



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS  
GRASOS ESENCIALES Y ANTIOXIDANTES DE PORTULACA OLERACEA PARA  
SU REVALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO LOCAL**

*Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Biotecnología*

**AUTOR:**

ANDRES VICENTE CORDOVA ZAMBRANO

**TUTOR:**

MSc. ANGELA PACHECO FLORES DE VALGAZ

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2025**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Andrés Vicente Córdova Zambrano con documento de identificación N° 0955521976, manifiesto que: Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Andrés Vicente Córdova Zambrano

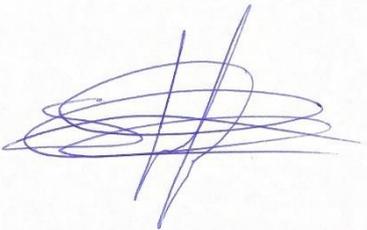
CI: 0955521976

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Andrés Vicente Córdova Zambrano con documento de identificación N° 0955521976, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental: **REVISIÓN SISTEMÁTICA DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES Y ANTIOXIDANTES DE PORTULACA OLERACEA PARA SU REVALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO LOCAL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 16 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Andrés Vicente Córdova Zambrano

CI: 0955521976

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ángela Pacheco Flores De Valgaz con documento de identificación N° 0930726112, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **REVISIÓN SISTEMÁTICA DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES Y ANTIOXIDANTES DE PORTULACA OLERACEA PARA SU REVALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO LOCAL** realizado por Andrés Vicente Córdova Zambrano con documento de identificación N° 0955521976 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Ángela Pacheco Flores De Valgaz

CI: 0930726112

## **Dedicatoria Andrés Córdova**

A mis padres, por ser el cimiento firme sobre el cual he construido mis sueños. Gracias por su esfuerzo inagotable, por las palabras de aliento en los momentos difíciles y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del trabajo y la perseverancia. Cada logro que alcanzo lleva consigo un reflejo de su dedicación y amor.

A mis hermanas, porque en los caminos compartidos siempre hay huellas que nos unen. Agradezco los momentos de compañía, las conversaciones que, aunque breves, dejan una huella, y el simple hecho de saber que están ahí.

A mis amigos, por estar presentes en cada etapa de este recorrido. Su apoyo, sus palabras de ánimo y su compañía han sido un respiro en los días más largos. Gracias por recordarme que los grandes retos se enfrentan mejor cuando no se está solo.

A cada persona que, de una u otra manera, ha sido parte de este proceso, gracias. Este trabajo no es solo el resultado de horas de estudio, sino también de las manos que, directa o indirectamente, me han sostenido en el camino.

## **Agradecimientos Andrés Córdova**

A mis padres, las personas que hicieron posible que llegara hasta aquí. Su esfuerzo, dedicación y ejemplo de perseverancia han sido la guía que me permitió culminar este camino. Me enseñaron valores y virtudes que han sido fundamentales para enfrentar los desafíos que surgieron en el trayecto. Hubo momentos de dificultad, pero gracias a su carácter y sabiduría aprendí a sortearlos con determinación. Un agradecimiento especial a mi madre, quien con ilusión vio cada uno de mis avances como si fueran propios. Sin ella, nada de esto habría sido posible. Me acompañó en todo este proceso, desde preparar mis desayunos hasta caminar

conmigo en las mañanas, compartiendo un tramo del recorrido hacia la universidad. Su apoyo incondicional ha sido un faro en los días más inciertos.

A mis hermanas y a mi cuñado, por ser un ejemplo de constancia y crecimiento. Su esfuerzo, tanto en el ámbito profesional como en el personal, ha sido una inspiración para no rendirme y seguir avanzando. Ver sus logros me impulsó a exigirme más, a no quedarme atrás y a entender que el aprendizaje es un camino continuo.

A mis amigos, por ser ese refugio en los días largos, por brindarme su confianza y recordarme que los grandes retos se enfrentan mejor cuando no se está solo. A Jonathan, por ser el hermano mayor que siempre quise; probablemente, gran parte de la persona que soy hoy se lo debo a él. A Carlos, porque aunque en esta etapa de nuestras vidas no seamos tan recurrentes, sabemos que, sin importar el tiempo o la distancia, la conexión de hermandad permanece intacta. A Michelin, porque en los últimos años nuestra amistad se ha fortalecido y su compañía ha sido un pilar para mí. A Diego y Rodrigo, por ser un apoyo incondicional ante las vicisitudes, por escucharme y acompañarme cuando más lo he necesitado; espero que, sin importar lo que venga, siempre estén ahí. A Kenneth y Leonardo, porque aunque la vida nos lleve por caminos distintos, pertenecen a lo mejor que me dejó el colegio. A Wilson, por ser esa persona en la que siempre puedo confiar, ya sea para compartir una partida en la computadora o para emprender cualquier aventura.

A André y Vallejo, por ser las grandes personas que son conmigo, por llenar mis semanas de risas y distracciones; son mi mayor apuesta.

Finalmente, a Emily, por haber sido un apoyo constante en esta etapa, por aconsejarme que dejara de procrastinar y por su conocimiento y asesoría académica, que hicieron más llevadero este proceso.

A mis profesores, cuyo conocimiento y orientación han sido esenciales en mi formación. Gracias por compartir su sabiduría, por desafiarme a mejorar y por dejar en mí una huella que trascenderá más allá de las aulas.

A todos los que, de una u otra forma, han sido parte de este camino, mi más sincero agradecimiento. Este logro no es solo mío, sino también de quienes me han acompañado en cada paso.

## Resumen

La *Portulaca oleracea*, comúnmente conocida como verdolaga, es una planta con un alto contenido de compuestos bioactivos, como ácidos grasos esenciales (omega 3) y antioxidantes (betalaínas y polifenoles), lo que la convierte en un recurso valioso para la nutrición, la farmacéutica y la cosmética. Sin embargo, la información sobre los métodos de extracción de estos compuestos sigue siendo limitada. Esta revisión sistemática tiene como objetivo analizar y comparar diferentes técnicas de extracción de ácidos grasos esenciales y antioxidantes de *P. oleracea*, con el fin de identificar los métodos más eficientes para su revalorización y aprovechamiento local en Ecuador. Se revisaron 25 estudios científicos relevantes, seleccionados mediante criterios de inclusión y exclusión, que abarcan diversas metodologías de extracción. Los principales métodos evaluados incluyen extracción con solventes (etanol, metanol, agua), extracción asistida por ultrasonido (EAU) y fluidos supercríticos (CO<sub>2</sub>). La EAU se destaca por su rapidez y eficiencia en la preservación de antioxidantes, mientras que la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico permite obtener compuestos más puros sin residuos de solventes. Además, factores como el pH, las condiciones de cultivo y el tipo de solvente utilizado afectan significativamente la eficiencia del proceso de extracción. Los hallazgos sugieren que la implementación de técnicas de extracción optimizadas podría potenciar el uso de *P. oleracea* en la industria alimenticia y farmacéutica, promoviendo su aprovechamiento sostenible y su integración en productos con valor agregado. Finalmente, se recomienda fomentar investigaciones adicionales y la capacitación en técnicas modernas de extracción para fortalecer el desarrollo de esta planta como un recurso estratégico en Ecuador.

**Palabras clave:** Portulaca Oleracea; Extracción; Ácidos grasos; antioxidantes; revelación

## Abstract

*Portulaca oleracea*, commonly known as purslane, is a plant rich in bioactive compounds such as essential fatty acids (omega-3) and antioxidants (betalains and polyphenols), making it a valuable resource for nutrition, pharmaceuticals, and cosmetics. However, information on the extraction methods for these compounds remains limited. This systematic review aims to analyze and compare different extraction techniques for essential fatty acids and antioxidants from *P. oleracea* to identify the most efficient methods for its valorization and local utilization in Ecuador. A total of 25 relevant scientific studies were reviewed, selected based on inclusion and exclusion criteria, covering various extraction methodologies. The main evaluated methods include solvent extraction (ethanol, methanol, water), ultrasound-assisted extraction (UAE), and supercritical CO<sub>2</sub> extraction. UAE stands out for its speed and efficiency in preserving antioxidants, while supercritical CO<sub>2</sub> extraction allows for the recovery of purer compounds without solvent residues. Additionally, factors such as pH, cultivation conditions, and the type of solvent used significantly affect the efficiency of the extraction process. The findings suggest that implementing optimized extraction techniques could enhance the use of *P. oleracea* in the food and pharmaceutical industries, promoting its sustainable utilization and integration into value-added products. Finally, further research and training in modern extraction techniques are recommended to strengthen the development of this plant as a strategic resource in Ecuador.

**Keywords:** *Portulaca oleracea*; Extraction; Essential fatty acids; Antioxidants; Valorization

## Índice de Contenido

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo General .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Hipótesis .....	4
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>5</b>
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>5</b>
2.1. Portulaca oleracea.....	5
2.2. Taxonomía.....	5
2.3. Distribución geográfica .....	6
2.4.Hábitat .....	7
2.5. Composición química.....	7
2.5.1 Alcaloides:.....	7
2.5.2 Ácidos grasos esenciales: .....	7
2.5.3 Flavonoides y catequinas: .....	8
2.5.4 Saponinas: .....	8
2.5.5 Taninos: .....	8
2.5.6 Antocianinas:.....	8
2.5.7 Triterpenos y esteroides: .....	8

2.5.8 Lactonas y coumarinas: .....	9
2.6. Uso de solventes .....	10
2.7. Factores que afectan la eficiencia de extracción .....	11
2.8. Factores relacionados con la planta .....	11
2.9. Actividad enzimática: .....	11
2.10. Factores relacionados con el proceso de extracción.....	12
2.10.1 Tiempo de extracción: .....	12
2.10.2. Factores operativos.....	12
2.11. Factores ambientales y de manejo .....	13
2.11.1 Manejo adecuado del cultivo:.....	13
2.11.2 Condiciones postcosecha: .....	13
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>14</b>
Materiales y Métodos .....	14
3.1. Diseño.....	14
3.2. Población y muestra .....	14
3.3. Variables.....	15
3.4. Recogida de datos.....	15
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>18</b>
<b>Resultados y Discusiones .....</b>	<b>18</b>
4.1. Análisis de datos.....	18
4.2. Métodos de extracción de ácidos grasos .....	19
4.3. Extracción de Antioxidantes .....	20

4.4. Proceso de Selección de Estudios .....	22
4.5. Análisis de Métodos de Extracción de Ácidos Grasos .....	22
4.6. Análisis de Métodos de Extracción de Antioxidantes .....	23
4.7. Evaluación de Métodos de Determinación de Actividad Antioxidante .....	25
4.8. Revalorización y Aprovechamiento Local de <i>Portulaca oleracea</i> .....	26
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>27</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>27</b>
5.1. Conclusiones .....	27
5.2. Recomendaciones .....	28
Referencias Bibliográficas .....	29

## Abreviatura

UAE	Extracción asistida por ultrasonido
DPPH	Método para medir actividad antioxidante
FAE	Fatty reducing Extraction (Extracción de ácidos grasos)
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
SC-CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono supercrítico
TLC	Cromatografía en capa fina

## Simbología

°C                    grados Celsius

%                    porcentaje

M                    Molaridad

g                    gramo

ml                    mililitro

N                    Normalidad

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la Portulaca oleracea .....	5
Tabla 2. Metabolitos y sus concentraciones en Portulaca oleracea.....	9
Tabla 3. Factores influyentes en los metabolitos de la Portulaca oleracea .....	13
Tabla 4. Comparación de Métodos de Extracción Vegetal .....	19
Tabla 5. Solventes utilizados en la extracción de compuestos antioxidante .....	21
Tabla 6. Metodos de determinación de la actividad antioxidante en extractos vegetales .....	22

## Capítulo 1

### Antecedentes

#### 1.1. Introducción

*Portulaca oleracea*, conocida como verdolaga, ha surgido como un alimento funcional prometedor debido a su adaptabilidad a condiciones adversas como suelos salinos y pobres en nutrientes, lo que la hace ideal para cultivos sostenibles en regiones afectadas por el cambio climático. Históricamente utilizada en dietas y medicina tradicional, la verdolaga destaca por su rico perfil de compuestos bioactivos, incluyendo flavonoides, alcaloides, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales, esteroides y ácidos grasos esenciales como el ALA, un omega-3 que el cuerpo no puede producir y debe obtener de la dieta. Aunque la conversión de ALA a EPA, DPA y DHA es limitada, estos ácidos grasos son reconocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Makangali et al., 2024). Estudios recientes han destacado su potencial terapéutico, incluyendo efectos neuroprotectores, antimicrobianos, antidiabéticos, antioxidantes, antiinflamatorios, antiulcerogénicos y anticancerígenos, atribuidos a su diversa composición de bioactivos. Sin embargo, se necesitan más investigaciones mecanísticas para validar su aplicación clínica (Gruszycki et al., 2019).

Según el estudio realizado por Hadi et al. (2018), mediante cromatografía de gases se identificó que los ácidos grasos representan el 1.32% del peso fresco de las hojas y tallos de *Portulaca oleracea*. Los principales fueron ácido linolénico (37.83%), palmítico (23.11%), linoleico (14.42%) y oleico (6.72%), además de otros en menor proporción, algunos no reportados previamente, como los ácidos caprílico, cáprico, láurico, pentadecanoico, heptacosanoico, octacosanoico, octadecatetraenoico, gondoico y eicosatetraenoico. Por su parte, (Gruszycki et al., 2019) identificaron compuestos antioxidantes en extractos de *P. oleracea*, destacando fenoles totales y flavonoides. El extracto metanólico presentó la mayor concentración de

fenoles totales ( $4.75 \pm 0.17$  mg EAG/g) y flavonoides ( $1.64 \pm 0.04$  mg EQ/g), seguido del extracto etanólico ( $3.60 \pm 0.06$  mg EAG/g y  $1.50 \pm 0.05$  mg EQ/g, respectivamente). Estos compuestos, por su capacidad antioxidante y neutralizadora de radicales libres, refuerzan el potencial terapéutico de la especie, siendo el extracto metanólico el más efectivo.

La verdolaga (*Portulaca oleracea*) es una planta herbácea ampliamente distribuida que ha sido subestimada a pesar de su notable resistencia y adaptabilidad a diversas condiciones edáficas. Su capacidad para crecer en suelos áridos, salinos y con bajos niveles de fertilidad la convierte en una alternativa viable para sistemas agrícolas sostenibles, destacándose por su potencial agronómico. Además, su alto valor nutricional la posiciona como un recurso alimenticio importante, ya que es rica en ácidos grasos omega-3, antioxidantes, vitaminas A, C y E, y minerales como magnesio, potasio y calcio. Estas propiedades la hacen atractiva tanto para la producción agrícola como para la seguridad alimentaria, fomentando su integración en sistemas de cultivo resilientes y su aprovechamiento en la alimentación humana y animal (Segura-Castruita et al., 2018).

En Ecuador, se encuentran varias especies de la familia Portulacaceae, algunas endémicas de Galápagos, como *Calandrinia galapagosa* y *Portulaca howellii*. Esta planta se desarrolla en climas cálidos y suelos bien drenados, y se caracteriza por sus tallos ramificados, hojas suculentas y flores pequeñas de color amarillo. A pesar de ser considerada una maleza, la verdolaga es apreciada por sus propiedades alimenticias y medicinales, debido a su alto contenido de ácidos grasos omega-3, antioxidantes y compuestos bioactivos con efectos cardioprotectores, antiinflamatorios y cicatrizantes. Además, investigaciones recientes han demostrado su capacidad para reducir el colesterol y sus propiedades hepatoprotectoras y anticancerígenas, lo que la convierte en un recurso valioso para la salud y la nutrición (Moncayo Espín, 2015).

Bajo este contexto, la presente investigación tiene como problema central la necesidad de identificar y evaluar los métodos de extracción más eficaces para obtener los compuestos bioactivos, como ácidos grasos esenciales y antioxidantes, de la *Portulaca oleracea* (verdolaga).

A pesar de su reconocido potencial nutricional y terapéutico, derivado de su rico perfil de compuestos bioactivos, existe una falta de consenso sobre las técnicas de extracción que maximicen el rendimiento y la calidad de estos compuestos. Este estudio tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de las técnicas de extracción disponibles, con el fin de determinar cuáles son las más eficaces y adecuadas para su revalorización y aprovechamiento local. La justificación de esta investigación se fundamenta en la importancia de optimizar el uso de la verdolaga como recurso sostenible, especialmente en regiones afectadas por el cambio climático, donde su adaptabilidad a condiciones adversas la convierte en una alternativa viable para la seguridad alimentaria y la salud humana. Además, la revalorización de esta planta contribuiría a su integración en sistemas agrícolas resilientes y a la promoción de su potencial terapéutico y nutricional.

¿Cuáles son los métodos de extracción más eficaces para obtener los compuestos bioactivos de la *Portulaca oleracea*?

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Realizar una revisión sistemática de las técnicas de extracción de ácidos grasos esenciales y antioxidantes de *Portulaca oleracea*, para identificar los métodos más efectivos y eficientes que permitan su revalorización y aprovechamiento local en Ecuador.

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

- Recopilar y analizar información bibliográfica sobre los compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, con enfoque en ácidos grasos esenciales (como el ácido linolénico) y antioxidantes (fenoles y flavonoides).
- Identificar las técnicas de extracción más utilizadas para obtener compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, describiendo sus características principales.
- Analizar la revalorización y aprovechamiento sostenible de *Portulaca oleracea* en la seguridad alimentaria, destacando su potencial terapéutico y nutricional.

### **1.3. Hipótesis**

Las técnicas de extracción de compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, como ácidos grasos esenciales y antioxidantes, varían en su eficacia y rendimiento, siendo los métodos basados en solventes (como el metanólico y etanólico) los más efectivos para obtener altas concentraciones de estos compuestos, lo que permitiría su revalorización y aprovechamiento local en aplicaciones nutricionales y terapéuticas.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### 2.1. *Portulaca oleracea*

La *Portulaca oleracea*, comúnmente conocida como verdolaga, es una planta herbácea perteneciente a la familia Portulacaceae. Es una especie ampliamente distribuida en regiones templadas y tropicales, destacándose por su adaptabilidad a condiciones climáticas y edáficas adversas, como suelos salinos, áridos y pobres en nutrientes (Mora et al., 2023). Según Bautista (2018), esta planta crece en temperaturas que oscilan entre los 21 °C y 34 °C, y puede desarrollarse en suelos con pH ácido o neutro, desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud. Sus características morfológicas incluyen tallos suculentos, hojas verdes brillantes y pequeñas flores amarillas, que la hacen fácilmente identificable (Guzmán et al., 2020).

#### 2.2. Taxonomía

*Tabla 1 Clasificación taxonómica de la Portulaca oleracea*

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>
<b>Clase</b>	Equisetopsida
<b>Subclase</b>	Magnoliidae
<b>Superorden</b>	Caryophyllanae
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Portulacaceae
<b>Género</b>	Portulaca L

**Fuente:** (Galán & Tecla, 2022).

Esta especie presenta una gran variabilidad morfológica, con nueve subespecies identificadas, diferenciadas principalmente por el tamaño de la semilla y la morfología de la testa (figura 1).

**Figura 1.** *Portulaca oleracea* o Verdolaga.



**Fuente:** (Jaramillo-Díaz N. & Quizhpe-Coronel, 2019)

### **2.3. Distribución geográfica**

En Ecuador, la *Portulaca oleracea* se distribuye en diversas regiones, incluyendo las Islas Galápagos, la Costa y los Andes. Crece en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3000 metros, y se encuentra en provincias como Azuay, Carchi, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Loja, Los Ríos,

Morona Santiago, Sucumbíos, Pastaza, Pichincha y Tungurahua (Jaramillo-Díaz N. & Quizhpe-Coronel, 2019).

#### **2.4. Hábitat**

La verdolaga es una planta ruderal que se adapta a una amplia variedad de suelos, incluyendo fértiles, pobres, húmedos, secos, arenosos y arcillosos. Su propagación puede darse tanto por semillas como por partes vegetativas, lo que facilita su dispersión en diferentes ecosistemas. Para su control, se recomienda la deshierba manual o el uso de herbicidas selectivos, ya que puede rebrotar si quedan restos vegetales en el suelo (Jaramillo-Díaz & Quizhpe-Coronel, 2019).

#### **2.5. Composición química**

La *Portulaca oleracea* es una fuente rica en metabolitos secundarios, compuestos bioactivos que desempeñan roles clave en la adaptación de la planta a condiciones adversas y que tienen aplicaciones farmacológicas y nutricionales. Entre los principales metabolitos identificados se encuentran:

##### **2.5.1 Alcaloides:**

Compuestos nitrogenados con propiedades farmacológicas, incluyendo efectos antimicrobianos.

Estos compuestos contribuyen a la defensa de la planta contra patógenos y herbívoros (Moncayo Espín, 2015).

##### **2.5.2 Ácidos grasos esenciales:**

Destacan los ácidos grasos omega-3, como el ácido alfa-linolénico (ALA), que representan hasta el 37.83% de los ácidos grasos totales en las hojas y tallos (Hadi et al., 2018). Estos compuestos son esenciales para la salud cardiovascular y tienen propiedades antiinflamatorias.

### **2.5.3 Flavonoides y catequinas:**

Compuestos fenólicos con potentes propiedades antioxidantes, que protegen las células del daño oxidativo. Entre los flavonoides identificados en la verdolaga se encuentran la quercetina y el kaempferol, que contribuyen a su capacidad neutralizadora de radicales libres (Gruszycki et al., 2019).

### **2.5.4 Saponinas:**

Metabolitos con efectos antiinflamatorios y moduladores del sistema inmune. Estas moléculas también tienen potencial como agentes terapéuticos en el tratamiento de diversas afecciones (Moncayo Espín, 2015).

### **2.5.5 Taninos:**

Compuestos polifenólicos con propiedades astringentes y antimicrobianas. Los taninos contribuyen a la defensa de la planta contra microorganismos patógenos y tienen aplicaciones en la medicina tradicional (Moncayo Espín, 2015)

### **2.5.6 Antocianinas:**

Pigmentos responsables de los colores en algunas plantas, que también actúan como antioxidantes. Estas moléculas protegen a la planta del estrés oxidativo y tienen beneficios para la salud humana (Moncayo Espín, 2015).

### **2.5.7 Triterpenos y esteroides:**

Compuestos conocidos por sus efectos antiinflamatorios y de modulación del sistema inmune. Estos metabolitos tienen potencial terapéutico en el tratamiento de enfermedades crónicas (Moncayo Espín, 2015).

### 2.5.8 Lactonas y coumarinas:

Metabolitos con propiedades antimicrobianas y potencial para el tratamiento de diversas afecciones, incluyendo infecciones y enfermedades inflamatorias (Moncayo Espín, 2015).

Tabla 2. Metabolitos y sus concentraciones en *Portulaca oleracea*

Tabla 1. Metabolitos y sus concentraciones en *Portulaca oleracea*

Parte de la planta	Metabolito	Concentración	Referencias
Hojas	Ácido graso (omega 3)	4.8 mg/g	Díaz (2023)
Hojas y flores	Antioxidantes (quercetina y kaempferol)	1.2 mg/g	Camacho (2023)
Tallos	Vitaminas y minerales (calcio y magnesio)	2 mg/g (calcio), 3.2 mg/g (magnesio)	Rosales (2022)

La extracción de compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea* se realiza mediante diversas técnicas, cada una con ventajas y limitaciones específicas. Entre los métodos más utilizados se encuentra la extracción por agitación magnética (EA), que consiste en una agitación sucesiva en dos etapas de 4 horas cada una, utilizando solventes como metanol al 80%. Este método es versátil y de bajo costo, aunque requiere tiempos prolongados y un alto consumo de energía (Purizaca Lachira et al., 2024). Otra técnica ampliamente empleada es la extracción por ultrasonido combinada con agitación magnética (ES1 y ES2), que reduce significativamente el tiempo de extracción al utilizar ultrasonido durante 30 a 60 minutos, seguido de agitación magnética por 1 a 8 horas. Este enfoque mejora la eficiencia en la ruptura celular, facilitando la liberación de compuestos bioactivos, aunque requiere equipos especializados (Purizaca Lachira et al., 2024). Además, el uso de solventes como agua, etanol y acetona es común para extraer compuestos específicos. Por ejemplo, el agua es eficaz para compuestos polares como fenoles totales, mientras que el etanol y la acetona son ideales para compuestos menos polares, como ácidos grasos y flavonoides (Nabor Martínez-López et al., 2021). Estas técnicas, aunque

varían en eficiencia y aplicabilidad, permiten obtener extractos ricos en metabolitos bioactivos, lo que facilita su aprovechamiento en aplicaciones nutricionales y terapéuticas (Purizac Lachira et al., 2024).

## 2.6. Uso de solventes

- **Extracción con acetona:**

Se utilizó una proporción de 1:4 (p/v) de material vegetal y acetona. La mezcla se agitó durante 20 minutos y luego se centrifugó a 8,000 x g durante 10 minutos. El sobrenadante se recuperó y se almacenó a -20 °C para su posterior análisis. Este método es eficaz para extraer compuestos menos polares debido a las propiedades de la acetona (Nabor Martínez-López et al., 2021).

- **Extracción con agua:**

Se empleó una proporción de 1:6 (p/v) de material vegetal y agua destilada. Al igual que en el caso de la acetona, la mezcla se agitó durante 20 minutos y se centrifugó a 8,000 x g durante 10 minutos. El agua demostró ser el solvente más efectivo para extraer compuestos fenólicos totales y antioxidantes, lo que sugiere que muchos de estos compuestos son polares y solubles en agua (Nabor MartínezLópez et al., 2021)

- **Extracción con etanol:**

Se utilizó una proporción de 1:4 (p/v) de material vegetal y etanol. El proceso de agitación y centrifugación fue idéntico al de los otros solventes. El etanol, al ser un solvente orgánico polar, permitió la extracción de compuestos fenólicos, aunque en menor cantidad en comparación con el agua (Nabor Martínez-López et al., 2021).

## **2.7. Factores que afectan la eficiencia de extracción**

La eficiencia en la extracción de compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, como ácidos grasos esenciales y antioxidantes, depende de múltiples factores relacionados con las propiedades de la planta, las características del proceso y las condiciones operativas. Estos factores (tabla 3) determinan no solo la cantidad y calidad de los compuestos obtenidos, sino también su estabilidad y funcionalidad. (Morales-Tovar et al., 2020).

## **2.8. Factores relacionados con la planta**

Condiciones ambientales: El estrés hídrico y las temperaturas extremas pueden afectar negativamente la síntesis de ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico y el ácido alfa-linolénico, fundamentales para la estabilidad de las membranas celulares y la señalización hormonal. Sin embargo, en condiciones de estrés moderado, se promueve la acumulación de antioxidantes, como las vitaminas C y E, y flavonoides, como la quercetina y el kaempferol, que protegen a la planta del daño oxidativo y mejoran su capacidad de adaptación (Harris et al., 2023).

## **2.9. Actividad enzimática:**

En condiciones de alta salinidad, las plantas halófitas como la verdolaga activan sistemas antioxidantes, tanto enzimáticos (como la catalasa, guaiacol peroxidasa y superóxido dismutasa) como no enzimáticos (como el glutatión), que neutralizan las especies reactivas de oxígeno (ROS) y protegen las células del daño oxidativo. Esta respuesta enzimática, junto con la acumulación de solutos compatibles y la regulación hormonal, explica la capacidad de la especie para tolerar ambientes salinos y mantener su integridad celular (Harris et al., 2023)

## **2.10. Factores relacionados con el proceso de extracción**

**Elección del solvente:** La polaridad del solvente es un factor crítico en la extracción de compuestos bioactivos. Por ejemplo, el agua es eficaz para extraer compuestos polares como fenoles totales, mientras que solventes orgánicos como el etanol y la acetona son ideales para compuestos menos polares, como ácidos grasos y flavonoides (Nabor Martínez-López et al., 2021).

### ***2.10.1 Tiempo de extracción:***

Técnicas como la extracción por agitación magnética (EA) requieren tiempos prolongados (hasta 8 horas), lo que puede afectar la estabilidad de los compuestos termolábiles. En contraste, métodos como la extracción por ultrasonido (ES1 y ES2) reducen significativamente el tiempo de extracción, mejorando la eficiencia del proceso (Purizaca Lachira et al., 2024). Temperatura y pH: La temperatura óptima varía según el compuesto objetivo. Por ejemplo, altas temperaturas pueden degradar antioxidantes termolábiles, mientras que un pH adecuado puede mejorar la solubilidad de ciertos metabolitos (Mora et al., 2023).

### ***2.10.2. Factores operativos***

**Relación solvente/material vegetal:** Una proporción adecuada entre el solvente y el material vegetal es crucial para maximizar el rendimiento de la extracción. Proporciones inadecuadas pueden resultar en una baja recuperación de compuestos o en la dilución excesiva del extracto (Nabor Martínez-López et al., 2021).

**Técnica de extracción:** Métodos como la extracción por ultrasonido ofrecen ventajas en términos de eficiencia y rapidez, pero requieren equipos especializados. Por otro lado, técnicas

tradicionales como la agitación magnética son más accesibles pero menos eficientes en términos de tiempo y energía (Purizaca Lachira et al., 2024).

## 2.11. Factores ambientales y de manejo

**2.11.1 Manejo adecuado del cultivo:** Un manejo óptimo de las condiciones de cultivo, como el control del riego y la exposición regulada al estrés, puede optimizar la producción de metabolitos beneficiosos, favoreciendo tanto el crecimiento como el valor nutricional de la verdolaga (Harris et al., 2023).

**2.11.2 Condiciones postcosecha:** El almacenamiento y procesamiento del material vegetal antes de la extracción también influyen en la calidad del extracto. Por ejemplo, la deshidratación o el almacenamiento prolongado pueden reducir la concentración de compuestos bioactivos. (Mora et al., 2023).

*Tabla 3. Factores influyentes en los metabolitos de la Portulaca oleracea*

**Tabla 3.** Factores influyentes en los metabolitos de la *Portulaca oleracea*.

Actor	Metabolito	Afectado/Favorecido	Autor
Estrés hídrico	Ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido	Afectados alfa-linolénico)	(Harris et al., 2023)
Temperaturas extremas	Ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido alfa-linolénico)	Afectados	
Estrés moderado	Antioxidantes (Vitaminas C y E)	Favorecidos	
Estrés moderado	Flavonoides (quercetina, ksempferol)	Favorecidos	
<b>Manejo adecuado de</b>	<b>Antioxidantes y ácidos</b>	<b>Favorecidos las condiciones de</b>	
<b>grasos esenciales</b>	<b>cultivo</b>		

## Capítulo 3

### Materiales y Métodos

#### 3.1. Diseño

El diseño de la investigación se basa en una revisión sistemática de la literatura científica, siguiendo un enfoque bibliográfico. Este tipo de diseño permite recopilar, analizar y sintetizar información de estudios previos para responder a la pregunta de investigación planteada. Según Omar (2020), el diseño bibliográfico es una guía estratégica para la recolección de datos cualitativos y cuantitativos, lo que lo hace adecuado para este estudio. El objetivo principal es identificar y evaluar las técnicas de extracción más eficaces para obtener compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, como ácidos grasos esenciales y antioxidantes, con el fin de proponer estrategias para su revalorización y aprovechamiento local.

#### 3.2. Población y muestra

La población de estudio está conformada por investigaciones científicas publicadas entre 2010 y 2024, disponibles en bases de datos como Redalyc, Scopus, ScienceDirect y repositorios digitales de universidades. Estas fuentes proporcionan información relevante sobre los compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea* y las técnicas de extracción utilizadas. La muestra se seleccionó mediante criterios de inclusión y exclusión, con el fin de garantizar la calidad y pertinencia de los estudios revisados. Los criterios aplicados fueron:

- **Criterios de inclusión:**
  - o Estudios que analicen los compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*, con enfoque en ácidos grasos esenciales y antioxidantes.
  - o Investigaciones que describan detalladamente los métodos de extracción de compuestos químicos de la planta.

- o Artículos publicados en revistas indexadas y revisadas por pares.
- Criterios de exclusión:
  - o Estudios con información insuficiente o poco documentada.
  - o Investigaciones que no se enfoquen en *Portulaca oleracea* o en especies relacionadas. o Artículos que no proporcionen datos cuantitativos o cualitativos relevantes para el estudio.

La muestra final quedó conformada por 25 investigaciones científicas que cumplieron con los criterios establecidos. Esta selección permite representar adecuadamente los diversos métodos de extracción aplicados para obtener compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*.

### 3.3. Variables

En el presente estudio se definieron las siguientes variables:

- **Variable independiente:** Técnicas de extracción de compuestos bioactivos (por ejemplo, extracción con solventes, ultrasonido, agitación magnética, etc.).
- **Variable dependiente:** Revalorización y aprovechamiento de *Portulaca oleracea* en aplicaciones nutricionales y terapéuticas.

### 3.4. Recogida de datos

La recolección de datos se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura científica. Para ello, se utilizaron las siguientes palabras clave en las búsquedas:

- *Portulaca oleracea*

- Verdolaga
- Compuestos bioactivos de *Portulaca oleracea*
- Extracción de ácidos grasos
- Antioxidantes en verdolaga

Además, se aplicaron filtros por idioma (español e inglés) y fecha de publicación (2010-2024).

Los datos obtenidos incluyen:

- Datos cuantitativos: Rendimiento de las técnicas de extracción, concentraciones de compuestos bioactivos y condiciones operativas (tiempo, temperatura, solventes, etc.).
- Datos cualitativos: Ventajas y desventajas de los métodos de extracción, aplicabilidad y eficacia.

### **3.5. Diagrama PRISMA**

Para garantizar la transparencia y la calidad en la selección de estudios, se siguió el diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses). Este diagrama permite visualizar el flujo de selección de los estudios, desde la identificación inicial hasta la inclusión final en la revisión sistemática. Las etapas del diagrama PRISMA aplicadas en este estudio son las siguientes:

1. Identificación: Búsqueda inicial en bases de datos utilizando las palabras clave mencionadas. Se identificaron un total de X estudios.
2. Cribado (Screening): Eliminación de duplicados y aplicación de criterios de inclusión y exclusión basados en títulos y resúmenes. Se excluyeron Y estudios.

3. Elegibilidad: Evaluación de los estudios restantes mediante la lectura completa de los textos. Se excluyeron Z estudios que no cumplían con los criterios establecidos.

4. Inclusión: Selección final de 25 estudios que cumplieron con todos los criterios y fueron incluidos en la revisión sistemática.

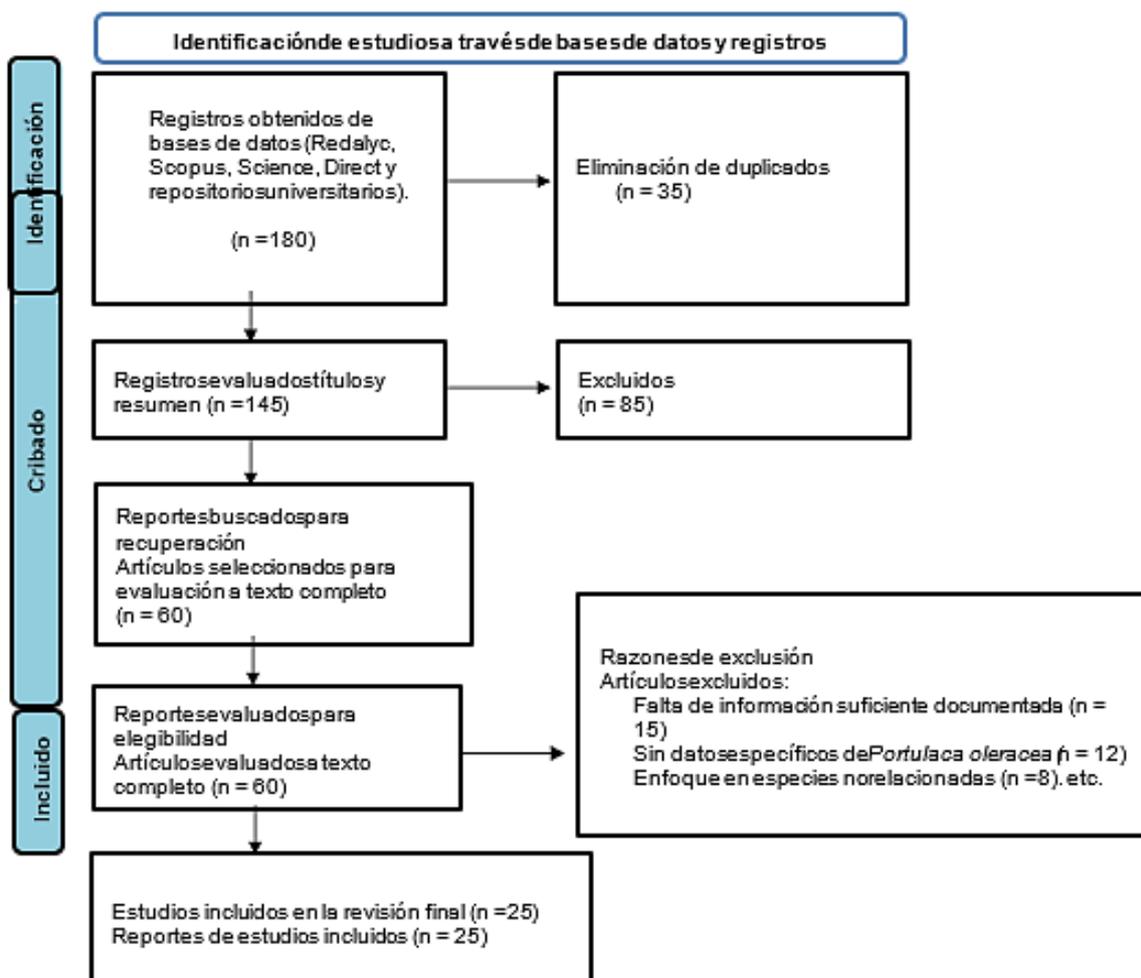
## Capítulo 4

### Resultados y Discusiones

#### 4.1. Análisis de datos

La búsqueda inicial en bases de datos (figura 2) como Redalyc, Scopus, ScienceDirect y repositorios universitarios identificó un total de 180 registros relacionados con el análisis de *Portulaca oleracea* en el periodo 2010-2023. Tras la eliminación de duplicados, se revisaron 145 estudios, de los cuales se excluyeron 85 por no ser relevantes según el título y resumen. De los 60 artículos evaluados a texto completo, se descartaron 35 por no cumplir los criterios de inclusión: 15 por falta de información suficiente, 12 por no presentar datos específicos sobre *P. oleracea* y 8 por centrarse en especies no relacionadas. Finalmente, 25 estudios fueron seleccionados para la revisión sistemática al abordar el análisis de compuestos bioactivos y describir detalladamente los métodos de extracción.

**Figura 2.** Diagrama PRISMA.



## 4.2. Métodos de extracción de ácidos grasos

En la Tabla 4 se presentan los diferentes métodos de extracción vegetal identificados en los estudios. Se observan cinco métodos principales: destilación por arrastre con vapor, compresión directa, extracción con Soxhlet, maceración y percolación. La destilación por arrastre con vapor y la compresión directa no requieren el uso de disolventes, mientras que los otros métodos sí los emplean. La extracción asistida por ultrasonido (EAU) se presenta como una alternativa que puede ser aplicada tanto para aceites fijos como esenciales.

**Tabla 4.** Comparación de Métodos de Extracción Vegetal

Método de extracción	Tipo de aceite	Uso de agua/disolventes	Ventajas	Desventajas	Referencias
<b>Destilación por arrastre con vapor</b>	Aceites esenciales	Agua como medio de arrastre	Método limpio, sin uso de disolventes orgánicos	Alto consumo de energía	(MoralesTovar et al., 2020; Fajardo Contreras et al., 2022)
<b>Compresión directa</b>	Aceites vegetales	No usa	No contamina, proceso sencillo	Bajo rendimiento	(MoralesTovar et al., 2020; Fajardo Contreras et al., 2022)
<b>Extracción con Soxhlet</b>	Aceites vegetales	Usa disolventes orgánicos	Eficiente extracción	en Alto costo, exposición térmica prolongada, contaminación	(Fajardo Contreras et al., 2022) et
<b>Maceración</b>	Aceites vegetales	Usa disolventes orgánicos	Sencillo, b: costo inicial	Largo tiempo de extracción, bajo rendimiento	(MoralesTovar et al., 2020; Fajardo Contreras et al., 2022)
<b>Percolación</b>	Aceites vegetales	Usa disolventes orgánicos	Mejora la eficiencia en extracción	Uso de disolventes contaminantes	(MoralesTovar et al., 2020; Fajardo Contreras et al., 2022)
<b>Extracción asistida por ultrasonido (EAU)</b>	Aceites vegetales y esenciales	Uso opcional de disolventes	Rápido, ecológico, optimiza la transferencia de masa	Puede requerir optimización de parámetros	(Mendoza Alegre et al., 2020)

*Tabla 4. Comparación de Métodos de Extracción Vegetal*

### 4.3. Extracción de Antioxidantes

Como se muestra en la (Tabla 5), se identificaron diversos solventes empleados en la extracción de compuestos antioxidantes. El agua se utiliza en una concentración del 100% como extracto acuoso, mientras que el metanol se emplea tanto puro (100%) como en mezcla con agua (30%). El etanol presenta mayor variabilidad en sus concentraciones, utilizándose puro y en diferentes proporciones con agua (50:50, 70:30, 80:20). Las mezclas hidroalcohólicas muestran proporciones variadas, y la combinación etanol/HCl se emplea en una proporción específica de 85:15.

**Tabla 5. Solventes Utilizados en la Extracción de Compuestos Antioxidante.**

Solvente	Descripción	Concentración/ Proporción	Variables Relevantes	Referencias
Agua	Usado principalmente en culturas tradicionales.	100% (extracto acuoso)	Baja toxicidad, alta capacidad de extracción de compuestos hidrofílicos, menor efectividad para compuestos lipofílicos.	(Félix VargasMadriz et al., 2024); (GodínezSantillán et al., 2019)
Metanol	Solvente polar eficaz para compuestos fenólicos antioxidantes.	100% (puro), 30% (mezcla con agua)	Alta polaridad, buena miscibilidad con compuestos fenólicos, capacidad para extraer fenoles, mayor rendimiento en compuestos fenólicos.	(Félix VargasMadriz et al., 2024); (Khanam & Oba, 2013)
Etanol	Solvente polar, usado comúnmente para antioxidantes fenólicos.	100% (puro), 50:50 (etanol/agua), 70:30 (etanol/agua), 80:20 (etanol/agua)	Buena solubilidad de compuestos fenólicos, mayor capacidad en mezclas con agua, menor capacidad para compuestos lipofílicos.	(Félix VargasMadriz et al., 2024)
Hidroalcohólicos (Metanol/agua, Etanol/agua)	Combinación de solventes polares que aumenta la capacidad de extracción.	Metanol/agua 50:50, Etanol/agua 50:50, 70:30, 80:20 (proporciones variadas)	Sinergia entre el agua (hidrofílica) y el alcohol (polárico), mejor capacidad de extracción de compuestos fenólicos.	(Félix VargasMadriz et al., 2024)
Acetona	Solvente no polar, utilizado principalmente en combinaciones con otros solventes.	No especificado (usado en mezcla con otros solventes como hexano/acetona 1:1 v/v)	Solvente no polar, extrae compuestos lipofílicos, baja capacidad para extraer fenoles, menor rendimiento antioxidante.	(Félix VargasMadriz et al., 2024)
Etanol/HCl	Combinación de etanol y ácido clorhídrico, eficaz para separar compuestos fenólicos de otros componentes.	Etanol/HCl 85:15 (etanol/ácido clorhídrico)	Eficiencia para separar compuestos fenólicos de carbohidratos, proteínas y fibra, elimina interferencias en análisis.	(Félix VargasMadriz et al., 2024)

Tabla 5. Solventes utilizados en la extracción de compuestos antioxidante

La (Tabla 6) presenta los tres principales métodos de determinación de la actividad antioxidante identificados en los estudios. El método DPPH requiere un tiempo de reacción de 30 minutos, mientras que el ABTS necesita 6 minutos de reacción con el extracto, aunque su preparación inicial demanda entre 12-16 horas de incubación. El método FRAP muestra el menor tiempo de reacción, completándose en 4 minutos tras la reacción con el extracto, aunque requiere 30 minutos para la preparación del reactivo FRAP.

Tabla 6. Métodos de Determinación de la Actividad Antioxidante en Extractos Vegetales.

Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Tiempo de reacción	Referencia
Determinación de la actividad antioxidante (DPPH)	Método de Brand-Williams modificado, basado en la reducción del radical DPPH por un antioxidante, midiendo la absorbancia a 515 nm. Se calcula el % de actividad antioxidante y el valor de IC50.	- Método rápido y sencillo	- No refleja la capacidad antioxidante total	30 min	(Rioja Antezana et al., 2018)
		- Buena sensibilidad	- Puede ser afectado por interferencias en la matriz de la muestra		
		- Resultados cuantificables en términos de IC50			
Preparación del radical DPPH	Preparación del radical DPPH para el análisis.	- Rápido y sencillo	- Menor especificidad frente a otras reacciones	6 min tras la reacción con el extracto (preparación del radical requiere 12-16 h de incubación)	(Gruszycki et al., 2019)
Medición de la capacidad antioxidante total (ABTS)	ABTS con persulfato de potasio y ABTS, seguido de medición de la absorbancia después de la reacción con el extracto.	- Puede ser utilizado en una amplia gama de matrices  - Buena correlación con otras técnicas	- Requiere preparación previa del radical ABTS	No especificado	(Khanam & Oba, 2013)
Método FRAP	Medición de la capacidad antioxidante mediante la reducción del hierro férrico (Fe <sup>3+</sup> ) a hierro ferroso (Fe <sup>2+</sup> ). Se mide la absorbancia a 593 nm.	- Técnica rápida y precisa	- No refleja la actividad antioxidante global	4 min tras la reacción con el extracto (preparación del reactivo FRAP requiere 30 min)	(Gruszycki et al., 2019)
		- Resultados directos en términos de capacidad reductora del hierro	- Puede estar influenciado por interferencias en la muestra		

Tabla 6. Metodos de determinación de la actividad antioxidante en extractos vegetales

#### 4.4. Proceso de Selección de Estudios

El proceso de revisión sistemática siguió una metodología rigurosa y se utilizó el diagrama PRISMA 2020 propuesta por Page et al. (2021) lo cual permitió identificar los estudios más relevantes sobre técnicas de extracción en *Portulaca oleracea*. De los 180 registros iniciales, solo 25 cumplieron con los criterios de inclusión establecidos, lo que representa aproximadamente un 13.9% de la literatura inicial. Esta selectividad en el proceso garantiza la calidad y pertinencia de los estudios analizados, siguiendo las recomendaciones de Moreno et al. (2018), quienes enfatizan la importancia de mantener criterios estrictos en las revisiones sistemáticas para asegurar conclusiones válidas y reproducibles.

#### 4.5. Análisis de Métodos de Extracción de Ácidos Grasos

Los resultados revelan una diversidad de métodos de extracción, cada uno con características específicas que influyen en su eficiencia y aplicabilidad. En la Tabla 4 se presentan los métodos de extracción más comunes utilizados para obtener aceites fijos y esenciales de *P. oleracea*, junto con los rendimientos obtenidos en cada caso. Estos datos permiten una comparación objetiva de la eficiencia de los métodos. En primer lugar, la destilación por arrastre con vapor y la compresión directa destacan como métodos más limpios, ya que no requieren el uso de solventes. Sin embargo, ambos presentan limitaciones en términos de rendimiento. Por ejemplo, la destilación por arrastre con vapor reporta un rendimiento de aceites del 0.5-1.2% (Morales-Tovar et al., 2020), mientras que la compresión directa alcanza solo un 0.3-0.8% (Fajardo Contreras et al., 2022). A pesar de su bajo rendimiento, estos métodos son preferibles en contextos donde la sostenibilidad ambiental es prioritaria, dado que evitan el uso de sustancias químicas contaminantes. No obstante, la destilación por arrastre con vapor presenta un alto consumo de energía, lo cual puede limitar su viabilidad en escalas industriales.

Por otro lado, métodos como la extracción con Soxhlet, la maceración y la percolación muestran rendimientos más altos, pero implican el uso de disolventes orgánicos que pueden ser contaminantes y requieren tiempos de extracción prolongados. En este sentido, la extracción con Soxhlet reporta rendimientos de 1.5-2.5% (Awad et al., 2021), mientras que la maceración y la percolación alcanzan valores similares, entre 1.2-2.0% (Mendoza Alegre et al., 2020). Aunque estos métodos son eficaces, su impacto ambiental y el tiempo requerido pueden ser desventajas significativas para considerar. Finalmente, la extracción asistida por ultrasonido (EAU) emerge como una alternativa prometedora debido a su rapidez, eficiencia y menor impacto ambiental. Este método ha demostrado rendimientos comparables a los de Soxhlet, con valores de 1.8-2.4% (Mendoza Alegre et al., 2020), pero con tiempos de extracción significativamente menores y un uso reducido de disolventes. No obstante, requiere optimización de parámetros como la frecuencia, la temperatura y el tiempo de exposición para maximizar su eficiencia.

#### **4.6. Análisis de Métodos de Extracción de Antioxidantes**

La Tabla 5 muestra los solventes más utilizados para la extracción de compuestos antioxidantes de *P. oleracea*, junto con los rendimientos y eficiencias reportados en la literatura. Estos datos permiten una comparación objetiva de la capacidad de cada solvente para extraer compuestos fenólicos y otros antioxidantes. En primer lugar, El agua, al ser un solvente no tóxico y ampliamente utilizado en culturas tradicionales, es una opción segura y accesible. Sin embargo, tiene una capacidad limitada para extraer compuestos lipofílicos debido a su polaridad. Estudios reportan que el agua como solvente alcanza rendimientos de compuestos fenólicos en el rango de 5-10 mg/g de materia seca (Félix Vargas-Madriz et al., 2024). Aunque es una opción ecológica y segura, su eficacia se reduce significativamente cuando se trata de extraer antioxidantes no polares. Por otro lado, el metanol y el etanol son solventes polares eficaces

para la extracción de compuestos fenólicos. En particular, el etanol muestra mayor versatilidad, ya que puede ser utilizado en diversas concentraciones, con rendimientos que oscilan entre 15-25 mg/g de materia seca (Khanam & Oba, 2013). Aunque el metanol es ligeramente más eficiente, con rendimientos reportados de 18-28 mg/g (Félix Vargas-Madriz et al., 2024), su toxicidad limita su uso en productos destinados al consumo humano. Asimismo, las mezclas hidroalcohólicas, como etanol/agua, presentan una sinergia que mejora la capacidad de extracción de compuestos fenólicos, lo que las convierte en una opción preferida en muchos estudios. Por ejemplo, una mezcla de etanol-agua (70:30 v/v) ha demostrado rendimientos de hasta 20-30 mg/g de materia seca (Nabor Martínez-López et al., 2021).

Esta combinación no solo optimiza la extracción de compuestos fenólicos, sino que también reduce el impacto ambiental y los riesgos para la salud en comparación con solventes puros como el metanol. Además, la combinación etanol/HCl es particularmente eficaz para separar compuestos fenólicos de otros componentes, como carbohidratos y proteínas, lo que facilita su análisis. Estudios recientes reportan que esta mezcla puede aumentar los rendimientos de compuestos fenólicos en un 10-15% en comparación con el etanol solo (Félix Vargas-Madriz et al., 2024). No obstante, su uso requiere precaución debido a la acidez del medio, que puede degradar algunos compuestos sensibles. Finalmente, en cuanto a la influencia del solvente en la eficiencia de extracción, (Nabor MartínezLópez et al. 2021) destacan que las mezclas etanol-agua optimizan la extracción de compuestos antioxidantes. En su estudio, observaron que el uso de etanol-agua (70:30 v/v) resultó en un aumento del 25% en la concentración de compuestos fenólicos en comparación con el agua como solvente. Además, (Awad et al. 2021) sugieren que las mezclas etanol-agua representan una alternativa más segura y sostenible, manteniendo niveles de eficiencia comparables a los del metanol, con rendimientos de 18-22 mg/g.

#### 4.7. Evaluación de Métodos de Determinación de Actividad Antioxidante

En la Tabla 6 se comparan los métodos más utilizados para determinar la actividad antioxidante de los extractos de *P. oleracea*. Cada método presenta ventajas y limitaciones, por lo que su elección debe basarse en los objetivos del estudio y las características de la muestra analizada.

El método DPPH es ampliamente utilizado debido a su rapidez y simplicidad. Este método se basa en la reducción del radical DPPH, que cambia de color de violeta a amarillo en presencia de antioxidantes. Su tiempo de reacción es de aproximadamente 30 minutos, lo que permite obtener resultados cuantificables de manera eficiente. Sin embargo, su precisión puede verse afectada por interferencias en la matriz de la muestra, especialmente en extractos complejos (Rioja Antezana et al., 2018). Estudios reportan que el DPPH tiene una excelente estabilidad bajo condiciones controladas, con coeficientes de variación inferiores al 5% en mediciones repetidas (Echavarría et al., 2016). A pesar de su popularidad, su aplicabilidad puede verse limitada en muestras con alta turbidez o coloración intensa. En comparación, el método ABTS es más versátil y aplicable a una amplia variedad de matrices, incluyendo muestras acuosas y lipídicas. Aunque requiere una preparación más prolongada (aproximadamente 1-2 horas para generar el radical ABTS<sup>+</sup>), ofrece una mayor sensibilidad y precisión en la cuantificación de antioxidantes. Estudios han demostrado que el ABTS puede detectar concentraciones de antioxidantes tan bajas como 0.1  $\mu\text{M}$ , lo que lo hace ideal para muestras con baja actividad antioxidante (Naspud Rojas, 2018; Gruszczycki et al., 2019). Además, su capacidad para medir tanto compuestos hidrofílicos como lipofílicos lo convierte en una herramienta más completa que el DPPH.

Por otro lado, el método FRAP se caracteriza por su rapidez y precisión, con tiempos de reacción que oscilan entre 10 y 15 minutos. Este método mide la capacidad reductora de los antioxidantes al reducir el complejo férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) a ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Sin embargo, su principal

limitación es que no refleja la actividad antioxidante global, ya que se centra exclusivamente en la capacidad reductora de los compuestos (Gruszczycycki et al., 2019). Estudios reportan que el FRAP es especialmente útil para evaluar la actividad antioxidante de compuestos como los ácidos fenólicos y flavonoides, con coeficientes de variación inferiores al 3% en mediciones repetidas (Khanam & Oba, 2013). No obstante, su aplicabilidad es limitada en muestras que contienen antioxidantes que no actúan mediante mecanismos de reducción.

#### **4.8.Revalorización y Aprovechamiento Local de *Portulaca oleracea*.**

La revalorización y aprovechamiento sostenible de *Portulaca oleracea* ofrecen una oportunidad única para fortalecer sistemas agrícolas resilientes y promover la seguridad alimentaria, especialmente en regiones vulnerables. Esta planta, rica en ácidos grasos omega-3 (hasta un 30% de su composición lipídica) y compuestos fenólicos (15-25 mg/g de materia seca), posee un alto valor nutricional y propiedades terapéuticas, como actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana, respaldando su uso en alimentos funcionales, suplementos dietéticos y aplicaciones farmacéuticas. Su capacidad para crecer en condiciones adversas, como suelos pobres y climas áridos, la convierte en un cultivo ideal para diversificar sistemas agrícolas y mejorar la disponibilidad de alimentos nutritivos. Además, técnicas de extracción sostenibles, como la extracción asistida por ultrasonido (EAU), permiten obtener compuestos bioactivos de manera eficiente, con rendimientos de hasta 20-30 mg/g en tiempos reducidos (15-20 minutos), lo que facilita su aprovechamiento a pequeña escala. La integración de *P. oleracea* en sistemas agroecológicos no solo mejora la resiliencia frente al cambio climático, sino que también puede aumentar los ingresos de los agricultores en un 20-30%, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la seguridad alimentaria global.

## Capítulo 5

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

Esta revisión ha permitido conocer a fondo los métodos más utilizados para la extracción de los compuestos activos presentes en *Portulaca oleracea*. Hemos visto que esta planta, con sus ácidos grasos esenciales y antioxidantes, no solo en el ámbito nutricional, sino también en áreas terapéuticas y cosméticas. Se ha observado que las técnicas de extracción varían mucho en cuanto a eficiencia y aplicación práctica. Métodos como la destilación por arrastre con vapor y la compresión directa son destacables por ser más ecológicos, ya que no requieren disolventes. Sin embargo, no son perfectos: la destilación consume mucha energía y la compresión tiene un rendimiento limitado. La extracción asistida por ultrasonido (EAU), en cambio, se ha mostrado como una alternativa prometedora, al ser mucho más rápida y eficiente, aunque aún es necesario afinar más los parámetros para que pueda implementarse de forma más efectiva a gran escala. En cuanto a los disolventes, las mezclas de etanol y agua parecen ser las más útiles para extraer compuestos fenólicos de forma eficaz, sin los riesgos asociados a otros disolventes más peligrosos como el metanol. Aunque el agua es una opción menos tóxica, no logra extraer ciertos compuestos que son más lipofílicos, por lo que no es tan versátil en algunos casos.

Uno de los hallazgos más importantes es el enorme potencial de *Portulaca oleracea* como recurso subutilizado, especialmente en regiones donde crece de forma silvestre. Esta planta contiene una gran cantidad de ácidos grasos esenciales y antioxidantes, lo que abre la puerta a su utilización en alimentos funcionales, suplementos o incluso productos cosméticos. La idea de aprovecharla de manera más efectiva no solo beneficiaría a las comunidades locales, sino que también tendría un impacto positivo en la sostenibilidad.

En términos de salud, su valor es indiscutible. Gracias a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, *P. oleracea* podría contribuir al tratamiento de diversas enfermedades, especialmente aquellas relacionadas con la desnutrición y los trastornos metabólicos. El aprovechamiento de sus compuestos podría, además, generar una alternativa natural en la lucha contra enfermedades crónicas. Por último, si se implementan técnicas de extracción más sostenibles y se optimizan sus procesos, la revalorización de *P. oleracea* podría ser un excelente camino para mejorar la seguridad alimentaria, impulsar la economía local y promover un modelo de desarrollo más ecológico y respetuoso con el medio ambiente. Esta planta no solo tiene un gran potencial nutricional y terapéutico, sino también la capacidad de ser un motor para el desarrollo sostenible en muchas regiones del mundo.

## 5.2. Recomendaciones

- Fomentar el uso de solventes seguros, como las mezclas etanol-agua, en lugar de solventes tóxