSep C18 fueron acondicionados con 10 mL de metanol grado HPLC, evitando que se secaran durante el proceso.

Posteriormente, se agregaron 10 mL de agua Milli-Q y se inyectaron 10 mL del extracto bajo presión de vacío moderada. Los compuestos retenidos en los cartuchos fueron eluídos con 10 mL de metanol, y las fracciones recolectadas en tubos de ensayo se concentraron utilizando un evaporador con nitrógeno como gas de secado. La muestra concentrada fue reconstituida con 1 mL de metanol y filtrada mediante una jeringa equipada con un filtro de membrana de nailon de 0,22 µm, antes de ser transferida a viales de vidrio ámbar. Finalmente, el sistema UHPLC inyectó 1 µL de cada muestra en una columna Acquity BEH C18 (2,1 × 100 mm, 1,7 µm; Waters, Irlanda), donde se realizó la separación de los compuestos a una temperatura constante de 30 °C (Figura 19).

Figura 19

Metodología para Perfil de Polifenoles



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

La fase móvil consistió en una mezcla de agua Tipo I (solvente A) y acetonitrilo (solvente B), ambos con ácido fórmico al 0,1 %, se aplicó gradientes de elución: 0 min, 95 % A – 5 % B; 15 min, 60 % A – 40 % B; 18 min, 95 % A – 5 % B, con un flujo de 0,3 mL/min. Finalmente, la cuantificación de los polifenoles específicos se realizó comparando el tiempo de retención y el área bajo la curva de cada compuesto con sus respectivos estándares: tirosol, rutina y quercitrina (λ = 270 nm); ácido vanílico, catequina, epicatequina, hidroxitirosol, procianidina A2, procianidina B2 y oleuropeína (λ = 280 nm); resveratrol y apigenina (λ = 324 nm); y kaempferol (λ = 373 nm), expresando los resultados como microgramos de polifenol específico por gramo de sólido seco (µg/gss).

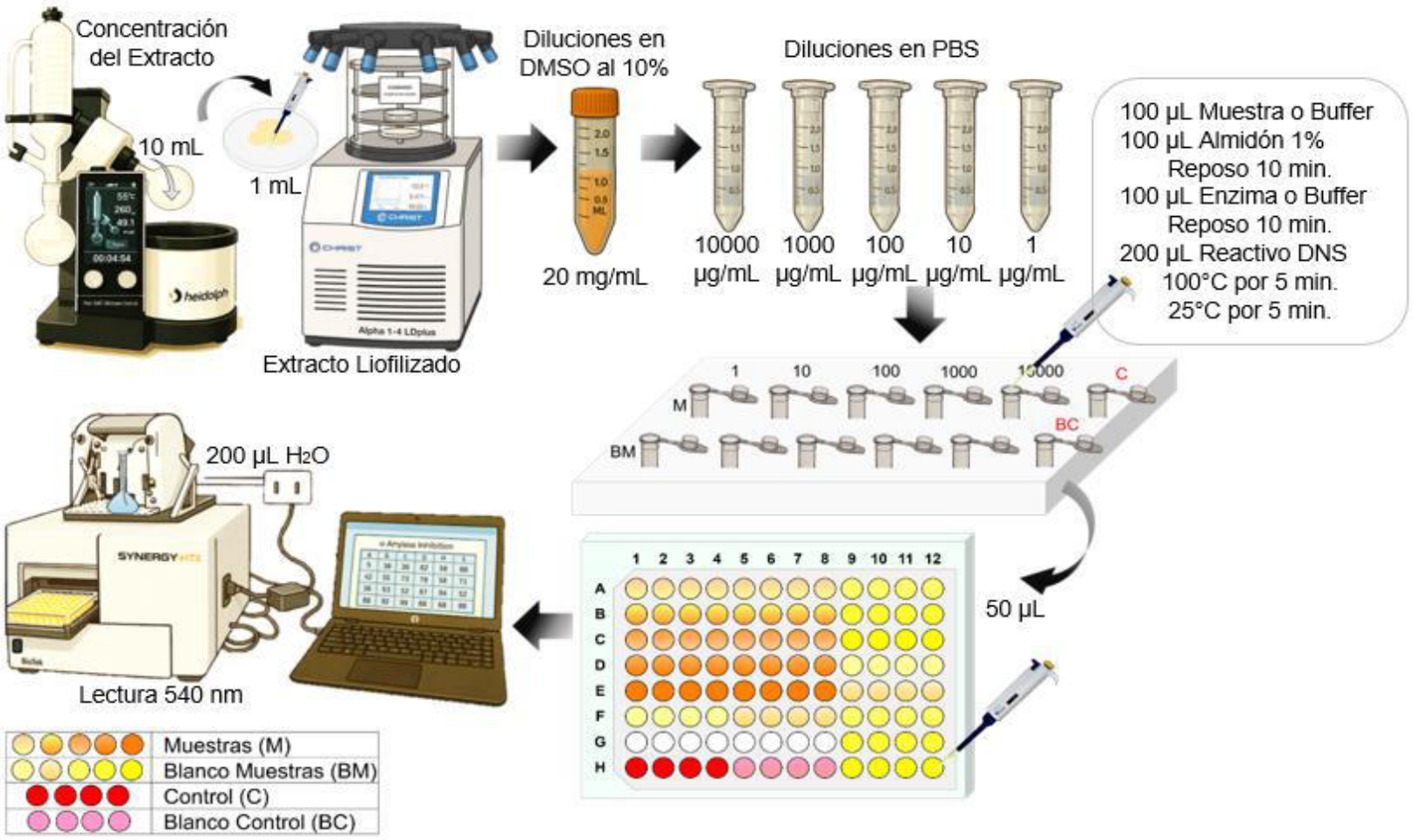
3.5.6. Inhibición de enzimas relacionadas con la DM2

3.5.6.1. Inhibición de la actividad de α-amilasa

La inhibición de la α-amilasa fue evaluada siguiendo la metodología descrita por Lordan et al. (2013), adaptado por Dehghan et al. (2018) y Oyedemi et al. (2017) con ciertas modificaciones. Los extractos fueron concentrados por evaporación (Rotavapor Heidolph) y liofilizados durante 48 horas a −60 °C. Luego, las muestras secas se disolvieron en DMSO al 10 % para obtener una solución stock de 20 mg/mL, a partir de la cual se prepararon diluciones (1, 10, 100, 1000 y 10000 µg/mL) en tampón fosfato de 20mM (PBS, pH 6,9) y cloruro de sodio a 6 mM. Cada dilución (100 µL) fue incubada con 100 µL de almidón al 1 % durante 10 minutos a 25 °C. Posteriormente, se añadió 100 µL de α-amilasa (0,5 mg/mL) y, tras otra incubación de 10 minutos, se agregaron 200 µL de reactivo DNS (ácido dinitrosalicílico). Las muestras fueron calentadas en un baño termostático (Isolab) a 96 °C durante 5 minutos y luego enfriadas durante otros 5 minutos. Finalmente, se transfirieron 50 µL a microplacas de 96 pocillos, y un lector de microplacas (Biotek Synergy HTX) inyectó 200 µL de agua tipo I en cada pocillo, luego registró la absorbancia a 540 nm (Figura 20).

Figura 20

Metodología para determinar el porcentaje de inhibición de α-amilasa



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

Para cada concentración del extracto, la absorbancia de fondo fue ajustada mediante blancos individuales, en los cuales la enzima fue reemplazada por 100 µL de PBS. Los controles fueron preparados de manera idéntica, sustituyendo los extractos por 100 µL de DMSO. La acarbosa fue el control positivo, representando el 100 % de actividad enzimática. Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se calculó el porcentaje de inhibición utilizando la siguiente ecuación:

$$\%\ Inhibición = \frac{Abs_{540}(Control) - Abs_{540}(Muestra)}{Abs_{540}(Control)}\ x\ 100$$

$$Actividad\ enzimática\ (\%) = \frac{Extracto\ (nm)}{Control\ (nm)} * 100$$

Donde:

Control: Es la reacción enzima sustrato en ausencia de inhibidores.

El efecto del inhibidor farmacológico, acarbosa, también se determinó siguiendo el mismo protocolo descrito anteriormente.

3.5.6.2. Inhibición de la actividad de α-glucosidasa

La actividad inhibidora de los extractos frente a la α-glucosidasa fue evaluada mediante el método descrito por Nampoothiri et al. (2011), adaptado por Huamán-Castilla et al. (2021) con modificaciones. El efecto inhibidor de cada extracto consistió en preparar concentraciones de 1 a 10 000 µg/mL en una solución de tampón de fosfato de sodio 100 mM (pH 6,9). Luego, en una microplaca de 96 pocillos, fueron mezclados 50 µL de solución del extracto con 50 µL de solución de p-NPG (p-nitrofenil-α-D-glucopiranósido 5 mM) en el mismo tampón. Finalmente, la mezcla fue incubada a 37 °C durante 5 minutos mediante un lector de microplacas (Biotek, Synergy/HTX); posteriormente, cada pocillo recibió 100 µL de tampón fosfato con α-glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae* (0,1 U/mL), y la reacción fue monitoreada a 405 nm durante 15 minutos, con lecturas cada 3 minutos (Figura 21).

Como control positivo, se utilizó acarbosa, considerado como inhibidor de referencia. La actividad enzimática fue calculada con base en la formación del producto p-nitrofenol (amarillo), directamente proporcional a la absorbancia registrada, y expresada como porcentaje de inhibición según la siguiente fórmula:

$$\%\ Inhibición = \frac{A_{Control} - A_{Muestra}}{A_{Control}}\ x\ 100$$

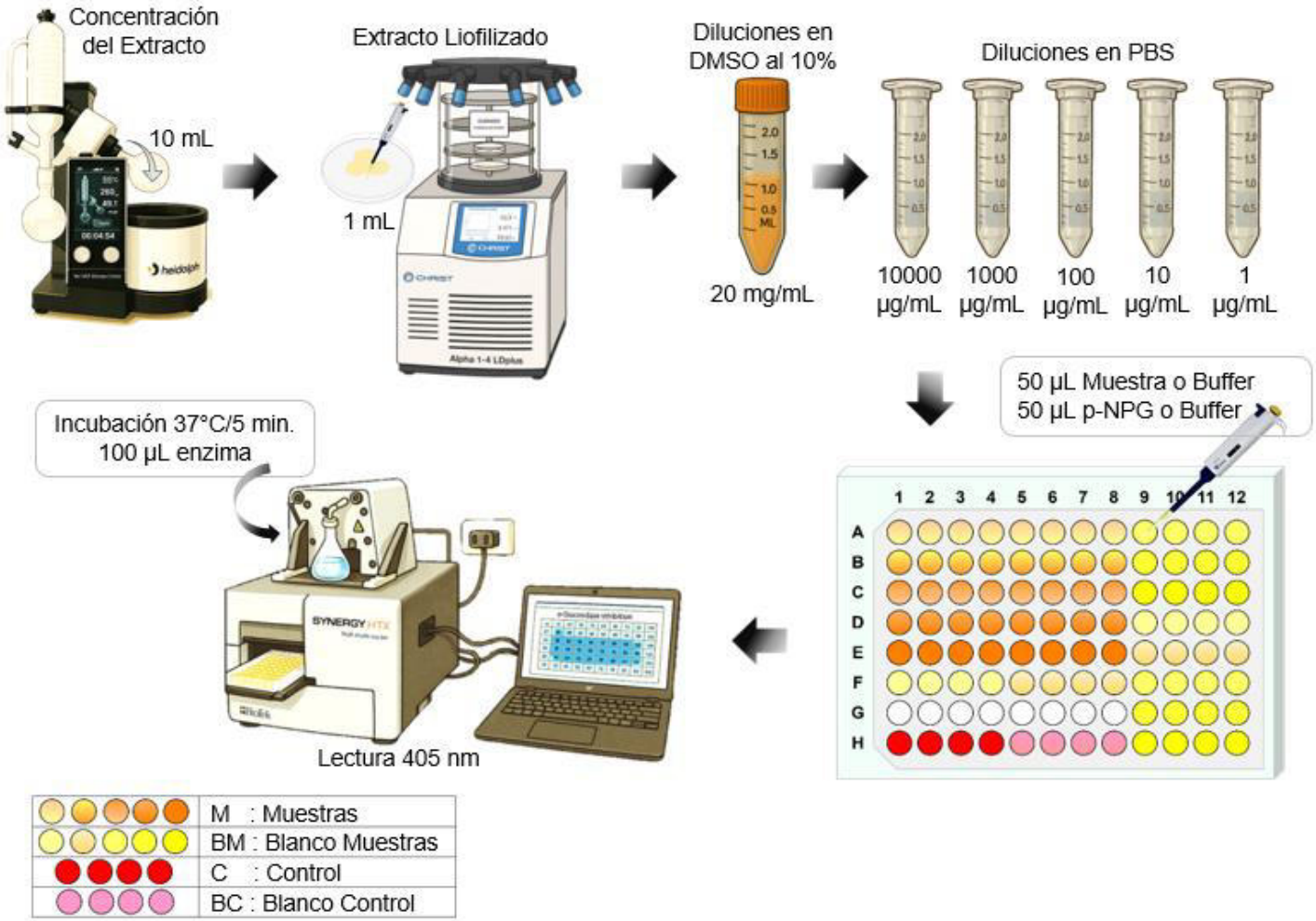
Donde:

$A_{Control}$*: Representa la absorbancia sin inhibidor*

$A_{Muestra}$*: Es la absorbancia con extracto.*

Figura 21

Metodología para determinar el porcentaje de inhibición de α-glucosidasa



Nota. Elaborado y adaptado utilizando *FotoSketcher, Inkscape, Microsoft Word, Chemix y draw.io,* con fines ilustrativos.

3.5.7. Análisis de datos

El estudio contempló un diseño factorial completo 3 x 3 con duplicados. Este diseño permitió evaluar el efecto de dos factores: tipo de solvente (agua pura, 30% de etanol v/v y 30% de isopropanol v/v) y temperatura (90, 120 y 150 °C), aplicados durante la extracción con líquidos presurizados, sobre las siguientes variables de respuesta: contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, perfil de polifenoles específicos e inhibición enzimática de α-amilasa y α-glucosidasa.

El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion XVI.I. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial con un nivel de confianza del 95 % para determinar el efecto significativo de los factores y sus interacciones. La normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianzas se verificaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene ($p > 0,05$ en ambos casos). Las diferencias significativas entre tratamientos se evaluaron mediante la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$).

A. Modelo factorial

El modelo factorial utilizado para las variables de respuesta se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}: *Valor de la variable respuesta.*

μ: *Es la media global de todos los tratamientos.*

α : *Es el factor temperatura.*

i : *Representa los niveles del factor α.*

β : *Es el factor solvente.*

j : *Representa los niveles del factor β.*

$(\alpha\beta)_{ij}$: *Representa la interacción de los niveles ij de los factores α β.*

ε_{ijk} : *Representa el error experimental.*

IV. Resultados y discusiones

4.1. Efecto del uso de solventes alternativos y altas temperaturas sobre el contenido de compuestos antioxidantes

4.1.1. Polifenoles totales

Independientemente del tipo de solvente empleado, los incrementos de temperatura mejoraron la recuperación de polifenoles totales (Tabla 12). Por ejemplo, cuando la temperatura incrementa de 90 a 150°C la recuperación de fenoles totales mejora ~4, ~5 y ~8 veces con agua pura, isopropanol y etanol, respectivamente (Tabla 12). Bajo condiciones subcríticas, Bebek Markovinović et al. (2023) demostraron que un incremento de 40 a 120°C recuperó ~1,3 y ~4,4 veces de polifenoles totales con agua y 50 % de etanol a partir de fruto del madroño. Ahmad et al. (2021) reportaron que un aumento de 60 a 100 °C, mejoró en ~1,5 y ~2,2 veces la recuperación de polifenoles con agua pura y 80 % de etanol a partir de *Capsicum annum L*., respectivamente. Similarmente, Huamán-Castilla et al. (2023) reportaron que, al aumentar la temperatura de 70 a 130°C, el contenido total de polifenoles aumentó en ~3,5 y ~5,7 veces con agua pura y 30% de isopropanol a partir de arándanos de descarte, respectivamente. Durante la ELP los incrementos de temperatura reducen la viscosidad del solvente y constante dieléctrica, lo que mejora la solubilidad y difusión de los compuestos fenólicos (Anaya-Esparza et al., 2023; Bocian et al., 2024). Además, las altas temperaturas (> 100°C) incrementan la energía cinética del sistema, favoreciendo la ruptura de paredes celulares y, por ende, la liberación de metabolitos bioactivos como los polifenoles (da Rosa et al., 2024; Nuchdang et al., 2022; Supasatyankul et al., 2022).

Si bien todos los solventes fueron eficientes para recuperar polifenoles, el etanol fue el solvente con mayor habilidad para recuperar estos compuestos. Al respecto, el etanol presenta dos estructuras moleculares (polar y no polar) que interactúan con los grupos aromáticos e hidroxilo de los polifenoles (Belščak-Cvitanović & Komes, 2017; Rajhard et al., 2021). Mientras que las moléculas de agua solo pueden interactuar con los grupos hidroxilo de los polifenoles (Bánvölgyi et al., 2020; J. Shi et al., 2003). Además, su constante dieléctrica moderada (ε: 24.3) en comparación con el etanol (ε: 19,92) y agua (ε: 80) permite una mejor solubilización de polifenoles medianamente polares (Khayati, 2016; Natolino et al., 2024; Solaberrieta et al., 2022).

Tabla 12

Contenido de polifenoles totales en extractos de semilla de tuna roja

Polifenoles Totales (mg EAG/gss)			
Temperatura (°C)	**Agua pura**	**Etanol (30 %)**	**Isopropanol (30 %)**
90	0,72 ^{A,a} ± 0,01	0,85 ^{A,a} ± 0,05	1,37 ^{A,a} ± 0,06
120	1,31 ^{A,a} ± 0,02	3,02 ^{B,b} ± 0,00	4,02 ^{C,b} ± 0,07
150	3,19 ^{A,b} ± 0,22	6,39 ^{B,c} ± 0,45	6,88 ^{B,c} ± 0,56

Nota. La concentración de polifenoles totales es expresada en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de sólido seco (mg EAG/gss). El símbolo ± representa la desviación estándar (n = 2). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas distinguen diferencias significativas entre solventes a una misma temperatura, mientras que las letras minúsculas reflejan diferencias significativas entre temperaturas para un mismo solvente.

4.2. Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante está relacionada directamente con el contenido de polifenoles (Zhang et al., 2025). Estos compuestos actúan como donadores de electrones o átomos de hidrógeno capaces de neutralizar radicales libres. Por ello, un mayor contenido de polifenoles suele reflejarse en una mayor actividad antioxidante determinada por los métodos DPPH y ORAC.

4.2.1. Actividad antioxidante mediante el método DPPH

En general, el IC_{50} indica la cantidad de miligramos de extracto necesario para inhibir el 50 % del radical DPPH**.** Si bien los cambios de temperatura de 90 a 150 °C reducen el valor IC_{50}, las mejores condiciones fueron establecidas a 150°C. Por ejemplo, el uso de 150 °C permitió obtener valores de IC_{50} de 6,09; 5,94 y 4,68 mg/mL para agua, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol, respectivamente (Tabla 13). Similares resultados fueron reportados por Mamani Apaza et al. (2024), donde el incremento de temperatura de 50 a 70 °C redujo en 40 % el valor del IC_{50}, cuya mejor condición fue a 70 °C con 10 y 6 mg/mL con agua pura y 15 % de etanol a

partir de las hojas de olivo, respectivamente. Contrariamente Ferreira et al. (2024) demostraron una disminución del 77 % al elevar la temperatura de 140 a 200 °C mediante extracción con agua pura en semillas de *Opuntia ficus-indica*. De igual modo, Huamán-Castilla et al. (2023), reportaron que los incrementos de 70 a 130 °C disminuyen en 33 % y 45 % el IC_{50} con agua y 30 % de isopropanol, respectivamente.

Tabla 13

Capacidad antioxidante por el método DPPH en semillas de tuna roja

Capacidad antioxidante por DPPH - IC 50 (mg/mL)						
Temperatura (°C)	**Agua pura**		**Etanol (30 %)**		**Isopropanol (30 %)**	
90	23,61 ^{A,a}	± 1,29	12,43 ^{B,a}	± 1,11	10,22 ^{C,a}	± 0,54
120	16,22 ^{A,b}	± 0,01	9,21 ^{B,b}	± 0,81	8,92 ^{B,a}	± 0,39
150	6,09 ^{A,c}	± 0,45	5,94 ^{A,c}	± 0,19	4,68 ^{B,b}	± 0,10

Nota. La capacidad antioxidante por DPPH es expresado como factor IC_{50} en miligramos por mililitro (mg/mL). El símbolo ± representa la desviación estándar (n = 2). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Las letras mayúsculas distinguen diferencias significativas según el tipo de solvente por fila, mientras que las letras minúsculas reflejan diferencias significativas asociadas a las diferentes temperaturas empleadas por columna.

Entonces, las altas temperaturas favorecen la solubilidad de los polifenoles; consecuentemente, la capacidad antioxidante del extracto mejora (Doymaz et al., 2025). Asimismo, durante la ELP probablemente se despolimeriza los taninos condensados característicos en semillas de tuna, generando unidades de menor peso molecular con mayor capacidad para neutralizar radicales libres (Getachew et al., 2022). El DPPH se basa en la transferencia de electrones, la cual es más eficiente en solventes con polaridad intermedia como el etanol o isopropanol que facilita esta reacción, a diferencia del agua, que ralentiza el proceso por su alta polaridad (Cao et al., 2022). Además, las propiedades físico-químicas del isopropanol tiene la capacidad de interactuar tanto con compuestos solubles en agua (hidrofílicos) como en grasa (lipofílicos) lo que facilita la disolución de una mayor variedad de polifenoles (Dzięcioł et al., 2023; El Guezzane et al., 2024).

4.2.2. Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC)

El ensayo ORAC mide cómo los antioxidantes retrasan la degradación de la fluoresceína causada por radicales peroxilo generados por el AAPH (Jiménez-Morales et al., 2022). De acuerdo con nuestros resultados, la capacidad antioxidante mejora con el aumento de temperatura de 90 a 150 °C (Tabla 14). Los valores de ORAC a 150 °C incrementaron en 99,06; 221,87 y 250,85 µmol ET/gss con agua, 30 % etanol y 30 % de isopropanol, respectivamente (Tabla 14). Huamán-Castilla et al. (2023) reportaron a 130 °C valores de 149,90 y 246,29 µmol ET/gss con agua y 30 % de isopropanol a partir de descartes de arándano, respectivamente. Howard & Pandjaitan, (2008) reportaron incrementos de ~2,4 y ~7,7 veces en los valores ORAC al incrementar la temperatura de 50 a 190 °C con agua y etanol al 70 % a partir de extractos acuosos de *Spinacia oleracea*, respectivamente. Pereira et al. (2019) demostraron que un aumento de 40 a 100 °C, mejoró en 268,86 y 772,11 µmol ET/gss con agua pura y 50 % de etanol a partir del orujo de uva, respectivamente.

Tabla 14

Poder antioxidante (ORAC) en extractos de semillas de tuna roja

Capacidad antioxidante por ORAC (µmol ET/gss)			
Temperatura (°C)	**Agua Pura**	**Etanol (30 %)**	**Isopropanol (30 %)**
90	30,12 ^{A,a} ± 1,58	71,29 ^{B,a} ± 2,24	103,92 ^{C,a} ± 1,69
120	55,98 ^{A,a} ± 1,45	107,56 ^{B,b} ± 4,13	130,73 ^{B,a} ± 10,94
150	99,06 ^{A,b} ± 7,58	221,87 ^{B,c} ± 18,46	250,85 ^{B,b} ± 17,85

Nota. La capacidad antioxidante por ORAC es expresado como micromol equivalente a trolox por gramo de solido seco (µmol ET/gss). El símbolo ± representa la desviación estándar (n = 2). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre solventes para una misma temperatura (por fila), mientras que las letras minúsculas indican diferencias significativas entre temperaturas dentro de un mismo solvente (por columna).

Mediante el ELP, la capacidad antioxidante medida por ORAC aumentó debido a una mayor liberación de polifenoles capaces de neutralizar radicales

peroxilo (ROO) generados por AAPH (Michiels et al., 2012). A diferencia del DPPH, el ensayo ORAC es más sensible a compuestos de bajo peso molecular que actúan por transferencia de hidrógeno, los cuales se generan o liberan con mayor eficiencia bajo temperaturas elevadas, particularmente en matrices con polifenoles ligados a macromoléculas como las semillas (Wang et al., 2023).

4.3. Cuantificación del perfil de polifenoles específicos

En base a los resultados de la tabla obtenida del análisis de los polifenoles presentes en las semillas de tuna roja, se puede realizar una interpretación considerando los diferentes compuestos evaluados bajo tres tipos de solventes (agua pura, 30 % de etanol y 30 % de isopropanol) y tres temperaturas (90, 120 y 150 °C) mediante la extracción con líquidos presurizados.

4.3.1. Ácidos fenólicos (Ácido vanílico)

Los incrementos de temperaturas favorecen la recuperación de ácidos fenólicos. Por ejemplo, el uso de 30 % de isopropanol, 30 % de etanol y agua a 150 °C recuperó 1,37; 3,15 y 15,47 µg/gss, respectivamente (Tabla 15). Al respecto, los grupos hidroxilo y carbonilo presentes en los ácidos fenólicos establecen múltiples enlaces de hidrógeno con el agua, lo que mejora su solubilidad frente a solventes menos polares como el etanol o isopropanol (Parí et al., 2024). Además, el ácido vanílico incrementa la acidez del soluto y su afinidad por medios acuosos, lo cual facilita su extracción en condiciones subcríticas (Vilas-Boas et al., 2019). Sin embargo, a temperaturas elevadas, éste ácido puede unirse a proteínas o fibras, limitando su liberación en el extracto (Lang et al., 2019).

4.3.2. Flavanoles

El aumento de la temperatura favorece el contenido de flavanoles. Por ejemplo, el uso de 30 % de isopropanol, 30 % de etanol y agua a 150 °C, recuperó 7,61; 15,01; 48,65 µg/gss (Tabla 15). No obstante, la mejor condición permitió una mayor recuperación de la Procianidina B2, alcanzando 35,59 µg/gss con agua a 150 °C, superando los otros solventes (Tabla 15). El agua en condiciones subcríticas (a ~150 °C) favorece la recuperación de flavanoles al reducir drásticamente su polaridad y aumenta su difusividad, de modo que penetra mejor en la matriz vegetal y disuelve tanto compuestos libres como ligados (Gbashi et al., 2016; Mikucka et al., 2022). Además, las catequinas y procianidinas son compuestos más solubles en agua que en solventes orgánicos por su abundancia

de grupos hidroxilo bajo condiciones de extracción térmica que superan a la del isopropanol y etanol (Hwang et al., 2021).

4.3.3. Flavonoles

Los incrementos de temperatura mejoraron la recuperación de flavonoles (Tabla 15). Por ejemplo, cuando la temperatura incrementa 150 °C la recuperación de flavonoles recuperó 2,19; 4,10; 18,63 µg/gss con el uso de 30 % de isopropanol, 30 % de etanol y agua, respectivamente (Tabla 15). No obstante, el compuesto más representativo fue la rutina, alcanzando 15,76 µg/gss con agua a 150 °C, superando los otros solventes (Tabla 15). Al respecto, los flavonoles muchas veces están presentes como glucósidos muy polares y el agua a elevada temperatura solubiliza mejor estos glucósidos fenólicos, mientras que el etanol y el isopropanol compiten o precipitan parte de ellos, reduciendo el rendimiento (Allcca-Alca, et al., 2024). Además, la presencia de grupos carbonilo de tipo cetona en la estructura de los flavonoles favorece su solubilidad en agua (Cheng et al., 2021; Huaman-Castilla et al., 2019).

En cuanto a la rutina, se extrae más eficientemente a temperaturas elevadas con el agua por ser un compuesto glucosídico (Ganeshpurkar & Saluja, 2017). En cambio, la extracción de kaempferol con agua mostró valores mínimos (≤ 0,10 µg/gss a todas las temperaturas). Bajo condiciones subcríticas este compuesto es menos soluble en agua en comparación con otros flavonoides, como la quercetina (Dai & Mumper, 2020).

4.3.4. Estilbenos (Resveratrol)

Los incrementos de temperaturas favorecen el contenido de estilbenos. Por ejemplo, el uso de 30 % de isopropanol, 30 % de etanol y agua a 150°C recupero 0,38; 1,25 y 1,65 µg/gss, respectivamente (Tabla 15). El resveratrol tiene tres grupos hidroxilo (–OH) en su estructura aromática y aunque es poco soluble en agua (≈0.03 g/L) muestra alta solubilidad en etanol (~50 g/L) mientras que bajo condiciones subcríticas la polaridad del agua disminuye y su constante dieléctrica se reduce de ~80 a ~27 permitiendo una mejor afinidad con moléculas semipolares del compuesto fenólico (Aouf et al., 2020; Căpruciu & Gheorghiu, 2025; W. Li et al., 2024). Sin embargo, al elevar la temperatura de 120 a 150 °C, el agua subcrítica se vuelve menos polar aún, lo que favorece la extracción de compuestos menos polares, pero puede también provocar cierta descomposición térmica o

menor selectividad hacia el resveratrol específico, reduciendo su extracción relativa (Duca et al., 2019; Y. Tian et al., 2017).

4.3.5. Flavona (Apigenina)

Los incrementos de temperaturas favorecen el contenido de flavonas. Por ejemplo, a 150 °C la recuperación fue de 0,35; 0,53 y 1,67 µg/gss con 30 % de isopropanol, agua y 30 % de etanol, respectivamente (Tabla 15). Al respecto, la apigenina (4′,5,7-trihidroxiflavona) posee una estructura parcialmente polar y un núcleo aromático plano que presenta mejor afinidad con mezclas agua-etanol, que son capaces de interactuar mediante puentes de hidrógeno (Rajhard et al., 2021; Tomou et al., 2023). Además, el etanol reduce su viscosidad y mejora su capacidad de penetración en la matriz vegetal, facilitando la liberación y solubilización de este compuesto, a diferencia del isopropanol que tiene menor polaridad que el etanol, lo que limita su capacidad para formar enlaces de hidrógeno con los grupos –OH de este compuesto (Gómez-López et al., 2021; Y. Wang et al., 2017). Por otro lado, el agua, aunque es muy polar, no interactúa bien con el núcleo aromático de la apigenina, que requiere cierta capacidad del solvente para interactuar con regiones menos polares (Priya & Peddha, 2023; Shakeel et al., 2017).

4.3.6. Feniletanoides

Los incrementos de temperaturas favorecen el contenido de flavonas. Por ejemplo, el uso de 30 % de isopropanol y 30 % de etanol a 150°C recupero 0,61 y 0,90 µg/gss, respectivamente (Tabla 15). No obstante, la mejor condición permitió una mayor recuperación del hidroxitirosol, alcanzando 0,91 µg/gss con agua a 120°C. (Tabla 15). Al respecto, el hidroxitirosol y el tirosol forman puentes de hidrógeno con grupos OH del solvente y presentan interacciones hidrofóbicas entre sus anillos aromáticos y las cadenas alifáticas del alcohol, lo que favorece su solubilidad en solventes alcohólicos como etanol o isopropanol (Mamani Apaza et al., 2024). Sin embargo, estos compuestos presentan alta susceptibilidad a la oxidación y degradación en altas temperaturas (≥ 120°C) particularmente con presencia de iones donde el agua a ~150 °C acelera su descomposición y limita su recuperación mientras que en medios alcohólicos estos compuestos muestran mayor estabilidad (Zafra-Gómez et al., 2011).

Tabla 15

Polifenoles específicos en extractos obtenidos de semillas de tuna roja

Polifenoles específicos	Agua (100 %)			Etanol (30%)			Isopropanol (30%)		
	90°C	**120°C**	**150°C**	**90°C**	**120°C**	**150°C**	**90°C**	**120°C**	**150°C**
Ácidos Fenólicos (µg/gss)									
Ác. Vanílico	1,99 ± 1,31^{aA}	7,35 ± 0,19^{bB}	15,47 ± 1,03^{cC}	ND	1,78 ± 0,29^{aA}	3,15 ± 0,09^{aB}	ND	0,95 ± 0,06^{aA}	1,33 ± 0,33aA
Subtotal Σ:	**1,99**	**7,35**	**15,47**	**0,00**	**1,78**	**3,15**	**0,00**	**0,95**	**1,33**
Flavanoles (µg/gss)									
Catequina	1,65 ± 0,15^{aB}	6,70 ± 0,56^{bB}	ND	0,24 ± 0,04^{aA}	0,94 ± 0,37^{aA}	2,69 ± 0,19^{bA}	0,41 ± 0,03^{aA}	0,58 ± 0,05^{aA}	1,97 ± 0,50^{bA}
Epicatequina	ND	ND	0,26 ± 0,36^{aA}	0,31 ± 0,01^{aA}	0,34 ± 0,01^{aA}	0,40 ± 0,05^{aA}	0,38 ± 0,00^{aA}	0,35 ± 0,02^{aA}	0,38 ± 0,06^{aA}
Procianidina A2	0,88 ± 0,13^{aA}	3,46 ± 0,17^{bB}	12,81 ± 1,89^{cC}	0,39 ± 0,09^{aA}	1,16 ± 0,07^{bA}	8,65 ± 0,18^{cB}	ND	ND	3,31 ± 0,26^{aA}
Procianidina B2	ND	19,59 ± 0,76^{aB}	35,59 ± 3,17^{bB}	0,91 ± 0,14^{aA}	2,58 ± 0,69^{bA}	3,27 ± 0,12^{bA}	1,17 ± 0,24^{aA}	1,42 ± 0,15^{aA}	1,95 ± 0,56^{aA}
Subtotal Σ:	**2,53**	**29,75**	**48,65**	**1,85**	**5,02**	**15,01**	**1,96**	**2,34**	**7,61**
Flavonoles (µg/gss)									
Quercitrina	1,41 ± 0,01^{aB}	1,82 ± 0,03^{aB}	2,77 ± 0,37^{bB}	0,25 ± 0,27^{aA}	0,39 ± 0,15^{aA}	0,66 ± 0,33^{aA}	0,14 ± 0,04^{aA}	0,20 ± 0,07^{aA}	0,22 ± 0,07^{aA}
Kaempferol	0,10 ± 0,04^{aA}	0,08 ± 0,06^{aA}	0,10 ± 0,04^{aA}	0,19 ± 0,06^{aA}	0,11 ± 0,02^{aA}	0,14 ± 0,06^{aA}	0,18 ± 0,05^{aA}	0,34 ± 0,11^{aB}	0,40 ± 0,02^{aB}
Rutina	5,17 ± 0,31^{aB}	6,98 ± 0,23^{bB}	15,76 ± 0,05^{cC}	0,82 ± 0,18^{aA}	1,68 ± 0,46^{aA}	3,30 ± 0,68^{bB}	0,77 ± 0,02^{aA}	1,19 ± 0,15^{aA}	1,57 ± 0,49^{aA}
Subtotal Σ:	**6,68**	**8,88**	**18,63**	**1,26**	**2,18**	**4,10**	**1,09**	**1,73**	**2,19**
Estilbenos (µg/gss)									
Resveratrol	2,16 ± 0,17^{bB}	1,62 ± 0,1^{aC}	1,65 ± 0,07^{aB}	0,69 ± 0,33^{aA}	0,93 ± 0,27^{aB}	1,25 ± 0,32^{aB}	0,34 ± 0,01^{aA}	0,39 ± 0,04^{aA}	0,38 ± 0,04^{aA}
Subtotal Σ:	**2,16**	**1,62**	**1,65**	**0,69**	**0,93**	**1,25**	**0,34**	**0,39**	**0,38**
Flavona (µg/gss)									
Apigenina	0,18 ± 0,01^{aA}	0,25 ± 0,01^{aA}	0,53 ± 0,03^{bB}	0,78 ± 0,09^{aB}	1,43 ± 0,07^{bC}	1,67 ± 0,04^{cC}	0,21 ± 0,01^{aA}	0,71 ± 0,06^{bB}	0,35 ± 0,05^{aA}
Subtotal Σ:	**0,18**	**0,25**	**0,53**	**0,78**	**1,43**	**1,67**	**0,21**	**0,71**	**0,35**
Feniletanoides (µg/gss)									
Hidroxitirosol	0,15 ± 0,01^{aA}	0,91 ± 0,2^{bB}	ND	0,11 ± 0,00^{aA}	0,16 ± 0,22^{aA}	0,76 ± 0,27^{bA}	0,12 ± 0,02^{aA}	0,24 ± 0,12^{aA}	0,61 ± 0,14^{bA}
Tirosol	0,50 ± 0,02^{aB}	0,62 ± 0,09^{aB}	ND	ND	0,15 ± 0,04^{aA}	0,14 ± 0,02^{aA}	0,06 ± 0,08^{aA}	ND	ND
Subtotal Σ:	**0,64**	**1,53**	**0,00**	**0,11**	**0,15**	**0,90**	**0,09**	**0,24**	**0,61**
Total (µg/gss)	**24,47**	**49,38**	**86,97**	**4,69**	**1,92**	**26,08**	**0,61**	**6,36**	**12,47**

Nota. El perfil de polifenoles específicos está expresado en microgramos por gramos de sólido seco (µg/gss). El símbolo ± representa la desviación estándar (n = 2). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre temperaturas dentro de un mismo solvente, mientras que las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre solventes para una misma temperatura.

4.4. Impacto del uso de solventes alternativos para inhibir enzimas relacionadas con la Diabetes Mellitus 2

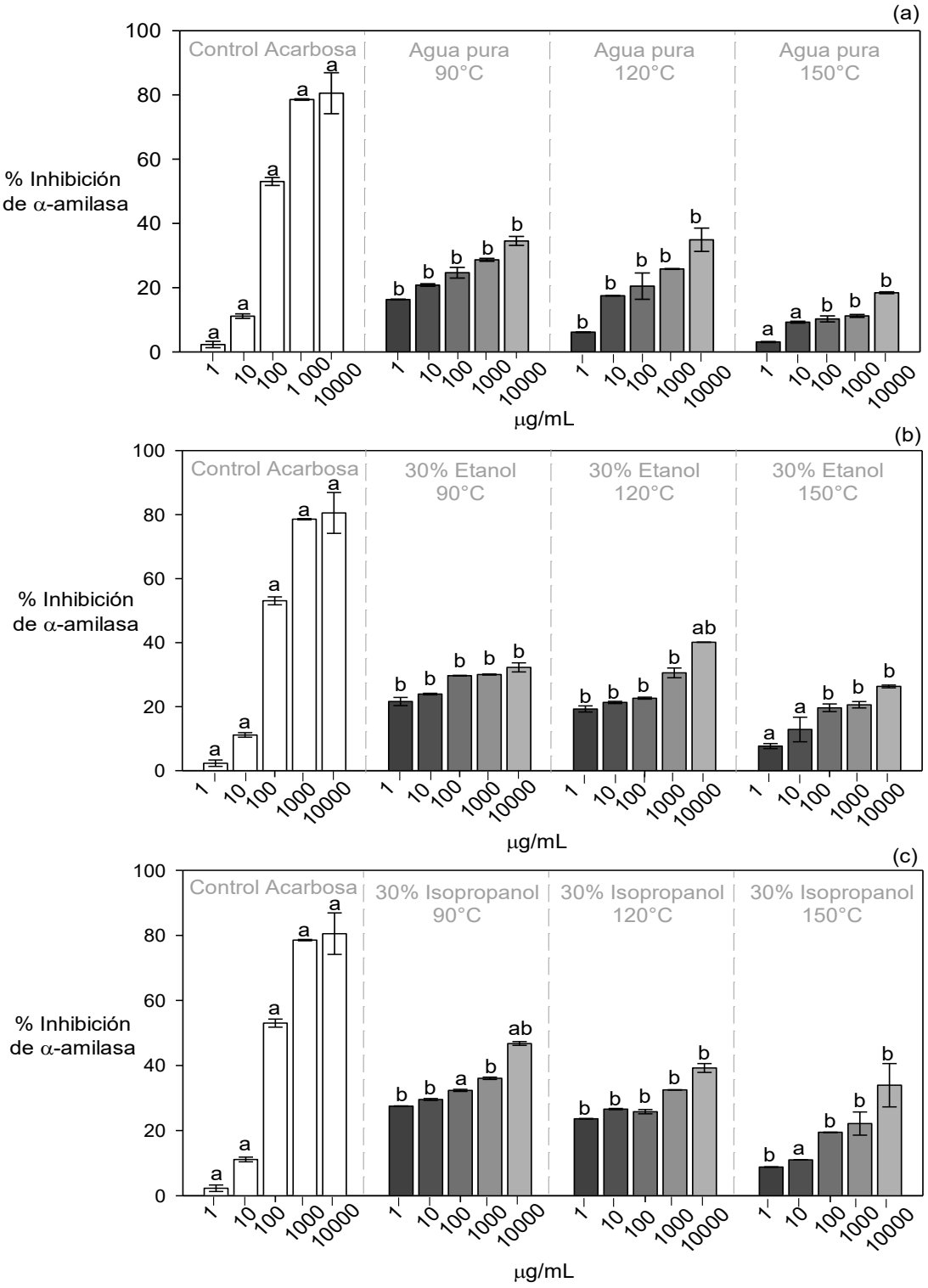
4.4.1. Inhibición de la actividad de alfa amilasa

Independientemente del tipo de solvente empleado, los incrementos de temperatura disminuyeron la inhibición enzimática (Figura 22). Por ejemplo, a una concentración de 10 000 µg/mL cuando la temperatura incrementa de 90 a 150°C el efecto inhibitorio disminuyó en ~18 %, ~27 % y ~47 % con etanol, isopropanol y agua pura, respectivamente (Figura 22). Huamán-Castilla et al. (2024) reportaron que un aumento de 90 a 150 °C, la inhibición redujo en ~14 % y ~47 % con 30 % de etanol y agua pura a partir de algas rojas, respectivamente. Liu et al. (2017) demostraron que un incremento de 20 a 100 °C disminuyó ~49 % de la inhibición sobre α-amilasa utilizando agua pura como solvente de extracción a partir de extractos de té verde. Aunque a temperaturas mayores a 120 °C se incrementó la recuperación de ácidos fenólicos, flavonoles y flavanoles (Tabla 15), algunos de ellos, como el ácido clorogénico y la isorhamnetina-3-O-rutinósido, presentes en semillas de tuna, son conocidos por alterar la actividad de la enzima inhibiéndolas, no obstante, son sensibles al calor y pueden degradarse (Gharsallah et al., 2021; Pino et al., 2025). Así mismo, los taninos condensados, como los trímeros y tetrámeros, se descomponen en moléculas más pequeñas, pueden unirse con menos fuerza a la enzima α-amilasa, ya que esta unión depende de enlaces de hidrógeno, entre anillos aromáticos (π–π) e interacciones hidrofóbicas (Breniaux et al., 2025). Además, la α-amilasa presenta su mayor actividad entre 30 °C y 65 °C, disminuyendo a temperaturas más altas por desnaturalización, lo que apoya el uso de hasta 120 °C como temperatura efectiva (Wang et al., 2024; Yun et al., 2022).

Por otro lado, el uso del 30 % de etanol a 120°C y 30% de isopropanol a 90°C fueron las condiciones más eficaces para inhibir la α-amilasa (10 000 µg/mL), alcanzando un 40 % y 47 % de inhibición, respectivamente (Figura 22 b-c). Sin embargo, estos valores fueron inferiores en comparación con la acarbosa (fármaco de referencia), que presentó un 81 % de inhibición a la misma concentración (Figura 22). Parámetros operativos como la relación soluto-solvente y la concentración influyen en la solubilidad y liberación de compuestos bioactivos que pueden inhibir la actividad de enzimas hidrolizadoras de carbohidratos como la α-amilasa al unirse a su estructura proteica mediante enlaces de hidrógeno (Kim et al., 2011; Sands et al., 2023).

Figura 22

Influencia de los extractos sobre la actividad enzimática de la α-amilasa



Nota. El efecto inhibitorio se expresa en porcentaje. Letras minúsculas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas dentro de un mismo solvente y concentración. Barras con misma letra no difieren significativamente entre sí. Concentraciones se expresan en microgramos por mililitro (µg/mL).

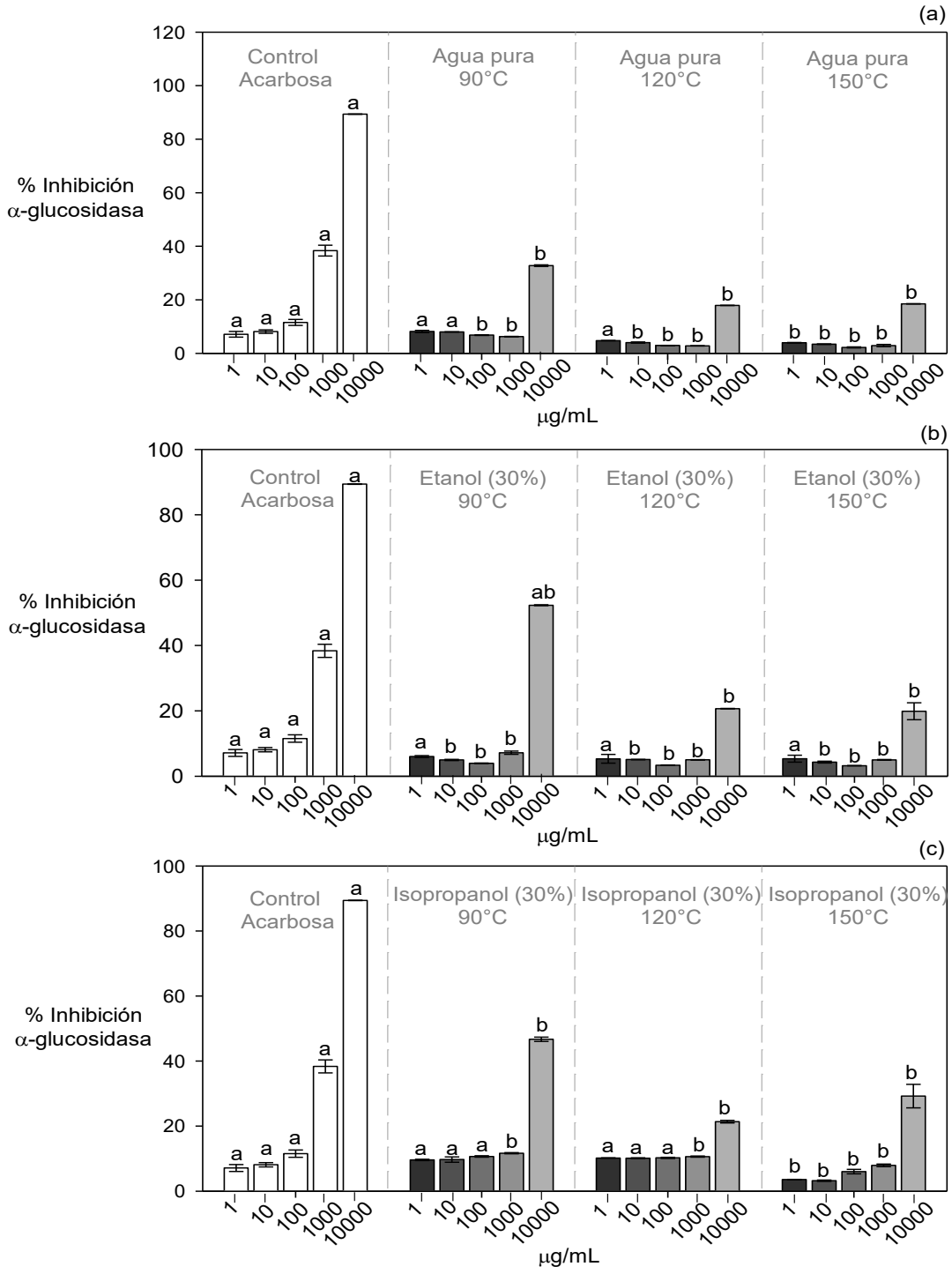
4.4.2. Inhibición de la actividad de alfa glucosidasa

En general, los incrementos de temperatura redujeron la inhibición de α-glucosidasa (Figura 23). A una concentración de 10 000 µg/mL cuando la temperatura incrementa de 90 a 150 °C la disminución de inhibición de α-glucosidasa fue de ~37, ~44 y ~62 % con isopropanol, agua pura y etanol, respectivamente (Figura 23). Cvetanović et al. (2019) demostraron una disminución del 70 % al elevar la temperatura de 65 a 210 °C mediante extracción con agua pura a partir de extractos de manzanilla. Huamán-Castilla et al. (2021) reportaron disminuciones del 31 % y 42 % al incrementar la temperatura de 90 a 150 °C mediante extracciones con agua pura y 15 % de etanol a partir del orujo de uva, respectivamente. Similarmente Liu et al. (2020), demostraron una disminución del 50 % al elevar la temperatura de 120 a 220°C mediante extracción con agua pura a partir de cáscaras de castaño. La α-glucosidasa a temperaturas elevadas (100 °C) pueden inducir alteraciones estructurales en la enzima, disminuyendo la afinidad por inhibidores al modificar su conformación tridimensional (Alaei et al., 2020; T. M. da Silva et al., 2009; Stepankova et al., 2013). Así mismo, el incremento de temperatura favorece la extracción de compuestos interferentes como azúcares, proteínas solubles y productos de degradación, los cuales pueden interferir con la actividad enzimática (Baron et al., 2021; H. Zhang et al., 2015).

Por otra parte, a 90 °C el isopropanol y etanol (30 %) mostraron la mayor inhibición sobre α-glucosidasa (~47 % y ~52 %, respectivamente), aunque inferiores a la acarbosa (~89 %) (Figura 23 b-c). La enzima glucosidasa en la digestión humana está compuesta por maltasa-glucoamilasa y sacarasa-isomaltasa, éstos actúan sobre distintos sustratos, lo que puede influir en su interacción con inhibidores según su polaridad (Orita et al., 2023). Al respecto, el etanol y el isopropanol tienen la capacidad para recuperar polifenoles de mediana polaridad que mantienen estabilidad y actividad inhibitoria a temperaturas moderadas (Chaves et al., 2020; Saravanan et al., 2021). Además, el ácido clorogénico, abundante en extractos acuosos de las semillas de tuna, actúa como inhibidor no competitivo (Ćorković et al., 2022), lo que es consistente con la acción típica de compuestos muy hidrosolubles que suelen inhibir de forma mixta, sin competir directamente en el sitio catalítico (Proença et al., 2017). Por otro lado, las semillas de tuna aportan omega-6, omega-3 y vitamina E, que junto a los fenoles potencian la inhibición enzimática (Gómez-Maqueo et al., 2019).

Figura 23

Influencia de los extractos sobre la actividad enzimática de la α-glucosidasa



Nota. El efecto inhibitorio se expresa en porcentaje. Letras minúsculas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas dentro de un mismo solvente y concentración. Barras con misma letra no difieren significativamente entre sí. Concentraciones se expresan en microgramos por mililitro (µg/mL).

La α-glucosidasa es una enzima clave en la digestión de carbohidratos, ya que cataliza la conversión de oligosacáridos en glucosa, contribuyendo al aumento de la glucemia posprandial; por ello, su inhibición representa una estrategia terapéutica para controlar la diabetes tipo 2 (Kashtoh & Baek, 2022). Aunque fármacos como la acarbosa son efectivos, su uso se asocia a efectos gastrointestinales adversos (flatulencia, diarrea, dolor abdominal y entre otros), lo que ha impulsado el interés por inhibidores naturales derivados de plantas, como los presentes en semillas de tuna roja, debido a su bajo costo y menor toxicidad (Adedayo et al., 2015; L. Zhang et al., 2017).

V. Conclusiones

La extracción con líquidos presurizados permitió obtener extractos de semillas de *Opuntia ficus-indica* con rendimientos influenciados por el solvente y temperatura. El 30 % de etanol a 150 °C fue la condición más eficiente en términos globales, ya que mostró el mayor incremento en la recuperación de polifenoles totales al elevar la temperatura de 90 a 150 °C. Bajo esta condición se obtuvieron 6,39 mg EAG/gss, junto con una destacada capacidad antioxidante expresada como IC_{50} con 5,94 mg/mL (DPPH) y 221,87 µmol ET/gss (ORAC). Aunque el 30% de isopropanol alcanzó un valor ligeramente mayor de polifenoles totales (6,88 mg EAG/gss), el etanol evidenció la respuesta más favorable al efecto térmico, consolidándose como el solvente más efectivo dentro del proceso.

La caracterización del perfil fenólico evidenció que la composición de los extractos depende directamente del solvente seleccionado. A 150°C, el agua pura favoreció una mayor recuperación de ácidos fenólicos (15,47 µg/gss), flavanoles (48,65 µg/gss), flavonoles (18,63 µg/gss) y estilbenos (1,65 µg/gss); mientras que el 30% de isopropanol concentró principalmente flavonas (1,67 µg/gss) y feniletanoides (0,90 µg/gss). En conjunto, los resultados demuestran que la elección de solvente y temperatura determina un proceso de extracción selectivo, permitiendo recuperar de manera diferenciada cada familia de polifenoles.

En cuanto a la actividad inhibitoria, los extractos mostraron acción moderada sobre α-amilasa y α-glucosidasa. Para α-amilasa, las inhibiciones máximas fueron 35 % con agua, 40 % con etanol y 47 % con isopropanol; mientras que en α-glucosidasa los mayores valores correspondieron a 33 %, 52 % y 47 %, respectivamente. Aunque estos porcentajes son inferiores al control farmacológico (80 % para α-amilasa y 89 % para α-glucosidasa), evidencian que los extractos sí poseen capacidad inhibitoria efectiva sobre ambas enzimas clave en la digestión de carbohidratos, respaldando su potencial en el control de la hiperglucemia.

En síntesis, los resultados confirman que las semillas de tuna roja constituyen un recurso natural valioso, capaz de aportar compuestos antioxidantes y actividad inhibitoria relevante frente a enzimas asociadas a la diabetes mellitus tipo 2, lo que evidencia su potencial para aplicaciones funcionales y biotecnológicas.

VI. Recomendaciones

Se recomienda emplear el 30% de etanol a 120 °C como condición óptima, dado que maximizó la recuperación fenólica, la capacidad antioxidante y la inhibición de α-amilasa y α-glucosidasa, garantizando simultáneamente la estabilidad térmica de los compuestos. Adicionalmente, se sugiere explorar solventes verdes, como mezclas glicerol-agua, para optimizar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental del proceso extractivo.

Se sugiere realizar un análisis completo de las semillas, incluyendo cuantificación de lípidos, proteínas, azúcares y fibras, estos componentes pueden interferir o facilitar la extracción de polifenoles. Este diagnóstico previo ayudaría a adaptar los tratamientos según las características fisicoquímicas.

Se recomienda evaluar la estabilidad fisicoquímica y funcional de los extractos frente a variaciones de temperatura, pH y almacenamiento, así como su desempeño en matrices alimentarias de bajo procesamiento, verificando la conservación del contenido fenólico, la actividad antioxidante y la inhibición enzimática en condiciones simuladas de elaboración.

Una vez confirmada su estabilidad, se sugiere avanzar hacia el desarrollo de prototipos alimentarios bebidas, gelatinas, barras nutritivas, cápsulas o fideos enriquecidos evaluando su comportamiento durante el procesado, la compatibilidad con la matriz y el impacto sensorial, con el fin de identificar vehículos tecnológicamente viables para la incorporación de extractos funcionales.

VII. Referencias bibliográficas

Abd-Elhakim, Y. M., & Al-Sagheer, A. A. (2021). Opuntia spp. Benefits in Chronic Diseases. In *Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications* (pp. 423–455). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_20

Abdulkareem, M. A., Owolabi, B. A., Saheed, E. S., Aromolaran, R. F., Bashiru, R. M., Jumah, T. A., Chijioke, D. U., Amaechi, O. J., Adeleke, F. C., Charles, O. O., & Oluokun, T. S. (2024). Genetic factors and the role of pancreatic amylase in the pathogenesis of type 2 diabetes. *Egyptian Journal of Medical Human Genetics*, *25*(1), 33. https://doi.org/10.1186/s43042-024-00505-6

Abeyrathne, E. D. N. S., Nam, K., & Ahn, D. U. (2021). Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants*, *10*(10), 1–19. https://doi.org/10.3390/antiox10101587

Adedayo, B. C., Oyeleye, S. I., Ejakpovi, I. I., & Oboh, G. (2015). Effects of hot water treatment on the radicals scavenging, lipid peroxidation, and α-amylase and α-glucosidase inhibitory abilities of Crassocephalum crepidioides leaves. *Nutrafoods*, *14*(4), 217–225. https://doi.org/10.1007/s13749-015-0053-6

Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, *62*, 239–250. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015

Agarwal, P., & Gupta, R. (2016). Alpha-amylase inhibition can treat diabetes mellitus. *Research and Reviews Journal of Medical and Health Sciences*, *5*(4), 1–8.

Ahmad, R., Ahmad, N., Al-Anaki, W. S., Ismail, F. A., & Al-Jishi, F. (2020). Solvent and temperature effect of accelerated solvent extraction (ASE) coupled with ultra-high-pressure liquid chromatography (UHPLC-PDA) for the determination of methyl xanthines in commercial tea and coffee. *Food Chemistry*, *311*(November 2019), 126021. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126021

Ahmad, R., Ahmad, N., Alkhars, S., Alkhars, A., Alyousif, M., Bukhamseen, A., Abuthayn, S., Aqeel, M., & Aljamea, A. (2021). Green accelerated solvent extraction (ASE) with solvent and temperature effect and green UHPLC-DAD analysis of phenolics in pepper fruit (Capsicum annum L.). *Journal of Food*

Composition and Analysis, *97*(November 2020), 103766. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103766

Al-Naqeb, G., Cafarella, C., Aprea, E., Ferrentino, G., Gasparini, A., Buzzanca, C., Micalizzi, G., Dugo, P., Mondello, L., & Rigano, F. (2023). Supercritical Fluid Extraction of Oils from Cactus Opuntia ficus-indica L. and Opuntia dillenii Seeds. *Foods*, *12*(3), 618. https://doi.org/10.3390/foods12030618

Alaei, L., Izadi, Z., Jafari, S., Jahanshahi, F., Jaymand, M., Mohammadi, P., Paray, B. A., Hasan, A., Falahati, M., Varnamkhasti, B. S., Saboury, A. A., Moosavi-Nejad, Z., Sheikh-Hosseini, M., & Derakhshankhah, H. (2020). Irreversible thermal inactivation and conformational lock of alpha glucosidase. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, *39*(9), 1–7. https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1762742

Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, *4*(December 2020), 200–214. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011

Albergamo, A., Potortí, A. G., Di Bella, G., Amor, N. Ben, Lo Vecchio, G., Nava, V., Rando, R., Ben Mansour, H., & Lo Turco, V. (2022). Chemical Characterization of Different Products from the Tunisian Opuntia ficus-indica (L.) Mill. *Foods*, *11*(2), 155. https://doi.org/10.3390/foods11020155

Alchera, F., Ginepro, M., & Giacalone, G. (2024). Microwave-assisted extraction (MAE) of bioactive compounds from blueberry by-products using a sugar-based NADES: A novelty in green chemistry. *LWT*, *192*(September 2023), 115642. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115642

Ali, B., Abderrahim, Z., Hassane, M., Marianne, S., Marie-Laure, F., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A., & Mohamed, B. (2022). Chemical Composition of Cactus Pear Seed Oil: phenolics identification and antioxidant activity. *Journal of Pharmacopuncture*, *25*(2), 121–129. https://doi.org/10.3831/KPI.2022.25.2.121

Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D., & Lightfoot, D. (2017). Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. *Plants*, *6*(4), 42. https://doi.org/10.3390/plants6040042

Alvarado-Valdivia, N. T., Flores, J. A., Inolopú, J. L., & Rosales-Rimache, J. A.

(2024). Type 2 diabetes mellitus and recurrent Tuberculosis: A retrospective cohort in Peruvian military workers. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, *35*(March), 100432. https://doi.org/10.1016/j.jctube.2024.100432

Alvarez-Rivera, G., Bueno, M., Ballesteros-Vivas, D., Mendiola, J. A., & Ibañez, E. (2020). Pressurized Liquid Extraction. In *Liquid-Phase Extraction* (pp. 375–398). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00013-X

Amaya-Cruz, D. M., Pérez-Ramírez, I. F., Delgado-García, J., Mondragón-Jacobo, C., Dector-Espinoza, A., & Reynoso-Camacho, R. (2019). An integral profile of bioactive compounds and functional properties of prickly pear (Opuntia ficus indica L.) peel with different tonalities. *Food Chemistry*, *278*, 568–578. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.031

Amrane-Abider, M., Nerín, C., Canellas, E., Benkerrou, F., & Louaileche, H. (2018). Modeling and optimization of phenolic compounds extraction from prickly pear (opuntia ficus-indica) seeds via ultrasound-assisted technique. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, *42*(2), 109–121. https://www.researchgate.net/publication/330881090%0AModeling

Anaya-Esparza, L. M., Aurora-Vigo, E. F., Villagrán, Z., Rodríguez-Lafitte, E., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Solano-Cornejo, M. Á., Zamora-Gasga, V. M., Montalvo-González, E., Gómez-Rodríguez, H., Aceves-Aldrete, C. E., & González-Silva, N. (2023). Design of Experiments for Optimizing Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plant-Based Sources. *Molecules*, *28*(23), 7752. https://doi.org/10.3390/molecules28237752

Andreu-Coll, L., García-Pastor, M. E., Valero, D., Amorós, A., Almansa, M. S., Legua, P., & Hernández, F. (2021). Influence of storage on physiological properties, chemical composition, and bioactive compounds on cactus pear fruit (Opuntia ficus-indica (l.) mill.). *Agriculture (Switzerland)*, *11*(1), 1–10. https://doi.org/10.3390/agriculture11010062

Ansari, P., Khan, J. T., Chowdhury, S., Reberio, A. D., Kumar, S., Seidel, V., Abdel-Wahab, Y. H. A., & Flatt, P. R. (2024). Plant-Based Diets and Phytochemicals in the Management of Diabetes Mellitus and Prevention of Its Complications: A Review. *Nutrients*, *16*(21), 3709. https://doi.org/10.3390/nu16213709

Aouf, A., Ali, H., Al-Khalifa, A. R., Mahmoud, K. F., & Farouk, A. (2020). Influence

of Nanoencapsulation Using High-Pressure Homogenization on the Volatile Constituents and Anticancer and Antioxidant Activities of Algerian Saccocalyx satureioides Coss. et Durieu. *Molecules*, *25*(20), 4756. https://doi.org/10.3390/molecules25204756

Arafa, S., Badawy, W., El-Bana, M., & Mohamed, A. (2023). Utilization of Prickly Pear By-Products to Improve The Nutritional Value of Balady Bread. *Journal of Food and Dairy Sciences*, *14*(4), 99–107. https://doi.org/10.21608/jfds.2023.200826.1104

Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M. E., & Aguilar, C. N. (2020). Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. *Industrial Crops and Products*, *154*(June), 112623. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112623

Aruwa, C. E., Amoo, S. O., & Kudanga, T. (2018). Opuntia (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International*, *112*(February), 328–344. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.047

Asenjo-Alarcón, J. A. (2020). Relación entre estilo de vida y control metabólico en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo 2 de Chota, Perú. *Revista Medica Herediana*, *31*(2), 101–107. https://doi.org/10.20453/rmh.v31i2.3771

Ashcroft, F. M., & Rorsman, P. (2012). Diabetes Mellitus and the β Cell: The Last Ten Years. *Cell*, *148*(6), 1160–1171. https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.02.010

Avila-Nava, A., Noriega, L. G., Tovar, A. R., Granados, O., Perez-Cruz, C., Pedraza-Chaverri, J., & Torres, N. (2017). Food combination based on a pre-hispanic Mexican diet decreases metabolic and cognitive abnormalities and gut microbiota dysbiosis caused by a sucrose-enriched high-fat diet in rats. *Molecular Nutrition & Food Research*, *61*(1), 1501023. https://doi.org/10.1002/mnfr.201501023

Azwanida, N. (2015). A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, *04*(03), 3–8. https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000196

Bánvölgyi, S., Dusza, E., Namukwambi, F. K., Kiss, I., Stefanovits-Bányai, É., & Vatai, G. (2020). Optimization of extraction of phenolic compounds from

Tokaji Aszú marc using response surface methodology. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, *16*(S1), 1–9. https://doi.org/10.1556/446.2020.10001

Baranwal, A., Aggarwal, P., Rai, A., & Kumar, N. (2022). Pharmacological Actions and Underlying Mechanisms of Catechin: A Review. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, *22*(5), 821–833. https://doi.org/10.2174/1389557521666210902162120

Barik, R., Sugunan, S., & Shafri, M. A. B. M. (2024). *Pressurized Liquid Extraction for the Isolation of Bioactive Compounds* (pp. 275–298). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3601-5_12

Baron, G., Ferrario, G., Marinello, C., Carini, M., Morazzoni, P., & Aldini, G. (2021). Effect of extraction solvent and temperature on polyphenol profiles, antioxidant and anti-inflammatory effects of red grape skin by-product. *Molecules*, *26*(18). https://doi.org/10.3390/molecules26185454

Beara, I., Majkić, T., Milovanović, L., Svirčev, E., & Torović, L. (2024). Polyphenolic profile and in vitro biological activity of Serbian orange (skin fermented white) wines. *Food Chemistry*, *447*, 138933. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138933

Bebek Markovinović, A., Milošević, S., Teslić, N., Pavlić, B., Putnik, P., Brčić Karačonji, I., Jurica, K., Lasić, D., & Bursać Kovačević, D. (2023). Development of a Pressurized Green Liquid Extraction Procedure to Recover Antioxidant Bioactive Compounds from Strawberry Tree Fruit (Arbutus unedo L.). *Plants*, *12*(10), 2006. https://doi.org/10.3390/plants12102006

Belhadj Slimen, I., Najar, T., & Abderrabba, M. (2021). *Bioactive Compounds of Prickly Pear [Opuntia Ficus-Indica (L.) Mill.]* (pp. 1–40). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44578-2_12-2

Bellache, R., Hammiche, D., & Boukerrou, A. (2022). *Prickly pear seed : from vegetable fiber to advanced applications : A review Prickly pear seed : from vegetable fiber to advanced applications : A review*. *September*. https://www.researchgate.net/publication/363265443_Prickly_pear_seed_from_vegetable_fiber_to_advanced_applications_A_review?enrichId=rgreq-3ffc219014dd6685bc6eb924fcaa863d-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2MzI2NTQ0MztBUzoxMTQzMTI4MTA4Mjk4Mjg4MkAxNjYyMzAyND

Belščak-Cvitanović, A., & Komes, D. (2017). Extraction and formulation of bioactive compounds. In *Handbook of Coffee Processing By-Products* (pp. 93–140). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00004-9

Belwal, T., Chemat, F., Venskutonis, P. R., Cravotto, G., Jaiswal, D. K., Bhatt, I. D., Devkota, H. P., & Luo, Z. (2020). Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *127*, 115895. https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115895

Benayad, Z., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Gomez-Cordoves, C., & Es-Safi, N. E. (2014). Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan Opuntia ficus-indica flowers obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, *62*, 412–420. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.046

Bocian, S., Dembek, M., & Kalisz, O. (2024). Exploring the green frontier: Subcritical water chromatography for sustainable analytical practices. *Journal of Separation Science*, *47*(9–10). https://doi.org/10.1002/jssc.202300873

Bonnefond, A., Yengo, L., Dechaume, A., Canouil, M., Castelain, M., Roger, E., Allegaert, F., Caiazzo, R., Raverdy, V., Pigeyre, M., Arredouani, A., Borys, J.-M., Lévy-Marchal, C., Weill, J., Roussel, R., Balkau, B., Marre, M., Pattou, F., Brousseau, T., & Froguel, P. (2017). Relationship between salivary/pancreatic amylase and body mass index: a systems biology approach. *BMC Medicine*, *15*(1), 37. https://doi.org/10.1186/s12916-017-0784-x

Borchani, M., Yaich, H., Abbès, F., Blecker, C., Besbes, S., Attia, H., & Masmoudi, M. (2021). Physicochemical, Functional and Antioxidant Properties of the Major Protein Fractions Extracted from Prickly Pear (Opuntia ficus indica L.) Seed Cake. *Waste and Biomass Valorization*, *12*(4), 1749–1760. https://doi.org/10.1007/s12649-020-01111-4

BOUAOUICH, A., & Bouguerche, F. (2022). HPLC Chromatographic Analysis Antioxidant activity of seeds some varieties of prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) from the Sidi-Fredj souk Ahras Algeria. *Algerian Journal of Biosciences*, *3*(1), 038–046. https://doi.org/10.57056/ajb.v3i1.54

Bouaouich, A., Bouguerche, F., Mahiaoui, H., Peron, G., & Bendif, H. (2023). Phytochemical Elucidation and Antioxidant Activity of Seeds from Three

Prickly Pear (Opuntia ficus-indica L.) Cultivars from Algeria. *Applied Sciences*, *13*(3), 1444. https://doi.org/10.3390/app13031444

Bousbia, N., Mazari, A., Lamoudi, L., Akretche-Kelfat, Soraya Chibane, N., & Dif, M. E. (2022). Evaluation of the phytochemical composition and the antioxidant activity of cactus pear flowers and fruit derivatives. *Revue Agrobiologia*, *12*(2), 3235–3243. https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/255/12/2/209940

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Breniaux, M., Poulain, B., Mariño-Cortegoso, S., Barbosa-Pereira, L., Nioi, C., & Ghidossi, R. (2025). Valorization of Grape Seed By-Products Using Subcritical Water Extraction: A Sustainable Approach for Bioactive Compound Recovery. *Processes*, *13*(6), 1–20. https://doi.org/10.3390/pr13061788

Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, *21*(7), 901. https://doi.org/10.3390/molecules21070901

Cano-Lou, J., Millán-Laleona, A., Candrea, R., Les, F., Pina, A., Caprioli, G., & López, V. (2025). Apple peels as an edible source of phenolic bioactive compounds with antidiabetic and antiglycation properties. *Food & Function*, *16*(8), 2947–2958. https://doi.org/10.1039/D4FO05241B

Cao, W., Wang, Y., Shehzad, Q., Liu, Z., & Zeng, R. (2022). Effect of Different Solvents on the Extraction of Oil from Peony Seeds (*Paeonia suffruticosa* Andr.): Oil Yield, Fatty Acids Composition, Minor Components, and Antioxidant Capacity. *Journal of Oleo Science*, *71*(3), ess21274. https://doi.org/10.5650/jos.ess21274

Căpruciu, R., & Gheorghiu, C. N. (2025). Methods for Synthesis and Extraction of Resveratrol from Grapevine: Challenges and Advances in Compound Identification and Analysis. *Foods*, *14*(7), 1091. https://doi.org/10.3390/foods14071091

Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Soria-Lopez, A., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2021).

Benefits and Drawbacks of Ultrasound-Assisted Extraction for the Recovery of Bioactive Compounds from Marine Algae. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(17), 9153. https://doi.org/10.3390/ijerph18179153

Carrillo-Larco, R. M., & Bernabé-Ortiz, A. (2019). Diabetes mellitus tipo 2 en Perú: una revisión sistemática sobre la prevalencia e incidencia en población general. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *36*(1), 26. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2019.361.4027

Castillo-Reyes, F., De León-Juárez, E., Nery-Flores, S. D., Flores-Gallegos, A. C., Campos-Muzquiz, L. G., Ascacio-Valdés, J. A., & Rodríguez-Herrera, R. (2022). Polyphenols extraction from creosote bush, tarbush, and soursop using ultrasound-microwave and their effect against Alternaria alternata and Fusarium solani. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, *40*(3), 349–376. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-7

Chaalal, M., Touati, N., & Louaileche, H. (2012). Extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of prickly pear seeds. *Acta Botanica Gallica*, *159*(4), 467–475. https://doi.org/10.1080/12538078.2012.758495

Chaves, J. O., de Souza, M. C., da Silva, L. C., Lachos-Perez, D., Torres-Mayanga, P. C., Machado, A. P. da F., Forster-Carneiro, T., Vázquez-Espinosa, M., González-de-Peredo, A. V., Barbero, G. F., & Rostagno, M. A. (2020). Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Frontiers in Chemistry*, *8*(September). https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887

Chbani, M., Matthäus, B., Charrouf, Z., El Monfalouti, H., Kartah, B., Gharby, S., & Willenberg, I. (2020). Characterization of Phenolic Compounds Extracted from Cold Pressed Cactus (Opuntia ficus-indica L.) Seed Oil and the Effect of Roasting on Their Composition. *Foods*, *9*(8), 1098. https://doi.org/10.3390/foods9081098

Chen, C., Wang, L., Wang, R., Luo, X., Li, Y., Li, J., Li, Y., & Chen, Z. (2018). Phenolic contents, cellular antioxidant activity and antiproliferative capacity of different varieties of oats. *Food Chemistry*, *239*, 260–267. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.104

Cheng, Y., Xue, F., Yu, S., Du, S., & Yang, Y. (2021). Subcritical Water Extraction of Natural Products. *Molecules*, *26*(13), 4004.

https://doi.org/10.3390/molecules26134004

Chhabra, N. F., Amend, A. –L, Bastidas-Ponce, A., Sabrautzki, S., Tarquis-Medina, M., Sachs, S., Rubey, M., Lorenz-Depiereux, B., Feuchtinger, A., Bakhti, M., Lickert, H., Przemeck, G. K. H., & Hrabě de Angelis, M. (2021). A point mutation in the Pdia6 gene results in loss of pancreatic β-cell identity causing overt diabetes. *Molecular Metabolism*, *54*(September), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.molmet.2021.101334

Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, *47*, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.025

Choi, G., Han, Y., Sim, K., & Kim, M. (2023). Phenolic compounds, antioxidant capacity, and α-amylase and α-glucosidase inhibitory activity of ethanol extracts of perilla seed meal. *Food Science & Nutrition*, *September 2022*, 1–11. https://doi.org/10.1002/fsn3.3419

Ćorković, I., Gašo-Sokač, D., Pichler, A., Šimunović, J., & Kopjar, M. (2022). Dietary Polyphenols as Natural Inhibitors of α-Amylase and α-Glucosidase. *Life*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/life12111692

Cota-Sánchez, J. H. (2016). Nutritional Composition of the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Fruit. In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 691–712). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3

Cvetanović, A., Švarc-Gajić, J., Zeković, Z., Jerković, J., Zengin, G., Gašić, U., Tešić, Ž., Mašković, P., Soares, C., Fatima Barroso, M., Delerue-Matos, C., & Đurović, S. (2019). The influence of the extraction temperature on polyphenolic profiles and bioactivity of chamomile (Matricaria chamomilla L.) subcritical water extracts. *Food Chemistry*, *271*, 328–337. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.154

da Rosa, A., Hoscheid, J., Garcia, V., de Oliveira Santos Junior, O., & da Silva, C. (2024). Phytochemical Extract from Syzygium cumini Leaf: Maximization of Compound Extraction, Chemical Characterization, Antidiabetic and Antibacterial Activity, and Cell Viability. *Processes*, *12*(10), 2270. https://doi.org/10.3390/pr12102270

da Silva, A. P. G., Sganzerla, W. G., John, O. D., & Marchiosi, R. (2025). A comprehensive review of the classification, sources, biosynthesis, and biological properties of hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids. *Phytochemistry Reviews*, *24*(2), 1061–1090. https://doi.org/10.1007/s11101-023-09891-y

da Silva, T. M., Michelin, M., de Lima Damásio, A. R., Maller, A., Almeida, F. B. D. R., Ruller, R., Ward, R. J., Rosa, J. C., Jorge, J. A., Terenzi, H. F., & de Lourdes Teixeira de Moraes Poliz, M. (2009). Purification and biochemical characterization of a novel α-glucosidase from Aspergillus niveus. *Antonie van Leeuwenhoek*, *96*(4), 569–578. https://doi.org/10.1007/s10482-009-9372-1

Dai, J., & Mumper, R. J. (2020). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, *15*(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313

Daud, N. M., Putra, N. R., Jamaludin, R., Md Norodin, N. S., Sarkawi, N. S., Hamzah, M. H. S., Mohd Nasir, H., Abang Zaidel, D. N., Che Yunus, M. A., & Md Salleh, L. (2022). Valorisation of plant seed as natural bioactive compounds by various extraction methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *119*(March 2021), 201–214. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.010

Dehghan, H., Salehi, P., & Amiri, M. S. (2018). Bioassay-guided purification of α-amylase, α-glucosidase inhibitors and DPPH radical scavengers from roots of Rheum turkestanicum. *Industrial Crops and Products*, *117*(November 2017), 303–309. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.086

Dirir, A. M., Daou, M., Yousef, A. F., & Yousef, L. F. (2022). A review of alpha-glucosidase inhibitors from plants as potential candidates for the treatment of type-2 diabetes. *Phytochemistry Reviews*, *21*(4), 1049–1079. https://doi.org/10.1007/s11101-021-09773-1

Doan, M. T. N., Huynh, M. C., Pham, A. N. V., Chau, N. D. Q., & Le, P. T. K. (2020). Extracting seed oil and phenolic compounds from papaya seeds by ultrasound-assisted extraction method and their properties. *Chemical Engineering Transactions*, *78*, 493–498. https://doi.org/10.3303/CET2078083

Donn, P., Seyyedi-Mansour, S., Chamorro, F., Garcia-Oliveira, P., Echave, J., Perez-Vazquez, A., Barciela, P., Cassani, L., & Prieto, M. A. (2024). Recent

Advances in Understanding the Keys Factors Influencing Pressurized Liquid Extraction of Secondary Metabolites: A Comprehensive Review. *IECBM 2024*, 1. https://doi.org/10.3390/blsf2024035001

Doymaz, İ., Borucu, E., Kayacan-Çakmakoglu, S., & Sagdic, O. (2025). Influence of Infrared Radiation of Drying Characteristics, Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and Color Properties of Pomegranate Seeds. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, *69*(1), 113–122. https://doi.org/10.3311/PPch.38339

DRA, P. A. M. E. (2024). *Moquegua: ANUARIO ESTADÍSTICO AGROPECUARIO 2023*. https://www.agromoquegua.gob.pe/

Duca, A., Sturza, A., Moacă, E.-A., Negrea, M., Lalescu, V.-D., Lungeanu, D., Dehelean, C.-A., Muntean, D.-M., & Alexa, E. (2019). Identification of Resveratrol as Bioactive Compound of Propolis from Western Romania and Characterization of Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Ethanolic Extracts. *Molecules*, *24*(18), 3368. https://doi.org/10.3390/molecules24183368

Dunkić, V., Nazlić, M., Ruščić, M., Vuko, E., Akrap, K., Topić, S., Milović, M., Vuletić, N., Puizina, J., Jurišić Grubešić, R., Srečec, S., & Kremer, D. (2022). Hydrodistillation and Microwave Extraction of Volatile Compounds: Comparing Data for Twenty-One Veronica Species from Different Habitats. *Plants*, *11*(7), 902. https://doi.org/10.3390/plants11070902

Dzięcioł, M., Wróblewska, A., & Janda-Milczarek, K. (2023). Comparative Studies of DPPH Radical Scavenging Activity and Content of Bioactive Compounds in Maca (Lepidium meyenii) Root Extracts Obtained by Various Techniques. *Applied Sciences*, *13*(8), 4827. https://doi.org/10.3390/app13084827

Ebrahimi, P., & Lante, A. (2022). Environmentally Friendly Techniques for the Recovery of Polyphenols from Food By-Products and Their Impact on Polyphenol Oxidase: A Critical Review. *Applied Sciences*, *12*(4), 1923. https://doi.org/10.3390/app12041923

El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal Cactus (Opuntia ficus-indica) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, *19*(9), 14879–14901. https://doi.org/10.3390/molecules190914879

El-Saadony, M. T., Yang, T., Saad, A. M., Alkafaas, S. S., Elkafas, S. S., Eldeeb, G. S., Mohammed, D. M., Salem, H. M., Korma, S. A., Loutfy, S. A., Alshahran, M. Y., Ahmed, A. E., Mosa, W. F. A., Abd El-Mageed, T. A., Ahmed, A. F., Fahmy, M. A., El-Tarabily, M. K., Mahmoud, R. M., AbuQamar, S. F., … Lorenzo, J. M. (2024). Polyphenols: Chemistry, bioavailability, bioactivity, nutritional aspects and human health benefits: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *277*(July), 134223. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134223

El Guezzane, C., El Moudden, H., Harhar, H., Zarrouk, A., Lee, L.-H., Al Abdulmonem, W., Bouyahya, A., Maggi, F., Caprioli, G., & Tabyaoui, M. (2024). Optimization of torrefaction conditions on antioxidant activity of prickly pear seeds extract using response surface methodology and chemometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, *18*(August), 101465. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101465

Enciso Roca, E. C., Aguilar Felices, E. J., Común Ventura, P. W., & Tinco Jay, J. A. (2021). ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA Y ANTIOXIDANTE DE TRES VARIEDADES DE Opuntia ficus-indica “TUNA.” *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *87*(3). https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.348

Escareño-Contreras, M. G., Alvarado, G., Rössel Kipping, E. D., & López Martínez, L. A. (2023). Pérdida fisiológica de peso de dos cultivares de tuna (Opuntia spp.) sometidas a desespinado mecánico y almacenamiento en refrigeración. *Agro-Divulgación*, *3*(1), 33–35. https://doi.org/10.54767/ad.v3i1.150

Ettalibi, F., El Antari, A., Hamouda, A., Gadhi, C., & Harrak, H. (2021). Comparative Assessment of Physical and Chemical Characteristics of Prickly Pear Seed Oil from Opuntia ficus-indica and Opuntia megacantha Varieties. *Journal of Food Quality*, *2021*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2021/3098608

Faisal, Z., Mazhar, A., Batool, S. A., Akram, N., Hassan, M., Khan, M. U., Afzaal, M., Hassan, U. U., Shah, Y. A., & Desta, D. T. (2024). Exploring the multimodal health-promoting properties of resveratrol: A comprehensive review. *Food Science and Nutrition*, *12*(4), 2240–2258. https://doi.org/10.1002/fsn3.3933

Fan, J., Johnson, M. H., Lila, M. A., Yousef, G., & de Mejia, E. G. (2013). Berry and Citrus Phenolic Compounds Inhibit Dipeptidyl Peptidase IV: Implications in Diabetes Management. *Evidence-Based Complementary and Alternative*

Medicine, *2013*, 1–13. https://doi.org/10.1155/2013/479505

FAO. (2022). Ecologia del cultivo, manejo y usos del Nopal. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)* (Vol. 1). https://www.fao.org/3/i7622es/I7622ES.pdf

Fărcaș, A. C., Socaci, S. A., Nemeș, S. A., Salanță, L. C., Chiș, M. S., Pop, C. R., Borșa, A., Diaconeasa, Z., & Vodnar, D. C. (2022). Cereal Waste Valorization through Conventional and Current Extraction Techniques—An Up-to-Date Overview. *Foods*, *11*(16), 1–34. https://doi.org/10.3390/foods11162454

FERNANDEZ HERRERA, E., RAMIREZ BUSTOS, I. I., López Martínez, V., & Arratia Castro, A. A. (2024). Risk factors associated with the use and management of pesticides in the production of nopal (Opuntia ficus-indica (L.) Mill). *Agro Productividad*, 19–27. https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2459

Ferreira, R. M., Flórez-Fernández, N., Silva, A. S., Saraiva, J. A., Figueroa, F. L., Vega, J., Dolores Torres, M., Cardoso, S. M., & Domínguez, H. (2024). Opuntia ficus-indica seed pomace extracts with high UV-screening ability in a circular economy approach for body lotions with solar protection. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *130*, 456–467. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.09.052

FID, F. internacional de D. (2023). *Federación Internaciona de Diabetes - Qué es la diabetes*. Federación Internacional de Diabetes. https://idf.org/about-diabetes/what-is-diabetes/

Gajardo-Parra, N., Huamán-Castilla, N. L., Pérez-Correa, J. R., Canales, R. I., Martínez-Cifuentes, M., Contreras-Contreras, G., & Mariotti-Celis, M. S. (2023). Enhanced Polyphenols Recovery from Grape Pomace: A Comparison of Pressurized and Atmospheric Extractions with Deep Eutectic Solvent Aqueous Mixtures. *Antioxidants*, *12*(7), 1446. https://doi.org/10.3390/antiox12071446

Gandhi, G. R., Jothi, G., Antony, P. J., Balakrishna, K., Paulraj, M. G., Ignacimuthu, S., Stalin, A., & Al-Dhabi, N. A. (2014). Gallic acid attenuates high-fat diet fed-streptozotocin-induced insulin resistance via partial agonism of PPARγ in experimental type 2 diabetic rats and enhances glucose uptake through translocation and activation of GLUT4 in PI3K/p-Akt signaling pathway. *European Journal of Pharmacology*, *745*, 201–216. https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.10.044

Ganeshpurkar, A., & Saluja, A. K. (2017). The Pharmacological Potential of Rutin. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *25*(2), 149–164. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.04.025

Gbashi, S., Njobeh, P., Steenkamp, P., Tutu, H., & Madala, N. (2016). The effect of temperature and methanol–water mixture on pressurized hot water extraction (PHWE) of anti-HIV analogoues from Bidens pilosa. *Chemistry Central Journal*, *10*(1), 37. https://doi.org/10.1186/s13065-016-0182-z

Getachew, A. T., Holdt, S. L., Meyer, A. S., & Jacobsen, C. (2022). Effect of Extraction Temperature on Pressurized Liquid Extraction of Bioactive Compounds from Fucus vesiculosus. *Marine Drugs*, *20*(4), 263. https://doi.org/10.3390/md20040263

Gharsallah, A., Layachi, A., Louaer, A., & Satha, H. (2021). Thermal degradation kinetics of Opuntia Ficus Indica flour and talc-filled poly (lactic acid) hybrid biocomposites by TGA analysis. *Journal of Composite Materials*, *55*(22), 3099–3118. https://doi.org/10.1177/00219983211008202

Ghazanfari, N., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Mohammadi, M. (2020). Microwave-assisted hydrodistillation extraction of essential oil from coriander seeds and evaluation of their composition, antioxidant and antimicrobial activity. *Heliyon*, *6*(9), e04893. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04893

Giraldo-Silva, L., Ferreira, B., Rosa, E., & Dias, A. C. P. (2023). Opuntia ficus-indica Fruit: A Systematic Review of Its Phytochemicals and Pharmacological Activities. *Plants*, *12*(3), 543. https://doi.org/10.3390/plants12030543

Gómez-López, I., Lobo-Rodrigo, G., Portillo, M. P., & Cano, M. P. (2021). Ultrasound-Assisted “Green” Extraction (UAE) of Antioxidant Compounds (Betalains and Phenolics) from Opuntia stricta var. Dilenii’s Fruits: Optimization and Biological Activities. *Antioxidants*, *10*(11), 1786. https://doi.org/10.3390/antiox10111786

Gómez-López, I., Mendiola, J. A., Portillo, M. P., & Cano, M. P. (2022). Pressurized green liquid extraction of betalains and phenolic compounds from Opuntia stricta var. Dillenii whole fruit: Process optimization and biological activities of green extracts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *80*, 103066. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103066

Gómez-Maqueo, A., García-Cayuela, T., Fernández-López, R., Welti-Chanes, J.,

& Cano, M. P. (2019). Inhibitory potential of prickly pears and their isolated bioactives against digestive enzymes linked to type 2 diabetes and inflammatory response. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(14), 6380–6391. https://doi.org/10.1002/jsfa.9917

Gonzalez, F. P. H., Saucedo, V. C., Guerra, R. D., Suarez, E. J., Soto, H. R. M., Lopez, J. A., Garcia, C. E., & Hernández, R. G. (2021). Post-harvest quality and quantification of betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in fruits of three cultivars of prickly pear (Opuntia ficus-indica L. Mill). *Journal of Horticultural Sciences*, *16*(1), 91–102. https://doi.org/10.24154/JHS.2021.v16i01.010

Guedri, M. M., Krir, N., Daghsni, O., Neffeti, M., & Mehrez, R. (2023). Variability in the chemical composition and phenolic compounds of wild Tunisian populations of Nitraria retusa (Forssk.) Asch. and study of their antioxidant properties. *African Journal of Biotechnology*, *22*(4), 71–79. https://doi.org/10.5897/AJB2020.17145

Habibi, Y. (2004). Contribution à l ' étude morphologique , ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie . Les polysaccharides To cite this version : FOURIER – GRENOBLE I. *Thèse, Université Joseph Fourier, Université Cadi Ayyad*, 265. https://theses.hal.science/tel-00006273

Hahn-Schlam, F., Valle-Guadarrama, S., & Jenkins, T. (2019). Robotic cactus pear cryocauterization increases storage life. *Postharvest Biology and Technology*, *147*(September 2018), 132–138. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.014

Haris Omar, S. (2010). Oleuropein in Olive and its Pharmacological Effects. *Scientia Pharmaceutica*, *78*(2), 133–154. https://doi.org/10.3797/scipharm.0912-18

He, L., Yang, G., Li, T., Li, W., & Yang, R. (2025). Metabolic profile of procyanidin A2 by human intestinal microbiota and their antioxidant and hypolipidemic potential in HepG2 cells. *European Journal of Nutrition*, *64*(3), 113. https://doi.org/10.1007/s00394-025-03638-5

Herbst, G., Hamerski, F., Errico, M., & L. Corazza, M. (2021). Pressurized liquid extraction of brewer's spent grain: Kinetics and crude extracts characterization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *102*, 370–383. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.07.020

Hernández-Carranza, P., Jattar-Santiago, K. Y., Avila-Sosa, R., Pérez-Xochipa, I., Guerrero-Beltrán, J. A., Ochoa-Velasco, C. E., & Ruiz-López, I. I. (2019). Antioxidant fortification of yogurt with red cactus pear peel and its mucilage. *CyTA - Journal of Food*, *17*(1), 824–833. https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1654548

Hernández-Pérez, T., Carrillo-López, A., Guevara-Lara, F., Cruz-Hernández, A., & Paredes-López, O. (2005). Biochemical and Nutritional Characterization of Three Prickly Pear Species with Different Ripening Behavior. *Plant Foods for Human Nutrition*, *60*(4), 195–200. https://doi.org/10.1007/s11130-005-8618-y

Hirondart, M., Rombaut, N., Fabiano-Tixier, A. S., Bily, A., & Chemat, F. (2020). Comparison between Pressurized Liquid Extraction and Conventional Soxhlet Extraction for Rosemary Antioxidants, Yield, Composition, and Environmental Footprint. *Foods*, *9*(5), 584. https://doi.org/10.3390/foods9050584

Howard, L., & Pandjaitan, N. (2008). Pressurized Liquid Extraction of Flavonoids from Spinach. *Journal of Food Science*, *73*(3). https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00658.x

Huamán-Castilla, N. L., Allcca-Alca, E. E., Hervas Nina, F., León-Calvo, N. C., Zirena Vilca, F., & Vilcanqui Chura, Y. L. (2024). Pressurized Liquid Extraction of Antioxidant and α-Amylase-Inhibitory Compounds from Red Seaweed Using Water–Ethanol Mixtures. *Molecules*, *29*(21), 5018. https://doi.org/10.3390/molecules29215018

Huamán-Castilla, N. L., Campos, D., García-Ríos, D., Parada, J., Martínez-Cifuentes, M., Mariotti-Celis, M. S., & Pérez-Correa, J. R. (2021). Chemical Properties of Vitis Vinifera Carménère Pomace Extracts Obtained by Hot Pressurized Liquid Extraction, and Their Inhibitory Effect on Type 2 Diabetes Mellitus Related Enzymes. *Antioxidants*, *10*(3), 472. https://doi.org/10.3390/antiox10030472

Huamán-Castilla, N. L., Copa-Chipana, C., Mamani-Apaza, L. O., Luque-Vilca, O. M., Campos-Quiróz, C. N., Zirena-Vilca, F., & Mariotti-Celis, M. S. (2023). Selective Recovery of Polyphenols from Discarded Blueberries (Vaccinium corymbosum L.) Using Hot Pressurized Liquid Extraction Combined with Isopropanol as an Environmentally Friendly Solvent. *Foods*, *12*(19), 3694. https://doi.org/10.3390/foods12193694

Huamán-Castilla, N. L., Díaz Huamaní, K. S., Palomino Villegas, Y. C., Allcca-Alca,

E. E., León-Calvo, N. C., Colque Ayma, E. J., Zirena Vilca, F., & Mariotti-Celis, M. S. (2024). Exploring a Sustainable Process for Polyphenol Extraction from Olive Leaves. *Foods*, *13*(2), 265. https://doi.org/10.3390/foods13020265

Huaman-Castilla, N. L., Martínez-Cifuentes, M., Camilo, C., Pedreschi, F., Mariotti-Celis, M., & Pérez-Correa, J. R. (2019). The Impact of Temperature and Ethanol Concentration on the Global Recovery of Specific Polyphenols in an Integrated HPLE/RP Process on Carménère Pomace Extracts. *Molecules*, *24*(17), 3145. https://doi.org/10.3390/molecules24173145

Hui, X., Wu, G., Han, D., Stipkovits, L., Wu, X., Tang, S., Brennan, M. A., & Brennan, C. S. (2020). The effects of bioactive compounds from blueberry and blackcurrant powders on the inhibitory activities of oat bran pastes against α-amylase and α-glucosidase linked to type 2 diabetes. *Food Research International*, *138*(PA), 109756. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109756

Hwang, H.-J., Kim, Y.-G., & Chung, M.-S. (2021). Improving the Extraction of Catechins of Green Tea (Camellia sinensis) by Subcritical Water Extraction (SWE) Combined with Pulsed Electric Field (PEF) or Intense Pulsed Light (IPL) Pretreatment. *Foods*, *10*(12), 3092. https://doi.org/10.3390/foods10123092

IDF. (2022). Five questions on the IDF Diabetes Atlas. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *102*(2), 147–148. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2013.10.013

Imtiaz, F., Ahmed, D., Abdullah, R. H., & Ihsan, S. (2023). Green extraction of bioactive compounds from Thuja orientalis leaves using microwave- and ultrasound-assisted extraction and optimization by response surface methodology. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *35*(July), 101212. https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101212

Ingole, A., Kadam, M. P., Dalu, A. P., Kute, S. M., Mange, P. R., Theng, V. D., Lahane, O. R., Nikas, A. P., Kawal, Y. V, Nagrik, S. U., & Patil, P. A. (2021). A Review of the Pharmacological Characteristics of Vanillic Acid. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, *11*(2-S), 200–204. https://doi.org/10.22270/jddt.v11i2-s.4823

Jagatić Korenika, A.-M., Kozina, B., Preiner, D., Tomaz, I., Volarević, J., & Jeromel, A. (2023). The Effect of Seed Removal and Extraction Time on the Phenolic

Profile of Plavac Mali Wine. *Applied Sciences*, *13*(9), 5411. https://doi.org/10.3390/app13095411

Jainambu, beevi S., M, S. abirami, V, G., & R, N. (2025). *Vanillic acid: a comprehensive review of its chemistry, biosynthesis, biological activities, pharmacological potential and toxicological profile* (pp. 1–10). https://doi.org/10.22541/au.174594112.26495308/v1

Jaisankar, P. (2018). A Review of A-Glucosidase and A-Amylase Inhibitors for Type 2 Diabetes Isolated From Some Important Indian Medicinal Plants OPEN ACCESS. *Annals of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, *1*(1), 1003.

Jeong, H. J., Yoou, M. S., Han, N. R., Hwang, S. Y., Yoon, K. W., & Kim, H. M. (2018). The new therapeutic herbal drug HM0601 and its bioactive compound rutin exert potent antiproliferative activities in mast cells. *Fundamental and Clinical Pharmacology*, *32*(3), 279–287. https://doi.org/10.1111/fcp.12350

Jiménez-Aguilar, A., Gaona-Pineda, E. B., Mejía-Rodríguez, F., Gómez-Acosta, L. M., Méndez-Gómez Humarán, I., & Flores-Aldana, M. (2014). Consumption of fruits and vegetables and health status of Mexican children from the National Health and Nutrition Survey 2012. *Salud Pública de México*, *56*, 103. https://doi.org/10.21149/spm.v56s2.5174

Jiménez-Morales, W. A., Cañizares-Macias, M. del P., & Pedraza-Chaverri, J. (2022). Fast ORAC-SIA method for antioxidant capacity determination in food samples. *Food Chemistry*, *384*, 132524. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132524

Johansen, J. S., Harris, A. K., Rychly, D. J., & Ergul, A. (2005). Oxidative stress and the use of antioxidants in diabetes: Linking basic science to clinical practice. *Cardiovascular Diabetology*, *4*(1), 5. https://doi.org/10.1186/1475-2840-4-5

John, Enema, O., Francis, Umoh, U., Johnson, Ekarika, C., Doudin, K., & Imoh, Johnny, I. (2025). Identification, Molecular Docking and Pharmacokinetic Evaluation of Bioactive Flavonoids from Dennettia tripetala Baker. f. (Annonaceae) Root. *Journal of Advances in Medical and Pharmaceutical Sciences*, *27*(4), 1–13. https://doi.org/10.9734/jamps/2025/v27i4763

Jorge, A. O. S., Costa, A. S. G., Ferreira, D. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2025).

Seasonal Variation in Nutritional and Chemical Profiles of Wild Opuntia ficus-indica Fruits. *Plants*, *14*(3), 409. https://doi.org/10.3390/plants14030409

Jurinjak Tušek, A., Šamec, D., & Šalić, A. (2022). Modern Techniques for Flavonoid Extraction—To Optimize or Not to Optimize? *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(22), 1–35. https://doi.org/10.3390/app122211865

Kadda, S., Belabed, A., Conte, R., Ouahhoud, S., Hamdaoui, H., Mechchate, H., & Elarbi, Z. (2023). Phytochemical analysis for the residues of Opuntia ficus indica l seed oil of eastern region of Morocco. *Materials Today: Proceedings*, *72*, 3662–3668. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.533

Kalita, D., Holm, D. G., LaBarbera, D. V., Petrash, J. M., & Jayanty, S. S. (2018). Inhibition of α-glucosidase, α-amylase, and aldose reductase by potato polyphenolic compounds. *Plos One*, *13*(1), e0191025. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191025

Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *30*, 100829. https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829

Karabagias, V. K., Karabagias, I. K., Gatzias, I., & Badeka, A. V. (2020). Prickly Pear Seed Oil by Shelf-Grown Cactus Fruits: Waste or Maste? *Processes*, *8*(2), 132. https://doi.org/10.3390/pr8020132

Kashtoh, H., & Baek, K.-H. (2022). Recent Updates on Phytoconstituent Alpha-Glucosidase Inhibitors: An Approach towards the Treatment of Type Two Diabetes. *Plants*, *11*(20), 2722. https://doi.org/10.3390/plants11202722

Kawabata, K., Yoshioka, Y., & Terao, J. (2019). Role of Intestinal Microbiota in the Bioavailability and Physiological Functions of Dietary Polyphenols. *Molecules*, *24*(2), 370. https://doi.org/10.3390/molecules24020370

Khalid, S., Chaudhary, K., Amin, S., Raana, S., Zahid, M., Naeem, M., Mousavi Khaneghah, A., & Aadil, R. M. (2024). Recent advances in the implementation of ultrasound technology for the extraction of essential oils from terrestrial plant materials: A comprehensive review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *107*(May), 106914. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106914

Khanyile, A. T., Andrew, J. E., Paul, V., & Sithole, B. B. (2022). A comparative study of supercritical fluid extraction and accelerated solvent extraction of

lipophilic compounds from lignocellulosic biomass. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *26*(July 2021), 100608. https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100608

Khayati, G. (2016). Measurement and Correlation of Phase Diagram Data of Hydrophilic Alcohols (1-Propanol/2-Propanol) + Salts (Na2SO4/(NH4)2SO4/NH4NO3) + Water Systems. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly Journal*, *30*(1), 73–80. https://doi.org/10.15255/CABEQ.2015.2308

Kim, J.-S., Hyun, T. K., & Kim, M.-J. (2011). The inhibitory effects of ethanol extracts from sorghum, foxtail millet and proso millet on α-glucosidase and α-amylase activities. *Food Chemistry*, *124*(4), 1647–1651. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.020

Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Miedzianka, J., Andreu-Coll, L., Legua, P., & Hernandez, F. (2020). Characterization of Bioactive Compounds of Opuntia ficus-indica (L.) Mill. Seeds from Spanish Cultivars. *Molecules*, *25*(23), 5734. https://doi.org/10.3390/molecules25235734

Kumar, V., Prakash, O., Kumar, S., & Narwal, S. (2011). α-glucosidase inhibitors from plants: A natural approach to treat diabetes. *Pharmacognosy Reviews*, *5*(9), 19. https://doi.org/10.4103/0973-7847.79096

La, J., Kim, M.-J., & Lee, J. (2021). Evaluation of solvent effects on the DPPH reactivity for determining the antioxidant activity in oil matrix. *Food Science and Biotechnology*, *30*(3), 367–375. https://doi.org/10.1007/s10068-020-00874-9

Lal, M. K., Singh, B., Sharma, S., Singh, M. P., & Kumar, A. (2021). Glycemic index of starchy crops and factors affecting its digestibility: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *111*(February), 741–755. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.067

Lammari, N., Louaer, M., Louaer, O., Bensouici, C., Zermane, A., Elaissari, A., & Meniai, A. H. (2023). Nanoparticles encapsulating sesame seeds (Sesamum indicum) oil: Physicochemical, antioxidant and enzymatic inhibition properties. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, *79*, 104003. https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.104003

Lang, G. H., Lindemann, I. da S., Ferreira, C. D., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., &

de Oliveira, M. (2019). Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. *Food Chemistry*, *287*(September 2018), 197–204. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.028

Leitner, D. R., Frühbeck, G., Yumuk, V., Schindler, K., Micic, D., Woodward, E., & Toplak, H. (2017). Obesity and Type 2 Diabetes: Two Diseases with a Need for Combined Treatment Strategies - EASO Can Lead the Way. *Obesity Facts*, *10*(5), 483–492. https://doi.org/10.1159/000480525

Lekhuleni, I. L. G., Kgatla, T. E., Mashau, M. E., & Jideani, A. I. O. (2021). Physicochemical properties of South African prickly pear fruit and peel: Extraction and characterisation of pectin from the peel. *Open Agriculture*, *6*(1), 178–191. https://doi.org/10.1515/opag-2021-0216

Li, F., Zeng, K., & Ming, J. (2023). Lowering glycemic levels via gastrointestinal tract factors: the roles of dietary fiber, polyphenols, and their combination. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–37. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2278169

Li, R., Zhang, Y., Rasool, S., Geetha, T., & Babu, J. R. (2019). Effects and Underlying Mechanisms of Bioactive Compounds on Type 2 Diabetes Mellitus and Alzheimer's Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2019*, 1–25. https://doi.org/10.1155/2019/8165707

Li, W., Yuan, H., Liu, Y., Wang, B., Xu, X., Xu, X., Hussain, D., Ma, L., & Chen, D. (2024). Current analytical strategies for the determination of resveratrol in foods. *Food Chemistry*, *431*, 137182. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137182

Liu, S., Ai, Z., Qu, F., Chen, Y., & Ni, D. (2017). Effect of steeping temperature on antioxidant and inhibitory activities of green tea extracts against α-amylase, α-glucosidase and intestinal glucose uptake. *Food Chemistry*, *234*, 168–173. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.151

Liu, X., Wang, Y., Zhang, J., Yan, L., Liu, S., Taha, A. A., Wang, J., & Ma, C. (2020). Subcritical water extraction of phenolic antioxidants with improved α-amylase and α-glucosidase inhibitory activities from exocarps of Castanea mollissima Blume. *The Journal of Supercritical Fluids*, *158*, 104747. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104747

López-Bascón, M. A., & Luque de Castro, M. D. (2020). Soxhlet Extraction. In *Liquid-Phase Extraction* (pp. 327–354). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6

López-Palacios, C., Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2019). Physical characteristics of fruits and seeds of Opuntia sp. as evidence of changes through domestication in the Southern Mexican Plateau. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *66*(2), 349–362. https://doi.org/10.1007/s10722-018-0712-8

Lordan, S., Smyth, T. J., Soler-Vila, A., Stanton, C., & Ross, R. P. (2013). The α-amylase and α-glucosidase inhibitory effects of Irish seaweed extracts. *Food Chemistry*, *141*(3), 2170–2176. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.123

Louppis, A. P., Constantinou, M. S., Kosma, I. S., Badeka, A. V., Blando, F., & Kontominas, M. G. (2025). Botanical differentiation of Italian prickly pear varieties: Unveiling unique profiles through physicochemical parameters, volatiles, antioxidants, and vitamins. *Microchemical Journal*, *214*(May), 113897. https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113897

Macedo, C., Silva, A. M., Ferreira, A. S., Moreira, M. M., Delerue-Matos, C., & Rodrigues, F. (2022). Microwave- and Ultrasound-Assisted Extraction of Cucurbita pepo Seeds: A Comparison Study of Antioxidant Activity, Phenolic Profile, and In-Vitro Cells Effects. *Applied Sciences*, *12*(3), 1763. https://doi.org/10.3390/app12031763

Maduka, T. O., Qingyue, W., Enyoh, C. E., & Wang, W. (2024). Phytochemistry, traditional applications, and pharmacology of Thujopsis dolabrata wood: A comprehensive review with emphasis on extraction techniques. *Industrial Crops and Products*, *217*(May), 118822. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118822

Mamani Apaza, L. O. (2023). Uso de tecnologías alternativas para la obtención de extractos alternativas para la obtención de extractos con capacidad antioxidante y efecto inhibitorio de enzimas relacionadas con la diabetes mellitus tipo 2 a partir de hojas de olivo. *Universidad Nacional de Moquegua*, *1*, 1–180. https://repositorio.unam.edu.pe

Mamani Apaza, L. O., Huamán-Castilla, N. L., Zirena Vilca, F., Saldaña, E., Diaz-Valencia, Y. K., & Mariotti-Celis, M. S. (2024). Comparative Analysis of

Sustainable Extraction Methods and Green Solvents for Olive Leaf Extracts with Antioxidant and Antihyperglycemic Activities. *Antioxidants*, *13*(12), 1523. https://doi.org/10.3390/antiox13121523

Mani, A., Kushwaha, K., Khurana, N., & Gupta, J. (2022). p-Coumaric acid attenuates high-fat diet-induced oxidative stress and nephropathy in diabetic rats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *106*(4), 872–880. https://doi.org/10.1111/jpn.13645

Mannoubi, I. (2021). Effect of extraction solvent on phenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of skin and pulp of Tunisian red and yellow–orange Opuntia Ficus Indica fruits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(1), 643–651. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00673-0

Mao, S., Ren, Y., Chen, S., Tian, J., & Ye, X. (2025). Healthy benefits of proanthocyanidins metabolites and its interactions with microbiota. *Food Reviews International*, 1–22. https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2212064

Marhamati, M., Kakhaki, K. K., & Rezaie, Z. (2020). Advance in Ultrasound-Assisted Extraction of Edible Oils: A Review. *J Nutr Fast Health*, *8*(4), 220–230. https://doi.org/: 10.22038/JNFH.2020.51138.1288

Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho Vidal, M., & José Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, *12*(2), 64–68. https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2

Martins, M., Ribeiro, M. H., & Almeida, C. M. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of Opuntia ficus-indica (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*, *12*(7), 1512. https://doi.org/10.3390/plants12071512

Matiacevich, S., Soto Madrid, D., & Gutiérrez Cutiño, M. (2022). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de desechos agroindustriales. *RIVAR*, *10*(28), 77–100. https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343

Michiels, J. A., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J. O., & Dommes, J. (2012). Extraction conditions can greatly influence antioxidant capacity assays in

plant food matrices. *Food Chemistry*, *130*(4), 986–993. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.117

MIDAGRI, B. E. M. (2024). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego EL AGRO EN CIFRAS*. 1–181. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2024/Agro_en_cifras_01_2024.pdf

Mihelčič, A., Lisjak, K., & Vanzo, A. (2023). Accelerated Solvent Extraction of Phenols from Lyophilised Ground Grape Skins and Seeds. *Beverages*, *9*(1), 4. https://doi.org/10.3390/beverages9010004

Mikucka, W., Zielinska, M., Bulkowska, K., & Witonska, I. (2022). Subcritical water extraction of bioactive phenolic compounds from distillery stillage. *Journal of Environmental Management*, *318*(June), 115548. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115548

Mlcek, J., Jurikova, T., Skrovankova, S., & Sochor, J. (2016). Quercetin and Its Anti-Allergic Immune Response. *Molecules*, *21*(5), 623. https://doi.org/10.3390/molecules21050623

Mohammed, R. (2018). Conventional Extraction Methods Use in Medicinal Plants, their Advantages and Disadvantages. *International Journal of Basic Sciences and Applied Computing*, *2*(6), 10–14. https://doi.org/2394-367X

Mohan, V. R., Tresina, P. S., & Daffodil, E. D. (2016). Antinutritional Factors in Legume Seeds: Characteristics and Determination. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed., pp. 211–220). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00036-2

Molina Juarez, M. L., & Mamani Pari, J. S. (2023). Efecto de los métodos alternativos de extracción sobre el contenido de polifenoles totales, betalaínas y capacidad antioxidante en residuos de tuna roja (Opuntia ficus-indica L. Miller). *Universidad Nacional de Moquegua*, *1*, 1–124. https://repositorio.unam.edu.pe

Monteiro, M., Silva, A. F. R., Resende, D., Braga, S. S., Coimbra, M. A., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2021). Strategies to broaden the applications of olive biophenols oleuropein and hydroxytyrosol in food products. *Antioxidants*, *10*(3), 1–24. https://doi.org/10.3390/antiox10030444

Morán Alarcón, L. C., Cruz, J. P., Díaz, G. E., & Vásquez, J. E. (2022). Valoración

de la extracción compuestos bioactivos de alto valor agregado en El Salvador. *ACTAS DEL VI CONGRESO INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA IDI - UNICyT 2021*, 1050–1065. https://doi.org/10.47300/978-9962-738-04-6-61

Nampoothiri, S. V., Prathapan, A., Cherian, O. L., Raghu, K. G., Venugopalan, V. V., & Sundaresan, A. (2011). In vitro antioxidant and inhibitory potential of Terminalia bellerica and Emblica officinalis fruits against LDL oxidation and key enzymes linked to type 2 diabetes. *Food and Chemical Toxicology*, *49*(1), 125–131. https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.10.006

Nandhini, C., Huang, C.-H., Arul, P., & Huang, S.-T. (2025). Fabrication of hybrid nanocomposites for electrochemical evaluation of food-based preservative and bioactive targets of hydrogen peroxide and rutin in real fruit and drug samples. *Food Chemistry*, *469*(July 2024), 142502. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142502

Narasimhan, A., Chinnaiyan, M., & Karundevi, B. (2015). Ferulic acid exerts its antidiabetic effect by modulating insulin-signalling molecules in the liver of high-fat diet and fructose-induced type-2 diabetic adult male rat. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *40*(8), 769–781. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0002

Narita, Y., & Inouye, K. (2015). Inhibition of Porcine Pancreas α-Amylase by Chlorogenic Acids from Green Coffee Beans and Cinnamic Acid Derivatives. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 757–763). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00084-X

Natolino, A., Passaghe, P., Brugnera, G., & Comuzzo, P. (2024). Intensification of grape marc (Vitis vinifera) exploitation by subcritical water-ethanol extraction: Effect on polyphenol bioactivities and kinetic modelling. *Journal of Food Engineering*, *381*(June), 112185. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112185

Nazzaro, F., Fratianni, F., D'Acierno, A., Caputo, L., Feo, V. De, & Coppola, R. (2021). Antibiofilm Properties Exhibited by the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Seed Oil. *The 1st International Electronic Conference on Microbiology*, 29. https://doi.org/10.3390/proceedings2020066029

Ngandjui, Y. A. T., Kereeditse, T. T., Kamika, I., Madikizela, L. M., & Msagati, T.

A. M. (2024). Nutraceutical and Medicinal Importance of Marine Molluscs. *Marine Drugs*, *22*(5), 201. https://doi.org/10.3390/md22050201

Nour, A. H., Modather, R. H., Yunus, R. M., Elnour, A. A. M., & Ismail, N. A. (2024). Characterization of bioactive compounds in patchouli oil using microwave-assisted and traditional hydrodistillation methods. *Industrial Crops and Products*, *208*(September 2023), 117901. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117901

Nuchdang, S., Phruetthinan, N., Paleeleam, P., Domrongpokkaphan, V., Chuetor, S., Chirathivat, P., & Phalakornkule, C. (2022). Soxhlet, microwave-assisted, and room temperature liquid extraction of oil and bioactive compounds from palm kernel cake using isopropanol as solvent. *Industrial Crops and Products*, *176*, 114379. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114379

Oke, I. M., Ramorobi, L. M., Mashele, S. S., Bonnet, S. L., Makhafola, T. J., Eze, K. C., Noreljaleel, A. E. M., & Chukwuma, C. I. (2021). Vanillic acid–Zn(II) complex: a novel complex with antihyperglycaemic and anti-oxidative activity. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, *73*(12), 1703–1714. https://doi.org/10.1093/jpp/rgab086

OMS, O. mundial de la S. (2023). *Carga de enfermedad Diabetes 2023*. Diabetes. https://www.paho.org/es/temas/diabetes

Onakpoya, I. J., O'Sullivan, J., & Heneghan, C. J. (2015). The effect of cactus pear (Opuntia ficus-indica) on body weight and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*, *31*(5), 640–646. https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.11.015

Ordoñez, E., Leon-Arevalo, A., Rivera-Rojas, H., & Vargas, E. (2019). Quantification of total polyphenols and antioxidant capacity in skins and seeds from cacao (Theobroma cacao L.), tuna (Opuntia ficus indica Mill), grape (Vitis Vinífera) and uvilla (Pourouma cecropiifolia). *Scientia Agropecuaria*, *10*(2), 175–183. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.02

Orita, T., Chogahara, S., Okuda, M., Sakao, K., Miyata, T., & Hou, D.-X. (2023). Extraction Efficiency and Alpha-Glucosidase Inhibitory Activities of Green Tea Catechins by Different Infusion Methods. *Foods*, *12*(13), 2611. https://doi.org/10.3390/foods12132611

Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional

and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(12), 4299–4315. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2

Ou, K., Sarnoski, P., Schneider, K. R., Song, K., Khoo, C., & Gu, L. (2014). Microbial catabolism of procyanidins by human gut microbiota. *Molecular Nutrition & Food Research*, *58*(11), 2196–2205. https://doi.org/10.1002/mnfr.201400243

Oyedemi, S. O., Oyedemi, B. O., Ijeh, I. I., Ohanyerem, P. E., Coopoosamy, R. M., & Aiyegoro, O. A. (2017). Alpha-Amylase Inhibition and Antioxidative Capacity of Some Antidiabetic Plants Used by the Traditional Healers in Southeastern Nigeria. *The Scientific World Journal*, *2017*, 1–11. https://doi.org/10.1155/2017/3592491

Özcan, M. M., & Al Juhaimi, F. Y. (2011). Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (Opuntia ficus indica L.) growing in Turkey. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *62*(5), 533–536. https://doi.org/10.3109/09637486.2011.552569

Özkaya, D., Nazıroğlu, M., Armağan, A., Demirel, A., Köroglu, B. K., Çolakoğlu, N., Kükner, A., & Sönmez, T. T. (2011). Dietary vitamin C and E modulates oxidative stress induced-kidney and lens injury in diabetic aged male rats through modulating glucose homeostasis and antioxidant systems. *Cell Biochemistry and Function*, *29*(4), 287–293. https://doi.org/10.1002/cbf.1749

Pacyga, K., Pacyga, P., Topola, E., Viscardi, S., & Duda-Madej, A. (2024). Bioactive Compounds from Plant Origin as Natural Antimicrobial Agents for the Treatment of Wound Infections. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(4), 2100. https://doi.org/10.3390/ijms25042100

Palma, M., Piñeiro, Z., & Barroso, C. G. (2001). Stability of phenolic compounds during extraction with superheated solvents. *Journal of Chromatography A*, *921*(2), 169–174. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)00882-2

Papoutsis, K., Zhang, J., Bowyer, M. C., Brunton, N., Gibney, E. R., & Lyng, J. (2021). Fruit, vegetables, and mushrooms for the preparation of extracts with α-amylase and α-glucosidase inhibition properties: A review. *Food Chemistry*, *338*(September 2020), 128119. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128119

Parí, S. M., Juárez, M. L. M., Vilca, F. Z., Vilca, O. M. L., Alca, E. E. A., Escobedo-Pacheco, E., & Huamán-Castilla, N. L. (2024). Alternative green extraction techniques to enhance recovery of antioxidant compounds from red peel prickly pear (Opuntia ficus-indica L. Miller). *Discover Food*, *4*(1), 58. https://doi.org/10.1007/s44187-024-00140-5

Pawase, P. A., Goswami, C., Shams, R., Pandey, V. K., Tripathi, A., Rustagi, S., & G, D. (2024). A conceptual review on classification, extraction, bioactive potential and role of phytochemicals in human health. *Future Foods*, *9*(September 2023), 100313. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100313

Pedro, A. C., Paniz, O. G., Fernandes, I. de A. A., Bortolini, D. G., Rubio, F. T. V., Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., & Magalhães, W. L. E. (2022). The Importance of Antioxidant Biomaterials in Human Health and Technological Innovation: A Review. *Antioxidants*, *11*(9), 1644. https://doi.org/10.3390/antiox11091644

Pereira, D. T. V., Tarone, A. G., Cazarin, C. B. B., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2019). Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from grape marc. *Journal of Food Engineering*, *240*(July 2018), 105–113. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.019

Peyrot des Gachons, C., & Breslin, P. A. S. (2016). Salivary Amylase: Digestion and Metabolic Syndrome. *Current Diabetes Reports*, *16*(10), 102. https://doi.org/10.1007/s11892-016-0794-7

Piasecka, I., Wiktor, A., & Górska, A. (2022). Alternative Methods of Bioactive Compounds and Oils Extraction from Berry Fruit By-Products—A Review. *Applied Sciences*, *12*(3), 1734. https://doi.org/10.3390/app12031734

Picot-Allain, C., Mahomoodally, M. F., Ak, G., & Zengin, G. (2021). Conventional versus green extraction techniques — a comparative perspective. *Current Opinion in Food Science*, *40*, 144–156. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009

Pino, R., Badalamenti, N., Dall'Acqua, S., Tundis, R., Bruno, M., Sottile, F., Sut, S., & Loizzo, M. R. (2025). Opuntia stricta (Haw.) Fruit Pulp and Seeds as Source of Bioactive Phytochemicals with Promising Functional Properties. *Molecules*, *30*(7), 1580. https://doi.org/10.3390/molecules30071580

Ponce-Luna, A., Pérez-Escalante, E., García-Curiel, L., Hernández-Hernández, A.

A., Contreras-López, E., & Pérez-Flores, J. G. (2023). Potencial del nopal (Opuntia ficus-indica) para su incursión en la industria de la confitería: Una breve revisión. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *8*(1), 491–500. https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.66

Prabhu, S., Molath, A., Choksi, H., Kumar, S., & Mehra, R. (2021). Classifications of polyphenols and their potential application in human health and diseases. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*, *6*(1), 293–301. https://doi.org/10.22271/journalofsport.2021.v6.i1e.2236

Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M., Pérez-Cruz, E., Filardo-Kerstupp, S., & Cruz-Martínez, B. (2008). MORFOLOGÍA , TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS EN SEMILLAS DE CINCO ESPECIES DEL GÉNERO Opuntia Morphology , size and particle distribution in seeds of five species of the genus Opuntia. *Univerisad y Ciencia Trópico Húmedo*, *24*(2), 159–162. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792008000200008&script=sci_arttext

Priya, S., & Peddha, M. S. (2023). Physicochemical characterization, polyphenols and flavonoids of different extracts from leaves of four varieties of tulsi (Ocimum sp.). *South African Journal of Botany*, *159*, 381–395. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.025

Proença, C., Freitas, M., Ribeiro, D., Oliveira, E. F. T., Sousa, J. L. C., Tomé, S. M., Ramos, M. J., Silva, A. M. S., Fernandes, P. A., & Fernandes, E. (2017). α-Glucosidase inhibition by flavonoids: an in vitro and in silico structure–activity relationship study. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, *32*(1), 1216–1228. https://doi.org/10.1080/14756366.2017.1368503

Rahman, M. M., Islam, M. R., Rabbi, F., Islam, M. T., Sultana, S., Ahmed, M., Sehgal, A., Singh, S., Sharma, N., & Behl, T. (2022). Bioactive Compounds and Diabetes Mellitus: Prospects and Future Challenges. *Current Pharmaceutical Design*, *28*(16), 1304–1320. https://doi.org/10.2174/1381612828666220412090808

Rajhard, S., Hladnik, L., Vicente, F. A., Srčič, S., Grilc, M., & Likozar, B. (2021). Solubility of Luteolin and Other Polyphenolic Compounds in Water, Nonpolar, Polar Aprotic and Protic Solvents by Applying FTIR/HPLC. *Processes*, *9*(11), 1952. https://doi.org/10.3390/pr9111952

Ramadan, M. F., Moussa Ayoub, T. E., & Rohn, S. (2021). Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications. In M. F. Ramadan, T. E. M. Ayoub, & S. Rohn (Eds.), *Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications* (Issue October). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7

Rasouli, H., Hosseini-Ghazvini, S. M.-B., Adibi, H., & Khodarahmi, R. (2017). Differential α-amylase/α-glucosidase inhibitory activities of plant-derived phenolic compounds: a virtual screening perspective for the treatment of obesity and diabetes. *Food & Function*, *8*(5), 1942–1954. https://doi.org/10.1039/C7FO00220C

Reyes-Corral, M., Gil-González, L., González-Díaz, Á., Tovar-Luzón, J., Ayuso, M. I., Lao-Pérez, M., Montaner, J., de la Puerta, R., Fernández-Torres, R., & Ybot-González, P. (2025). Pretreatment with oleuropein protects the neonatal brain from hypoxia-ischemia by inhibiting apoptosis and neuroinflammation. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, *45*(4), 717–734. https://doi.org/10.1177/0271678X241270237

Robbani, S., Elya, B., & Iswandana, R. (2022). Alpha-glucosidase and DPP-IV Inhibitory Activities of Ethanol Extract from Caesalpinia sappan, Andrographis paniculata, and Syzygium cumini. *Pharmacognosy Journal*, *14*(3), 702–709. https://doi.org/10.5530/pj.2022.14.89

Roselló-Soto, E., Parniakov, O., Deng, Q., Patras, A., Koubaa, M., Grimi, N., Boussetta, N., Tiwari, B. K., Vorobiev, E., Lebovka, N., & Barba, F. J. (2016). Application of Non-conventional Extraction Methods: Toward a Sustainable and Green Production of Valuable Compounds from Mushrooms. *Food Engineering Reviews*, *8*(2), 214–234. https://doi.org/10.1007/s12393-015-9131-1

Roy, S., Pokharel, P., & Piganelli, J. D. (2024). Decoding the immune dance: Unraveling the interplay between beta cells and type 1 diabetes. *Molecular Metabolism*, *88*(July), 101998. https://doi.org/10.1016/j.molmet.2024.101998

Ruano Imbaquingo, D. E., Ruano Imbaquingo, H. J., Yépez Salazar, D. A., Herrería Rodriguez, M. A., Falcón León, K. D., & López Hoyos, E. J. (2023). Tratamiento actual de la diabetes mellitus tipo 2. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(2), 379–395. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5300

Rufino-Palomares, E. E., Pérez-Jiménez, A., García-Salguero, L., Mokhtari, K., Reyes-Zurita, F. J., Peragón-Sánchez, J., & Lupiáñez, J. A. (2022). Nutraceutical Role of Polyphenols and Triterpenes Present in the Extracts of Fruits and Leaves of Olea europaea as Antioxidants, Anti-Infectives and Anticancer Agents on Healthy Growth. *Molecules*, *27*(7), 2341. https://doi.org/10.3390/molecules27072341

Rumpf, J., Burger, R., & Schulze, M. (2023). Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules*, *233*(January), 123470. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123470

Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *17*(3), 512–531. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330

Sandhu, A. K., & Gu, L. (2010). Antioxidant Capacity, Phenolic Content, and Profiling of Phenolic Compounds in the Seeds, Skin, and Pulp of Vitis rotundifolia (Muscadine Grapes) As Determined by HPLC-DAD-ESI-MS n. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(8), 4681–4692. https://doi.org/10.1021/jf904211q

Sands, D., Davis, A., Banfield, S., Pottie, I. R., & Darvesh, S. (2023). Solvents and detergents compatible with enzyme kinetic studies of cholinesterases. *Chemico-Biological Interactions*, *383*, 110667. https://doi.org/10.1016/j.cbi.2023.110667

Santos, K. A., de Aguiar, C. M., da Silva, E. A., & da Silva, C. (2021). Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol. *Journal of Supercritical Fluids*, *169*, 105125. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105125

Santos, M. B., Sillero, L., Gatto, D. A., & Labidi, J. (2022). Bioactive molecules in wood extractives: Methods of extraction and separation, a review. *Industrial Crops and Products*, *186*(June), 115231. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115231

Saravanakumar, A., Ganesh, M., Peng, M. M., Aziz, A. S., & Jang, H. T. (2015). Comparative antioxidant and antimycobacterial activities of Opuntia ficus-indica fruit extracts from summer and rainy seasons. *Frontiers in Life Science*,

8(2), 182–191. https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1028655

Saravanan, V., Venkatraman, A., & Mohideen, H. S. (2021). Molecular docking of active compounds from Phoenix pusilla root extract against antidiabetic and anti-inflammatory drug targets. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, *9*, 26–30. https://doi.org/10.7324/JABB.2021.95.1s5

Sarian, M. N., Ahmed, Q. U., Mat So'ad, S. Z., Alhassan, A. M., Murugesu, S., Perumal, V., Syed Mohamad, S. N. A., Khatib, A., & Latip, J. (2017). Antioxidant and Antidiabetic Effects of Flavonoids: A Structure-Activity Relationship Based Study. *BioMed Research International*, *2017*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2017/8386065

Seclen, S. N., Rosas, M. E., Arias, A. J., & Medina, C. A. (2017). Elevated incidence rates of diabetes in Peru: report from PERUDIAB, a national urban population-based longitudinal study. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, *5*(1), e000401. https://doi.org/10.1136/bmjdrc-2017-000401

Seinfeld, J., Sobrevilla, A., Rosales, M. L., Ibáñez, M., Ruiz, D., Penny, E., & Londoño, S. (2024). Economic burden of type-2 diabetes in Peru: a cost-of-illness study valuing cost differences associated with the level of glycemic control. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research*, *24*(5), 661–669. https://doi.org/10.1080/14737167.2024.2333337

Sen, S., & Kasikci, M. (2025). Upshot of Some Bioactive Compounds on Angiogenesis in Retinal Pigment Epithelial Cells. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, *29*(1), 1–10. https://doi.org/10.1111/jcmm.70327

Shakeel, F., Alshehri, S., Ibrahim, M. A., Elzayat, E. M., Altamimi, M. A., Mohsin, K., Alanazi, F. K., & Alsarra, I. A. (2017). Solubility and thermodynamic parameters of apigenin in different neat solvents at different temperatures. *Journal of Molecular Liquids*, *234*, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.03.057

Shi, G.-J., Shi, G.-R., Zhou, J., Zhang, W., Gao, C., Jiang, Y., Zi, Z.-G., Zhao, H., Yang, Y., & Yu, J.-Q. (2018). Involvement of growth factors in diabetes mellitus and its complications: A general review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *101*(December 2017), 510–527. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.02.105

Shi, J., Yu, J., Pohorly, J., Young, J. C., Bryan, M., & Wu, Y. (2003). Optimization

of the extraction of polyphenols from grape seed meal by aqueous ethanol solution. *Journal of Food Agriculture & Environment*, *1*(2), 42–47. https://www.researchgate.net/publication/267249052_Optimization_of_the_extraction_of_polyphenols_from_grape_seed_meal_by_aqueous_ethanol_solution

Silva M.A, Albuquerque T.G, Pereira P, Ramalho R, Vicente F, Oliveira M.B.P.P, & Costa H.S. (2021). Opuntia ficus-indica (L.) Mill.: A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. *Molecules*, *26*(951), 1–20.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Sistema Integrado de Estadística Agraria. (2024). *El Agro en cifras: Enero 2024*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-mensuales/16-agro-cifras/299-agro-cifras-24

Sistema Integrado de Estadística Agraria. (2025). *El Agro en cifras: Enero 2025*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-mensuales/16-agro-cifras/412-agro-cifras-25

Sistema Integrado de Información Taxonómica. (2024). *Sistema Integrado de Información Taxonómica*. https://doi.org/https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK

Solaberrieta, I., Mellinas, C., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2022). Recovery of Antioxidants from Tomato Seed Industrial Wastes by Microwave-Assisted and Ultrasound-Assisted Extraction. *Foods*, *11*(19), 3068. https://doi.org/10.3390/foods11193068

Soni, R., & Kumar, S. (2023). Opuntia ficus-indica (Cactaceae): A review. *Unexplored Food Plants*, *March*. https://doi.org/10.5281/zenodo.7762258

Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., Kapoor, A., Vo, D.-V. N., & Prabhakar, S. (2021). Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *19*(4), 3409–3443. https://doi.org/10.1007/s10311-021-01217-8

Stepankova, V., Bidmanova, S., Koudelakova, T., Prokop, Z., Chaloupkova, R., & Damborsky, J. (2013). Strategies for Stabilization of Enzymes in Organic Solvents. *ACS Catalysis*, *3*(12), 2823–2836.

https://doi.org/10.1021/cs400684x

Striegel, L., Kang, B., Pilkenton, S. J., Rychlik, M., & Apostolidis, E. (2015). Effect of Black Tea and Black Tea Pomace Polyphenols on Î±-Glucosidase and Î±-Amylase Inhibition, Relevant to Type 2 Diabetes Prevention. *Frontiers in Nutrition*, *2*(February), 1–6. https://doi.org/10.3389/fnut.2015.00003

Supasatyankul, B., Saisriyoot, M., Klinkesorn, U., Rattanaporn, K., & Sae-Tan, S. (2022). Extraction of Phenolic and Flavonoid Compounds from Mung Bean (Vigna radiata L.) Seed Coat by Pressurized Liquid Extraction. *Molecules*, *27*(7), 2085. https://doi.org/10.3390/molecules27072085

Tarchi, I., Olewnik-Kruszkowska, E., Aït-Kaddour, A., & Bouaziz, M. (2025). Innovative Process for the Recovery of Oleuropein-Rich Extract from Olive Leaves and Its Biological Activities: Encapsulation for Activity Preservation with Concentration Assessment Pre and Post Encapsulation. *ACS Omega*, *10*(6), 6135–6146. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10858

Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). Up-To-Date Analysis of the Extraction Methods for Anthocyanins: Principles of the Techniques, Optimization, Technical Progress, and Industrial Application. *Antioxidants*, *11*(2), 286. https://doi.org/10.3390/antiox11020286

Tian, J.-L., Si, X., Wang, Y.-H., Gong, E.-S., Xie, X., Zhang, Y., Li, B., & Shu, C. (2021). Bioactive flavonoids from Rubus corchorifolius inhibit α-glucosidase and α-amylase to improve postprandial hyperglycemia. *Food Chemistry*, *341*, 128149. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128149

Tian, Y., Wang, Y., Ma, Y., Zhu, P., He, J., & Lei, J. (2017). Optimization of Subcritical Water Extraction of Resveratrol from Grape Seeds by Response Surface Methodology. *Applied Sciences*, *7*(4), 321. https://doi.org/10.3390/app7040321

Tomou, E.-M., Papakyriakopoulou, P., Skaltsa, H., Valsami, G., & Kadoglou, N. P. E. (2023). Bio-Actives from Natural Products with Potential Cardioprotective Properties: Isolation, Identification, and Pharmacological Actions of Apigenin, Quercetin, and Silibinin. *Molecules*, *28*(5), 2387. https://doi.org/10.3390/molecules28052387

TOUATI, N., SAKHRAOUI, A., HIHAT, S., & BLANDO, F. (2025). Phytochemicals, antioxidant properties and anti-inflammatory capacity of hydro-soluble seed

extract of Opuntia ficus-indica L. *Egyptian Journal of Botany*, *65*(2), 0–0. https://doi.org/10.21608/ejbo.2024.286760.2829

Trindade, S., Rouxinol, M. I., & Agulheiro-Santos, A. C. (2023). Opuntia ficus-indica L. Fruits Cold Storage Using Different Packaging Materials. *Sustainability*, *15*(14), 11334. https://doi.org/10.3390/su151411334

Ud Din, S. R., Saeed, S., Khan, S. U., Kiani, F. A., Alsuhaibani, A. M., & Zhong, M. (2023). Bioactive Compounds (BACs): A Novel Approach to Treat and Prevent Cardiovascular Diseases. *Current Problems in Cardiology*, *48*(7), 101664. https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.101664

Unnikrishnan Meenakshi, D., Narde, G. K., Ahuja, A., Al Balushi, K., Francis, A. P., & Khan, S. A. (2024). Therapeutic Applications of Nanoformulated Resveratrol and Quercetin Phytochemicals in Colorectal Cancer—An Updated Review. *Pharmaceutics*, *16*(6). https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16060761

Urrialde, R., Gómez Cifuentes, A., Pintos, B., Gómez-Garay, M. A., & Cifuentes, B. (2022). Bioactive compounds from plants. Development of new or novel food. *Nutrición Hospitalaria*. https://doi.org/10.20960/nh.04302

Vardanega, R., Fuentes, F. S., Palma, J., Bugueño-Muñoz, W., Cerezal-Mezquita, P., & Ruiz-Domínguez, M. C. (2023). Valorization of granadilla waste (Passiflora ligularis, Juss.) by sequential green extraction processes based on pressurized fluids to obtain bioactive compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, *194*, 105833. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105833

Vargas Mamani, J. J., Vera Vargas, G. V., & Suppé Tejada, N. A. (2019). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA, MICROSCÓPICA DE BARRIDO Y DISPERSIÓN DE RAYOS X DEL MUCÍLAGO DE CLADODIOS DE Opuntia ficus indica EN LA REGIÓN ALTA DE TACNA. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *85*(3), 305–314. https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i3.248

Vijakumaran, U., Shanmugam, J., Heng, J. W., Azman, S. S., Yazid, M. D., Haizum Abdullah, N. A., & Sulaiman, N. (2023). Effects of Hydroxytyrosol in Endothelial Functioning: A Comprehensive Review. *Molecules*, *28*(4), 1861. https://doi.org/10.3390/molecules28041861

Vilas-Boas, S. M., Vieira, V., Brandão, P., Alves, R. S., Coutinho, J. A. P., Pinho,

S. P., & Ferreira, O. (2019). Solvent and temperature effects on the solubility of syringic, vanillic or veratric acids: Experimental, modeling and solid phase studies. *Journal of Molecular Liquids*, *289*, 111089. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111089

Wang, M., Zhou, J., Collado, M. C., & Barba, F. J. (2021). Accelerated Solvent Extraction and Pulsed Electric Fields for Valorization of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) and Sole (Dover sole) By-Products: Protein Content, Molecular Weight Distribution and Antioxidant Potential of the Extracts. *Marine Drugs*, *19*(4). https://doi.org/10.3390/MD19040207

Wang, Y., Gao, Y., Ding, H., Liu, S., Han, X., Gui, J., & Liu, D. (2017). Subcritical ethanol extraction of flavonoids from Moringa oleifera leaf and evaluation of antioxidant activity. *Food Chemistry*, *218*, 152–158. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.058

Wang, Y., Su, Y., Shehzad, Q., Yu, L., Tian, A., Wang, S., Ma, L., Zheng, L., & Xu, L. (2023). Comparative study on quality characteristics of Bischofia polycarpa seed oil by different solvents: Lipid composition, phytochemicals, and antioxidant activity. *Food Chemistry: X*, *17*(December 2022), 100588. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100588

Wang, Y., Tian, X., Zhang, Z., Tian, M., & Zhang, F. (2024). Investigation of the potential mechanisms of α-amylase and glucoamylase through ultrasound intensification. *Lwt*, *198*(2), 115979. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115979

Weremfo, A., Adulley, F., & Adarkwah-Yiadom, M. (2020). Simultaneous Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Avocado (Persea americana Mill.) Seeds Using Response Surface Methodology. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2020*, 1–11. https://doi.org/10.1155/2020/7541927

Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñiz-Márquez, D. B. (2021). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255

Xiang, Y., Huang, R., Wang, Y., Han, S., Qin, X., Li, Z., Wang, X., Han, Y., Wang, T., Xia, B., Wu, J., & Yang, G. (2023). Protocatechuic Acid Ameliorates High Fat Diet-Induced Obesity and Insulin Resistance in Mice. *Molecular Nutrition*

& Food Research, *67*(3), e2200244. https://doi.org/10.1002/mnfr.202200244

Yeddes, N., Chérif, J., Guyot, S., Sotin, H., & Ayadi, M. (2013). Comparative Study of Antioxidant Power, Polyphenols, Flavonoids and Betacyanins of the Peel and Pulp of Three Tunisian Opuntia Forms. *Antioxidants*, *2*(2), 37–51. https://doi.org/10.3390/antiox2020037

Yilmazer-Musa, M., Griffith, A. M., Michels, A. J., Schneider, E., & Frei, B. (2012). Grape Seed and Tea Extracts and Catechin 3-Gallates Are Potent Inhibitors of α-Amylase and α-Glucosidase Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(36), 8924–8929. https://doi.org/10.1021/jf301147n

Yun, C., Wang, S., Gao, Y., Zhao, Z., Miao, N., Shi, Y., Ri, I., Wang, W., & Wang, H. (2022). Optimization of ultrasound-assisted enzymatic pretreatment for enhanced extraction of baicalein and wogonin from Scutellaria baicalensis roots. *Journal of Chromatography B*, *1188*, 123077. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2021.123077

Zafra-Gómez, A., Luzón-Toro, B., Capel-Cuevas, S., & Morales, J. C. (2011). Stability of Hydroxytyrosol in Aqueous Solutions at Different Concentration, Temperature and with Different Ionic Content: A Study Using UPLC-MS. *Food and Nutrition Sciences*, *02*(10), 1114–1120. https://doi.org/10.4236/fns.2011.210149

Zeghbib, W., Boudjouan, F., Vasconcelos, V., & Lopes, G. (2022). Phenolic Compounds' Occurrence in Opuntia Species and Their Role in the Inflammatory Process: A Review. *Molecules*, *27*(15), 4763. https://doi.org/10.3390/molecules27154763

Zhang, C., Yu, J., Tu, Q., Yan, F., Hu, Z., Zhang, Y., & Song, C. (2022). Antioxidant Capacities and Enzymatic Inhibitory Effects of Different Solvent Fractions and Major Flavones from Celery Seeds Produced in Different Geographic Areas in China. *Antioxidants*, *11*(8), 1542. https://doi.org/10.3390/antiox11081542

Zhang, H., Wang, G., Beta, T., & Dong, J. (2015). Inhibitory Properties of Aqueous Ethanol Extracts of Propolis on Alpha-Glucosidase. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2015*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2015/587383

Zhang, J., Guo, J., Dang, B., Zhang, W., Zheng, W., & Yang, X. (2023). Enhancement of Polyphenols and Antioxidant Activity in Germinated Black

Highland Barley by Ultrasonication. *Molecules*, *28*(9), 3679. https://doi.org/10.3390/molecules28093679

Zhang, L., Tu, Z., Xie, X., Wang, H., Wang, H., Wang, Z., Sha, X., & Lu, Y. (2017). Jackfruit (Artocarpus heterophyllus Lam.) peel: A better source of antioxidants and a -glucosidase inhibitors than pulp, flake and seed, and phytochemical profile by HPLC-QTOF-MS/MS. *Food Chemistry*, *234*, 303–313. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.003

Zhang, Y., Hou, L., Hu, J., Wang, X., Guo, S., Xie, H., Zhou, Y., Ai, W., Li, L., Wang, X., Ren, L., Zhao, F., Fang, X., Han, J., & Shan, C. (2025). American ginseng fruit: Antioxidant capacity, bioactive components, and biosynthesis mechanism during development. *Food Research International*, *203*, 115884. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115884

Zhou, M., Wen, C., Ming, Y., Zhang, L., & Lyu, X. (2022). [Distribution and bioactivity of polyphenols in Opuntia ficus-indica (L.) Mill]. *Wei sheng yan jiu = Journal of hygiene research*, *51*(3), 463–469. https://doi.org/10.19813/j.cnki.weishengyanjiu.2022.03.020

VIII. Anexos

Anexo A

Registro fotográfico del acondicionamiento de la muestra

Figura A1

Recolección y secado de semillas de tuna a temperatura ambiente



Figura A2

Pulverización de las Semillas de tuna roja



Figura A3

Tamizado y pesado de las Semillas de tuna roja



Figura A4

Determinación de Humedad



Figura A5

Realización de la curva de calibración con ácido gálico



Anexo B

Registro fotográfico del proceso de extracción por ELP

Figura B1

Lavado secado y pesado de arena de cuarzo



Figura B2

Pesado de la muestra mezclada y preparación en la celda de extracción



Figura B3

Obtención centrifugado filtrado y medición del volumen de extractos con ELP



Anexo C

Registro fotográfico del contenido de polifenoles totales

Figura C1

Microplaca y resultados del análisis de polifenoles totales



Anexo D

Panel fotográfico del análisis de capacidad antioxidante

Figura D1

Microplaca y resultados de la capacidad antioxidante por DPPH

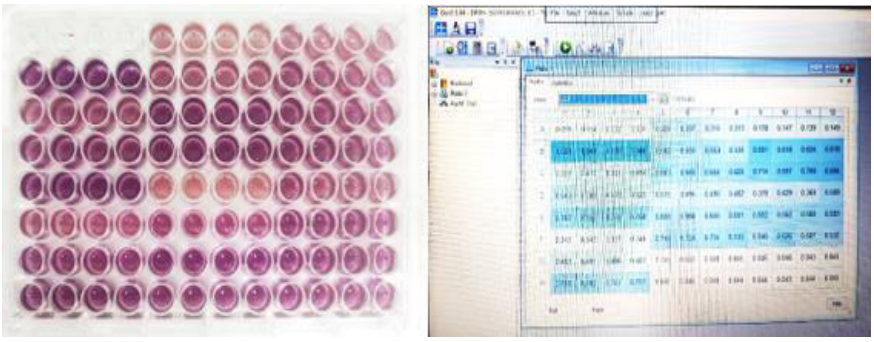


Figura D2

Preparación de microplaca para análisis mediante ORAC

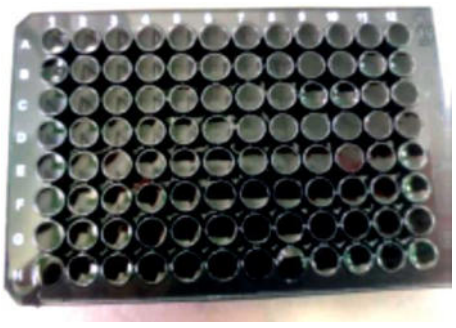
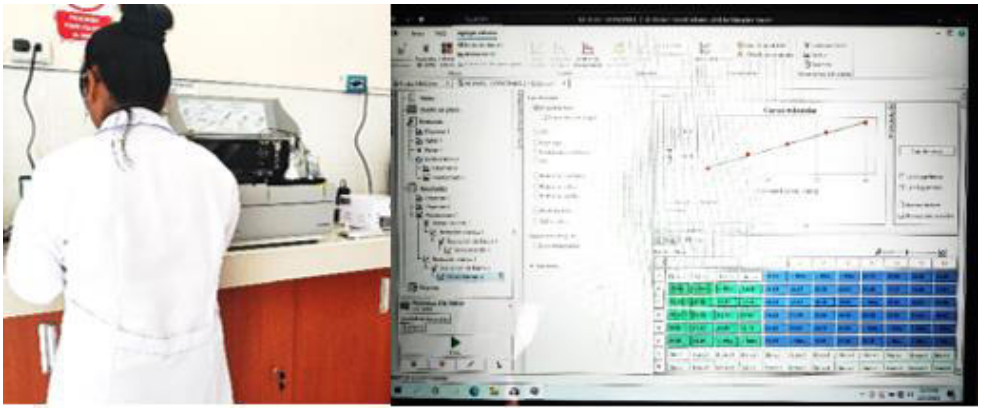


Figura D3

Análisis con lector de microplacas y resultados



Anexo E

Registro fotográfico durante el análisis del perfil polifenólico

Figura E1

Sistema de elución en fase sólida



Figura E2

Retención de polifenoles en fase sólida



Figura E3

Concentración de muestras eluidas por evaporación de nitrógeno



Figura E4

Filtrado y almacenado de muestras en viales ámbar



Figura E5

Distribución de viales con muestras de semillas de tuna roja



Figura E6

Lectura y cuantificación de polifenoles específicos en UHPLC



Anexo F

Registro fotográfico en el proceso de inhibición enzimática

Figura F1

Preparación del tampón fosfato de sodio



Figura F2

Preparación de microplaca para el análisis de inhibición de α-amilasa



Figura F3

Análisis de inhibición de α-amilasa en un lector de microplacas



Figura F4

Resultados del análisis de inhibición α-amilasa

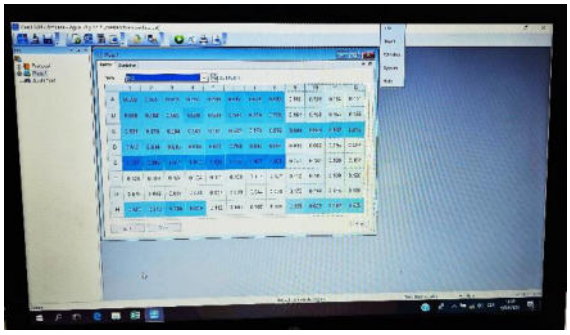


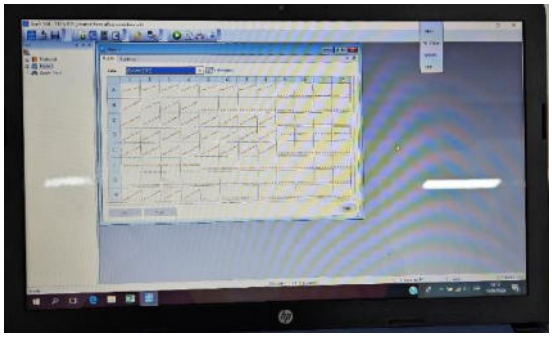
Figura F5

Preparación de microplaca para el análisis de inhibición de α-glucosidasa



Figura F6

Resultados del análisis de inhibición α-glucosidasa



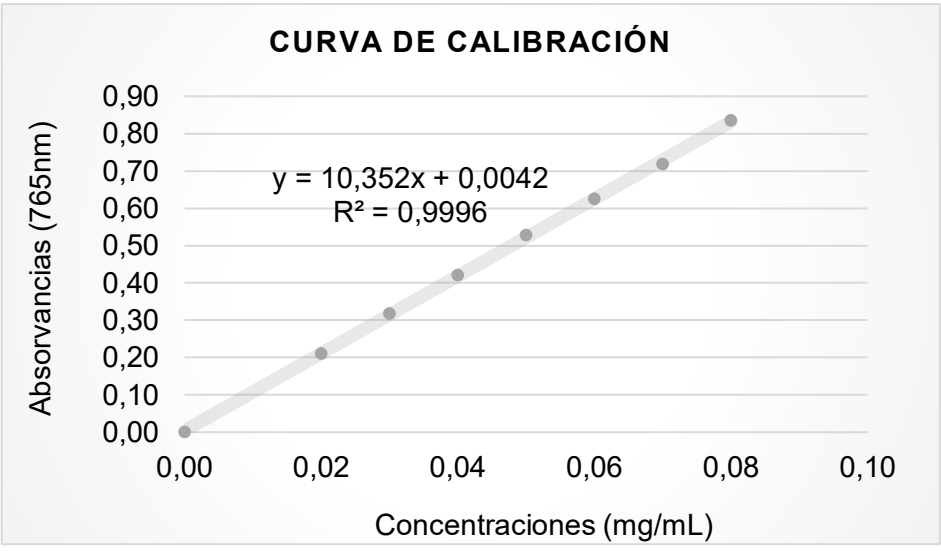
Anexo G

Curva de calibración con ácido gálico por el método de Folin Ciocalteu

Para analizar los compuestos fenólicos, se utiliza una curva de calibración del ácido gálico como patrón de referencia, expresando resultados en mg de ácido gálico equivalente por gramo de muestra. El método se calibró empleando ácido gálico como solución madre, y las absorbancias a 765 nm para diferentes concentraciones de ácido gálico (mg/L) los cuales se registraron en la siguiente Tabla.

Curva de calibración		
Puntos de calibración	**[mg AG/L]**	**Absorbancia**
	X	**Y**
1	0	0.000
2	20	0.211
3	30	0.318
4	40	0.421
5	50	0.528
6	60	0.626
7	70	0.718
8	80	0.835

Estos datos se sometieron a una regresión lineal simple para obtener una curva de calibración y la ecuación correspondiente. La ecuación obtenida fue y = 10.352x + 0.0042, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9996, indicando que el 99.96% de la variabilidad en la concentración puede explicarse por la absorbancia a 765 nm.



Anexo H

Parámetros de calibración para la cuantificación de polifenoles específicos mediante HPLC

Tabla H1

Parámetros para identificación de polifenoles específicos presentes en semillas de tuna mediante el uso de UHPLC - DAD

Polifenoles específicos	Longitud de onda (nm)	Tiempo de retención (min)	Ecuación de regresión	r^2	a	b
Ácido Vanílico	280	6,9	Y=140,631819X-10,732255	0,99945	140,631819	10,732255
Procianidina A2	280	9,25	Y=58,2267201X+4,3768068	0,99925	58,2267201	4,3768068
Procianidina B2	280	5,97	Y=17,8103735X-2,7054959	0,99824	17,8103735	2,7054959
Catequina	280	5,35	Y=26,1160516X-1,5346848	0,99848	26,1160516	1,5346848
Epicatequina	280	6,65	Y=42,8519399X-12,613358	0,99135	42,8519399	12,613358
Hidroxitirosol	280	3,05	Y=21,6971515X-2,084391	0,99331	21,6971515	2,084391
Quercetina	270	10,25	Y=23,229769X-0,0365795	0,99973	23,229769	0,0365795
Rutina	270	8,27	Y=6,9222736X-1,3509553	0,99246	6,9222736	1,3509553
Tirosol	270	4,4	Y=15,2475484X-1,0365118	0,99456	15,2475484	1,0365118
Resveratrol	324	11,4	Y=72.333786X-13.988748	0,99846	72,333786	13,988748
Apigenina	324	14,5	Y=70.7531007X+2.55378	0,99979	70,7531007	2,55378
Kaempferol	373	14,9	Y=44.120036X-1.4698735	0,99988	44,120036	1,4698735

Anexo I

Pruebas de normalidad y homocedasticidad por variable dependiente

Variables Dependientes	Normalidad (Shapiro-Wilk test)	Homocedasticidad (Levene test)	Cumple *p-valor > 0.05*
Polifenoles	p-valor > 0,102802	p-valor > 0,0801883	Sí
DPPH	p-valor > 0,212774	p-valor > 0,0713589	Sí
ORAC	p-valor > 0,0875526	p-valor > 0,189725	Sí

Anexo J

Análisis de varianza multifactorial del CTP en extractos de semillas de tuna

ANOVA Multifactorial – Contenido de Polifenoles Totales (CTP)

a) Variable dependiente: Contenido de polifenoles totales (EAG)

b) Factores:

- Tipo de Solvente: (Agua, 30% de etanol y 30% de Isopropanol)
- Temperatura: (90, 120 y 150°C)

Número de casos completos: 18

Análisis de varianza para el CTP equivalentes al ácido gálico

Fuente	***Suma de Cuadrados***	***Gl***	***Cuadrado Medio***	***Razón-F***	***Valor-P***
Efectos principales					
A: Solvente	17.5675	2	8.78374	132.73	0.0000
B: Temperatura	61.8724	2	30.9362	467.47	0.0000
Interacciones					
AB	6.49076	4	1.62269	24.52	0.0001
Residuos	0.5956	9	0.0661778		
Total (corregido)	86.5262	17			

Se rechaza la hipótesis nula al tener un Valor p- < 0.05, hay tratamientos significativamente diferentes.

Medias por Mínimos Cuadrados para el CTP

Nivel	*Casos*	*Media*	*Error Est.*	*Límite Inferior*	*Límite Superior*
Media global	18	3.08444			
Solvente					
Agua	6	1.74167	0.105022	1.50409	1.97924
Etanol	6	3.42167	0.105022	3.18409	3.65924
Isopropanol	6	4.09	0.105022	3.85242	4.32758
Temperatura					
90	6	0.978333	0.105022	0.740756	1.21591
120	6	2.785	0.105022	2.54742	3.02258
150	6	5.49	0.105022	5.25242	5.72758
Solvente por Temperatura					
Agua,90	2	0.72	0.181904	0.308505	1.1315
Agua,120	2	1.315	0.181904	0.903505	1.7265
Agua,150	2	3.19	0.181904	2.7785	3.6015
Etanol,90	2	0.85	0.181904	0.438505	1.2615
Etanol,120	2	3.02	0.181904	2.6085	3.4315
Etanol,150	2	6.395	0.181904	5.9835	6.8065
Isopropanol,90	2	1.365	0.181904	0.953505	1.7765
Isopropanol,120	2	4.02	0.181904	3.6085	4.4315
Isopropanol,150	2	6.885	0.181904	6.4735	7.2965

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Polifenoles Totales EAG con intervalos de confianza del 95.0 %

Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales por Solvente

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Solvente	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Agua	12	1,74583	0,0619581	a
Etanol	12	3.42167	0,0619581	b
Isopropanol	12	4,09333	0,0619581	c

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
Agua - Etanol	*	-1,67417	0,217311
Agua - Isopropanol	*	-2,3475	0,217311
Etanol - Isopropanol	*	-0,673333	0,217311

* indica diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales por Temperatura

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
90	*12*	*0,9825*	*0,352226*	a
120	*12*	*2,7925*	*0,352226*	b
150	*12*	*5,48417*	*0,352226*	c

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
90 - 120	*	*-1,81*	*1,22254*
90 - 150	*	*-4,50167*	*1,22254*
120 - 150	*	*-2,69167*	*1,22254*

* indica diferencia significativa.

Anexo K

Análisis de varianza multifactorial para capacidad antioxidante por DPPH

ANOVA Multifactorial - Capacidad Antioxidante (DPPH)

a) Variable dependiente: Capacidad Antioxidante (DPPH)

b) Factores:

- Solvente
- Temperatura

Número de casos completos: 18

Análisis de Varianza en la Capacidad Antioxidante DPPH

Fuente	***Suma de Cuadrados***	***GI***	***Cuadrado Medio***	***Razón-F***	***Valor-P***
Efectos principales					
A: Solvente	186.251	2	93.1253	198.46	0.0000
B: Temperatura	294.833	2	147.417	314.15	0.0000
Interacciones					
AB	90.4995	4	22.6249	48.21	0.0000
Residuos	4.22325	9	0.46925		
Total (corregido)	575.807	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias por Mínimos Cuadrados para Capacidad Antioxidante (DPPH)

Nivel	*Casos*	*Media*	*Error Est.*	*Límite Inferior*	*Límite Superior*
Media global	18	10.8117			
Solvente					
Agua	6	15.3033	0.279658	14.6707	15.936
Etanol	6	9.19	0.279658	8.55737	9.82263
Isopropanol	6	7.94167	0.279658	7.30904	8.5743
Temperatura					
90	6	15.4183	0.279658	14.7857	16.051
120	6	11.45	0.279658	10.8174	12.0826
150	6	5.56667	0.279658	4.93404	6.1993
Solvente por Temperatura					
Agua,90	2	23.61	0.484381	22.5143	24.7057
Agua,120	2	16.215	0.484381	15.1193	17.3107

Agua,150	2	6.085	0.484381	4.98925	7.18075
Etanol,90	2	12.425	0.484381	11.3293	13.5207
Etanol,120	2	9.21	0.484381	8.11425	10.3057
Etanol,150	2	5.935	0.484381	4.83925	7.03075
Isopropanol,90	2	10.22	0.484381	9.12425	11.3157
Isopropanol,120	2	8.925	0.484381	7.82925	10.0207
Isopropanol,150	2	4.68	0.484381	3.58425	5.77575

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Capacidad Antioxidante (DPPH) con intervalos de confianza del 95.0%

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad Antioxidante (DPPH) por Solvente

Método: 95.0 porcentaje LSD

Solvente	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Isopropanol	12	7,94333	0,183129	a
Etanol	12	9,12833	0,183129	b
Agua	12	15,2683	0,183129	c

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Agua - Etanol	*	6,140	0,642303
Agua - Isopropanol	*	7,325	0,642303
Etanol - Isopropanol	*	1,185	0,642303

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos Capacidad Antioxidante (DPPH) por Temperatura

Temperatura	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
150	12	5,545	1,18638	a
120	12	11,415	1,18638	b
90	12	15,38	1,18638	b

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
90 - 120		3,965	4,1178
90 - 150	*	9,835	4,1178
120 - 150	*	5,87	4,1178

* indica diferencia significativa.

Anexo L

Análisis de varianza multifactorial para capacidad antioxidante por ORAC

ANOVA Multifactorial - Capacidad Antioxidante (ORAC)

a) Variable dependiente: Capacidad Antioxidante (ORAC)
b) Factores:

- Solvente
- Temperatura

Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante por ORAC

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Efectos principales					
A: Solvente	31971.6	2	15985.8	166.11	0.0000
B: Temperatura	48709.5	2	24354.8	253.07	0.0000
Interacciones					
AB	5333.36	4	1333.34	13.85	0.0007
Residuos	866.139	9	96.2377		
Total (corregido)	86880.6	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias por Mínimos Cuadrados para Capacidad Antioxidante por ORAC

Nivel	*Casos*	*Media*	*Error Est.*	*Límite Inferior*	*Límite Superior*
Media global	18	119.042			
Solvente					
Agua	6	61.7167	4.00495	52.6568	70.7765
Etanol	6	133.573	4.00495	124.513	142.633
Isopropanol	6	161.835	4.00495	152.775	170.895
Temperatura					
90	6	68.4433	4.00495	59.3835	77.5032
120	6	98.0917	4.00495	89.0318	107.152
150	6	190.59	4.00495	181.53	199.65
Solvente por Temperatura					
Agua,90	2	30.115	6.93678	14.4229	45.8071
Agua,120	2	55.98	6.93678	40.2879	71.6721

Agua,150	2	99.055	6.93678	83.3629	114.747
Etanol,90	2	71.295	6.93678	55.6029	86.9871
Etanol,120	2	107.56	6.93678	91.8679	123.252
Etanol,150	2	221.865	6.93678	206.173	237.557
Isopropanol,90	2	103.92	6.93678	88.2279	119.612
Isopropanol,120	2	130.735	6.93678	115.043	146.427
Isopropanol,150	2	250.85	6.93678	235.158	266.542

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Capacidad Antioxidante (ORAC) con intervalos de confianza del 95.0%

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad Antioxidante (ORAC) por Solvente

Método: 95.0 porcentaje LSD

Solvente	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Agua	12	61,8058	2,86811	a
Etanol	12	133,035	2,86811	b
Isopropanol	12	163,158	2,86811	c

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
Agua - Etanol	*	-71,2292	10,0595
Agua - Isopropanol	*	-101,352	10,0595
Etanol - Isopropanol	*	-30,1225	10,0595

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos Capacidad Antioxidante (ORAC) por Temperatura

Temperatura	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
90	12	68,4	14,0789	a
120	12	98,5433	14,0789	a
150	12	191,055	14,0789	b

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
90 - 120		-30,1433	48,8664
90 - 150	*	-122,655	48,8664
120 - 150	*	-92,5117	48,8664

* indica una diferencia significativa.

Anexo M

Panel gráfico del perfil de polifenoles específicos

Figura M1

Polifenoles específicos de la familia ácidos fenólicos

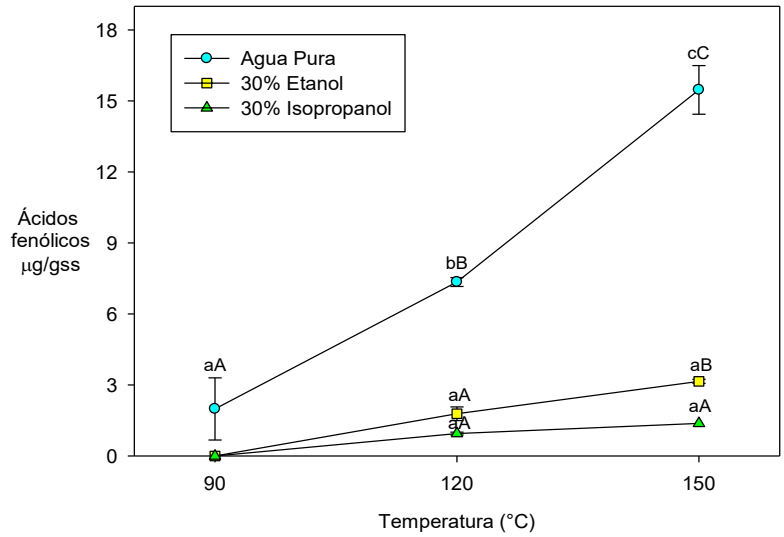
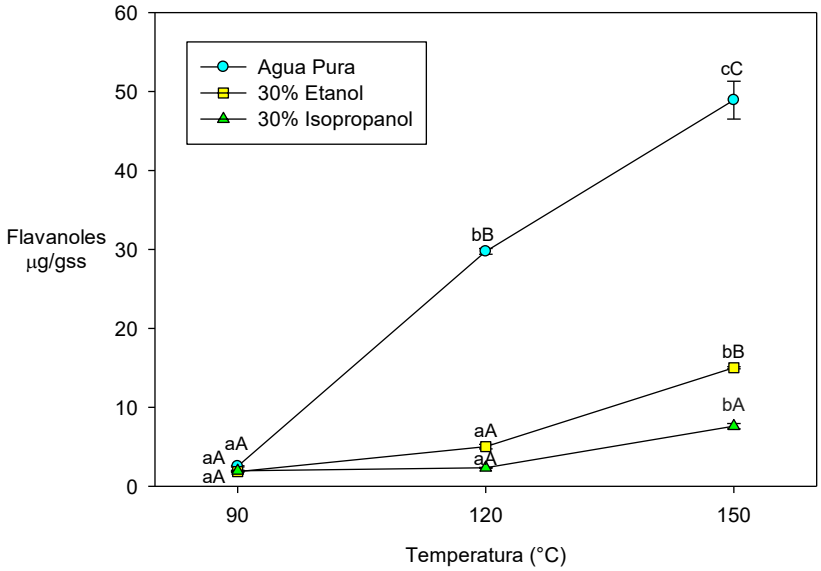


Figura M2

Polifenoles específicos de la familia flavanoles



Nota. Gráficos M1 y M2 las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre temperaturas dentro de un mismo solvente, mientras que las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre solventes para una misma temperatura.

Figura M3

Polifenoles específicos de la familia flavonoles

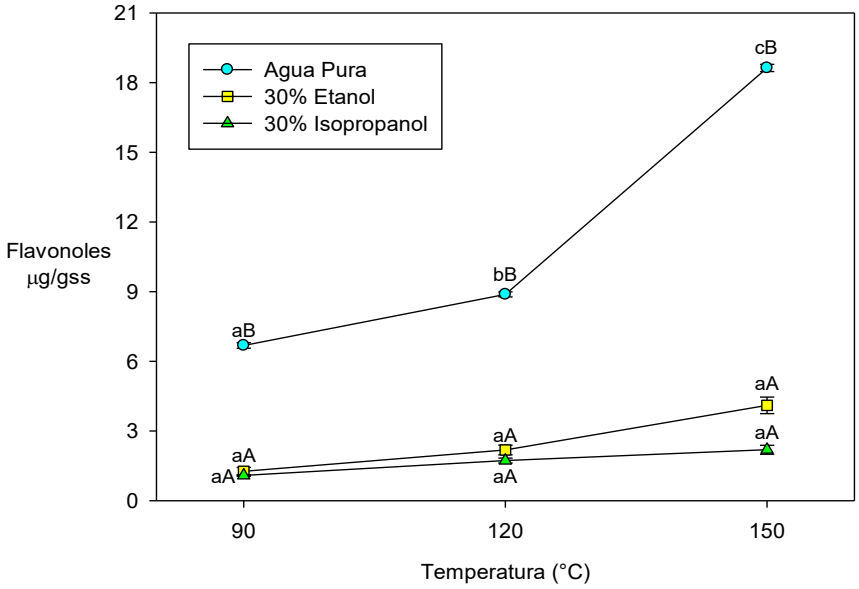
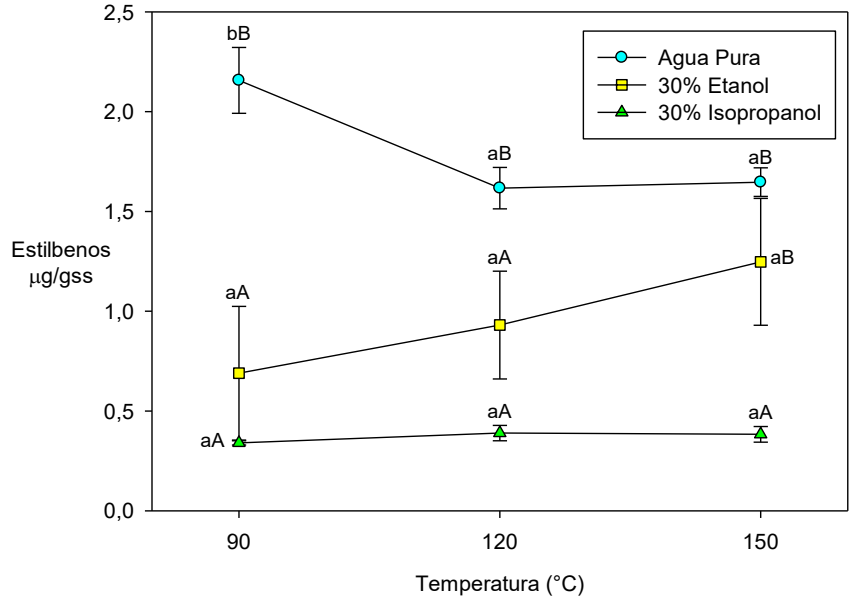


Figura M4

Polifenoles específicos de la familia estilbenos



Nota. Gráficos M3 y M4 las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre temperaturas dentro de un mismo solvente, mientras que las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre solventes para una misma temperatura.

Figura M5

Polifenoles específicos de la familia flavonas

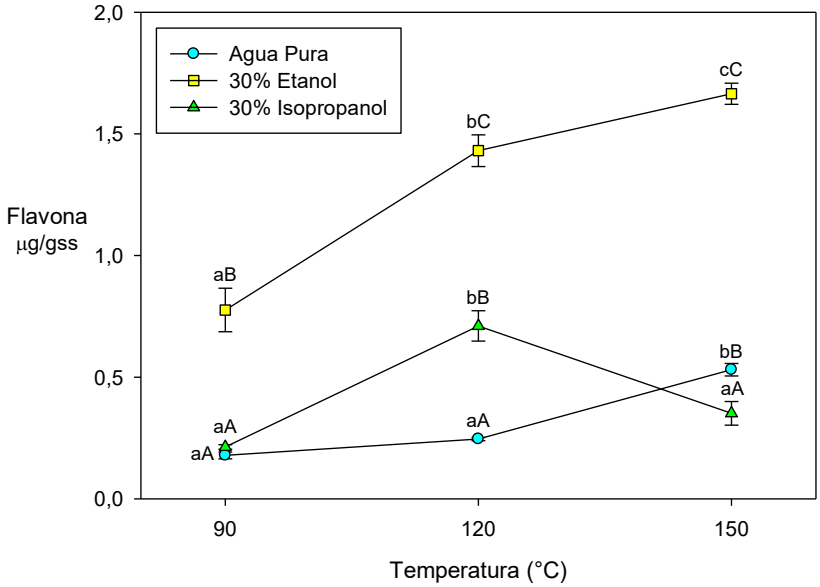
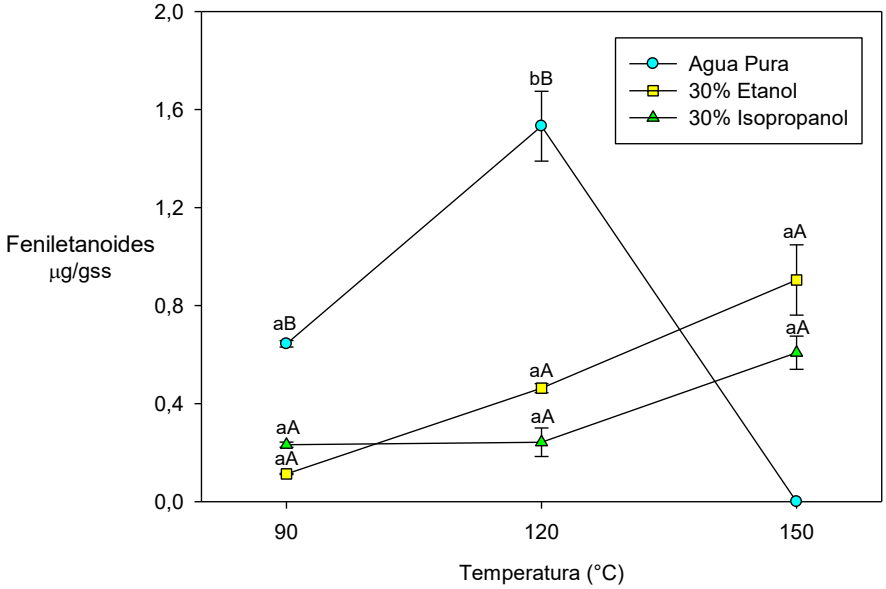


Figura M6

Polifenoles específicos de la familia feniletanoides



Nota. Gráficos M5 y M6 las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre temperaturas dentro de un mismo solvente, mientras que las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre solventes para una misma temperatura.

Anexo N

Análisis comparativo en la inhibición de α-amilasa

Comparaciones - % de Inhibición de α-amilasa (1 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A1	2.560	0.354	2
B1	16.310	3.663	2
C1	6.140	0.721	2
D1	3.080	1.414	2
E1	21.595	0.700	2
F1	19.265	4.292	2
G1	7.660	4.045	2
H1	27.540	1.966	2
I1	23.645	1.365	2
J1	8.805	7.163	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación	Cercanos
A1 - B1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - C1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - D1	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A1 - E1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - F1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - G1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - H1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - I1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - J1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales).

Leyenda: A1: Control acarbosa, B1: Agua pura a 90°C, C1: Agua pura a 120°C, D1: Agua pura a 150°C, E1; 30% de etanol a 90°C, F1: 30% de etanol a 120°C y G1: 30% de etanol a 150°C, H1: 30% de isopropanol a 90°C, I1: 30% de isopropanol a 120°C y J1: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de α-amilasa (10 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A2	9.630	2.135	2
B2	20.815	0.728	2
C2	17.470	3.380	2
D2	9.270	2.913	2
E2	23.920	0.566	2
F2	21.305	1.435	2
G2	12.850	2.008	2
H2	29.560	1.160	2
I2	26.625	0.205	2
J2	11.015	4.900	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación	Cercanos
A2 - B2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - C2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - D2	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A2 - E2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - F2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - G2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - H2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - I2	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - J2	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en

magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A2 (casi iguales).

Leyenda: A2: Control acarbosa, B2: Agua pura a 90°C, C2: Agua pura a 120°C, D2: Agua pura a 150°C, E2; 30% de etanol a 90°C, F2: 30% de etanol a 120°C y G2: 30% de etanol a 150°C, H2: 30% de isopropanol a 90°C, I2: 30% de isopropanol a 120°C y J2: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de α-amilasa (100 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A3	47.290	8.146	2
B3	24.640	3.932	2
C3	20.475	6.498	2
D3	10.250	2.701	2
E3	29.670	1.810	2
F3	22.635	2.284	2
G3	19.630	2.560	2
H3	32.370	2.546	2
I3	25.830	1.089	2
J3	19.475	4.377	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A3 - B3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - C3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - D3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - E3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - F3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - G3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - H3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - I3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - J3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A3 (casi iguales).

Leyenda: A3: Control acarbosa, B3: Agua pura a 90°C, C3: Agua pura a 120°C, D3: Agua pura a 150°C, E3; 30% de etanol a 90°C, F3: 30% de etanol a 120°C y G3: 30% de etanol a 150°C, H3: 30% de isopropanol a 90°C, I3: 30% de isopropanol a 120°C y J3: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de α-amilasa (1 000 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A4	73.460	7.198	2
B4	28.650	8.231	2
C4	25.820	6.760	2
D4	11.200	1.640	2
E4	30.020	1.626	2
F4	30.530	6.406	2
G4	20.565	2.553	2
H4	36.065	2.411	2
I4	32.510	0.566	2
J4	22.155	4.900	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A4 - B4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - C4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - D4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - E4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - F4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - G4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - H4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

A4 - I4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - J4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A4 (casi iguales).

Leyenda: A4: Control acarbosa, B4: Agua pura a 90°C, C4: Agua pura a 120°C, D4: Agua pura a 150°C, E4; 30% de etanol a 90°C, F4: 30% de etanol a 120°C y G4: 30% de etanol a 150°C, H4: 30% de isopropanol a 90°C, I4: 30% de isopropanol a 120°C y J4: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de α-amilasa (10 000 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A5	82.950	3.437	2
B5	34.545	6.060	2
C5	34.915	5.848	2
D5	18.420	0.127	2
E5	32.250	4.398	2
F5	40.100	6.378	2
G5	26.300	3.691	2
H5	46.775	3.528	2
I5	39.245	0.516	2
J5	33.950	1.881	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A5 - B5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - C5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - D5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - E5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

A5 - F5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - G5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - H5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - I5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - J5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A5 (casi iguales).

Leyenda: A5: Control acarbosa, B5: Agua pura a 90°C, C5: Agua pura a 120°C, D5: Agua pura a 150°C, E5; 30% de etanol a 90°C, F5: 30% de etanol a 120°C y G5: 30% de etanol a 150°C, H5: 30% de isopropanol a 90°C, I5: 30% de isopropanol a 120°C y J5: 30% de isopropanol a 150°C.

Anexo O

Análisis comparativo en la inhibición de α-glucosidasa

Comparaciones - % de Inhibición de Alfa Glucosidasa (1 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A1	5.720	1.994	2
B1	8.170	1.273	2
C1	4.740	0.481	2
D1	3.965	0.177	2
E1	6.025	0.163	2
F1	5.320	0.778	2
G1	5.365	0.714	2
H1	9.620	1.329	2
I1	10.185	0.021	2
J1	3.580	0.396	2

Las diferencias entre medias son amplias (A1 vs B1, A1 vs H1, A1 vs I1, A1 vs J1), la prueba no alcanza a declararlas significativas por poca potencia estadística. El estadístico r mide magnitud, no significancia.

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación	Cercanos
A1 - B1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - C1	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A1 - D1	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - E1	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A1 - F1	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A1 - G1	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A1 - H1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - I1	0	-1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A1 - J1	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales) y son C1, E1, F1, G1.

Leyenda: A1: Control acarbosa, B1: Agua pura a 90°C, C1: Agua pura a 120°C, D1: Agua pura a 150°C, E1; 30% de etanol a 90°C, F1: 30% de etanol a 120°C y G1: 30% de etanol a 150°C, H1: 30% de isopropanol a 90°C, I1: 30% de isopropanol a 120°C y J1: 30% de isopropanol a 150°C.

No hay diferencias estadísticamente significativas entre A1 y ningún otro tratamiento. Sin embargo, sí hay diferencias grandes en magnitud con los tratamientos B1, D1, H1, I1 y J1, pero las réplicas son insuficientes para confirmarlo estadísticamente.

Comparaciones - % de Inhibición de Alfa Glucosidasa (10 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A2	10.130	1.428	2
B2	7.990	1.301	2
C2	4.025	0.544	2
D2	3.440	0.297	2
E2	4.990	0.580	2
F2	5.100	0.028	2
G2	4.330	0.339	2
H2	9.725	1.195	2
I2	10.155	0.021	2
J2	3.220	0.354	2

Existe una gran diferencia entre A2 y la mayoría de los demás tratamientos, excepto I2 y H2.

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación	Cercanos
A2 - B2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - C2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - D2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - E2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - F2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - G2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	
A2 - H2	3	0.7746	0.4386	0.3873	Medium	*
A2 - I2	2	0.0000	1.0000	0.0000	Negligible	*
A2 - J2	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large	

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales).

Leyenda: A2: Control acarbosa, B2: Agua pura a 90°C, C2: Agua pura a 120°C, D2: Agua pura a 150°C, E2; 30% de etanol a 90°C, F2: 30% de etanol a 120°C y G2: 30% de etanol a 150°C, H2: 30% de isopropanol a 90°C, I2: 30% de isopropanol a 120°C y J2: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de Alfa Glucosidasa (100 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A3	52.290	1.075	2
B3	6.810	0.509	2
C3	2.920	0.198	2
D3	2.205	0.361	2
E3	3.970	0.580	2
F3	3.375	0.064	2
G3	3.220	0.156	2
H3	10.670	0.849	2
I3	10.250	0.042	2
J3	6.035	2.369	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A3 - B3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - C3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - D3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - E3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - F3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - G3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - H3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - I3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A3 - J3	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en

magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales).

Leyenda: A3: Control acarbosa, B3: Agua pura a 90°C, C3: Agua pura a 120°C, D3: Agua pura a 150°C, E3; 30% de etanol a 90°C, F3: 30% de etanol a 120°C y G3: 30% de etanol a 150°C, H3: 30% de isopropanol a 90°C, I3: 30% de isopropanol a 120°C y J3: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de Alfa Glucosidasa (1000 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A4	73.460	7.198	2
B4	6.265	1.082	2
C4	2.800	0.028	2
D4	2.900	0.099	2
E4	7.195	0.120	2
F4	5.020	0.226	2
G4	5.010	0.113	2
H4	11.665	1.577	2
I4	10.635	0.021	2
J4	7.945	2.595	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A4 - B4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - C4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - D4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - E4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - F4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - G4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - H4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - I4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A4 - J4	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales).

Leyenda: A4: Control acarbosa, B4: Agua pura a 90°C, C4: Agua pura a 120°C, D4: Agua pura a 150°C, E4; 30% de etanol a 90°C, F4: 30% de etanol a 120°C y G4: 30% de etanol a 150°C, H4: 30% de isopropanol a 90°C, I4: 30% de isopropanol a 120°C y J4: 30% de isopropanol a 150°C.

Comparaciones - % de Inhibición de Alfa Glucosidasa (10 000 µg/mL)

Tabla descriptiva:

Tratamiento	Media	DE	n
A5	79.950	0.806	2
B5	32.765	1.025	2
C5	17.910	0.127	2
D5	18.500	2.376	2
E5	52.310	2.560	2
F5	20.690	0.594	2
G5	19.865	0.290	2
H5	46.715	2.256	2
I5	21.355	0.827	2
J5	29.230	3.592	2

Prueba no paramétrica Wilcoxon

Tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Comparación	W	Z	p_value	r	Interpretación
A5 - B5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - C5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - D5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - E5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - F5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - G5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - H5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - I5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large
A5 - J5	4	1.5492	0.1213	0.7746	Large

Nota. Se basa si el p_value > 0.05 en todos los casos entonces No hay diferencias estadísticamente significativas. r indica el tamaño del efecto: Negligible (0) son las diferencias prácticamente nulas y Large (~0.77) que la diferencia es grande en magnitud, pero no significativa. Comparaciones con * son tratamientos más cercanos a A1 (casi iguales).

Leyenda: A5: Control acarbosa, B5: Agua pura a 90°C, C5: Agua pura a 120°C, D5: Agua pura a 150°C, E5; 30% de etanol a 90°C, F5: 30% de etanol a 120°C y G5: 30% de etanol a 150°C, H5: 30% de isopropanol a 90°C, I5: 30% de isopropanol a 120°C y J5: 30% de isopropanol a 150°C.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Katherin Thalia Quispe Yucra
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 73303246
Correo electrónico : thalia_yucra_q@outlook.com
Teléfono/Celular : 962970662

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : ESTUDIO DEL IMPACTO DE SOLVENTES ALTERNATIVOS EN LA RECUPERACIÓN DE POLIFENOLES CON EFECTOS INHIBIDORES DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DIABETES MELLITUS TIPO 2 A PARTIR DE SEMILLAS DE TUNA ROJA
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.11.02
c) Fecha de publicación : 19/11/2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : ELIAS ESCOBEDO PACHECO
b) DNI/Pasaporte/Cédula : DNI: 29703472
c) ORCID : https://orcid.org/0000-0002-8256-2546

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 73303246
NOMBRES Y APELLIDOS : Katherin Thalia Quispe Yucra

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 73303246

NOMBRES Y APELLIDOS : Katherin Thalia Quispe Yucra

FECHA : 12 de enero del 2026



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Katherin Thalia Quispe Yucra,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial
,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 73303246, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
ESTUDIO DEL IMPACTO DE SOLVENTES ALTERNATIVOS EN LA RECUPERACIÓN DE POLIFENOLES CON EFECTOS INHIBIDORES DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DIABETES MELLITUS MELLITUS TIPO 2 A PARTIR DE LAS SEMILLAS DE TUNA ROJA

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 12 de enero del 2026



Huella digital

Nombres y Apellidos: Katherin Thalia Quispe Yucra
DNI: 73303246

Katherine Thalia Quispe Yucra

Informe Final de Tesis

Informe Final de Tesis

Trabajos de Tesis

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3467419406

Fecha de entrega
28 ene 2026, 6:11 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
28 ene 2026, 6:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Informe_Final_Tesis_Katherin_Thalia_Quispe_Yucra_2025.pdf

Tamaño del archivo
3.3 MB

154 páginas

38.777 palabras

211.384 caracteres

0% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
archive.org <1%

2 Internet
repositorio.lamolina.edu.pe <1%

3 Publicación
Macey, J.. "Molecular Phylogenetics, tRNA Evolution, and Historical Biogeography... <1%

4 Publicación
Pongrawee Nimnoi, Neelawan Pongsilp. " Potential health benefits of combined e... <1%

5 Internet
www.dspace.uce.edu.ec <1%

6 Publicación
Catalina Rivas-Morales, María Azucena Oranday-Cárdenas, María Julia Verde-Star.... <1%

7 Publicación
Fernandes, Luana. "Effect of Several Post-Harvest Technologies on the Food Quali... <1%

8 Publicación
Roberto Teófilo Abdala-Díaz, Alejandro Cabello-Pasini, Eugenia Márquez-Garrido, ... <1%

9 Internet
fdocument.org <1%

10 Internet
www.ppgcf.ufrpe.br <1%

11 Internet
qdoc.tips <1%

12 Publicación

Condori Huayhua, Alipio. "Predictores de complicaciones microvasculares en paci... <1%

13 Internet

orcid.org <1%

14 Internet

sites.google.com <1%

15 Publicación

"Mediterranean Fruits Bio-wastes", Springer Science and Business Media LLC, 2022 <1%

16 Internet

dergipark.org.tr <1%

17 Internet

www.researchgate.net <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 058-2026-CU

Moquegua, 05 de febrero de 2026

VISTOS:

El Proveído N° 394-2026-R de fecha 03 de febrero de 2026 emitido por el Rectorado, Informe N° D0046-2026-UNAM-R-SG de fecha 02 de febrero de 2026 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° D0008-2026-SEGE-GT de Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Ordinaria N° 02-2026-SO-CU-UNAM, de fecha 04 de febrero de de 2026, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° D0008-2026-SEGE-GT de fecha 02 de febrero de 2026, e Informe N° D0046-2026-UNAM-R-SG de fecha 02 de febrero de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado los expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial a los Bachilleres: QUISPE YUCRA KATHERIN THALIA, MAMANI QUENTA ELY OMAR y ALVAREZ MAMANI JENNIFER DANIELA de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, quienes se encuentran aptos para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dichos expedientes como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 04 de febrero de 2026;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 058-2026-CU

Moquegua, 05 de febrero de 2026

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Ordinaria N° 02-2026-SO-CU-UNAM, de fecha 04 de febrero de 2026, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial por la modalidad de sustentación de tesis a los Bachilleres: QUISPE YUCRA KATHERIN THALIA, MAMANI QUENTA ELY OMAR y ALVAREZ MAMANI JENNIFER DANIELA, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante la Resolución Rectoral Nº 048-2026-R-UNAM de fecha 30 de enero de 2026, se resolvió ENCARGAR, al Dr. Alejandro Manuel Ecos Espino, en su calidad de Vicerrector Académico el Despacho de Rectorado de la Universidad Nacional de Moquegua, para que ejerza las funciones correspondientes en ausencia del Rector, durante los días 02 al 11 de febrero de 2026, por tanto, en aplicación de lo dispuesto por el numeral 5 del artículo 30 del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y conforme a los considerandos del referido acto administrativo, el señor Vicerrector Académico asume el cargo, con todas las prerrogativas de la autoridad;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a los Bachilleres

- **QUISPE YUCRA KATHERIN THALIA**
  TESIS : "ESTUDIO DEL IMPACTO DE SOLVENTES ALTERNATIVOS EN LA RECUPERACIÓN DE POLIFENOLES CON EFECTOS INHIBIDORES DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DIABETES MELLITUS TIPO 2 A PARTIR DE SEMILLAS DE TUNA ROJA", cuyo asesor principal fue el Dr. Elias Escobedo Pacheco, y el Co - asesor fue el Dr. Nils Leander Huamán Castilla.
- **MAMANI QUENTA ELY OMAR**
  TESIS : "AISLAMIENTO, SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LEVADURAS AUTOCTONAS DE LA UVA VARIEDAD MOSCATEL DE ALEJANDRIA EN TRES ALTITUDES DIFERENTES DE MOQUEGUA: CARACTERIZACIÓN MOLECULAR", cuyo asesor principal fue el Dr. César Augusto Napa Almeyda, y el Co - asesor fue el Ing. Raquel Allison Choquehuanca Pineda.
- **ALVAREZ MAMANI JENNIFER DANIELA**
  TESIS : "DESARROLLO DE GALLETAS CON REDUCCIÓN DE AZÚCAR E INCORPORACIÓN DE HARINA DE QUINUA: UN ENFOQUE INSTRUMENTAL Y SENSORIAL", cuyo asesor principal fue el Dr. Erick Manuel Saldaña Villa, y el Co - asesor fue la MSc. Karina Erika Eduardo Palomino.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

ABG. EDGAR PINTO HUANCA VILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. ALEJANDRO MANUEL ECOS ESPINO
RECTOR (e)
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION. VRA VRI FACS EPGPDS GyT OGSA OTI Interesado c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe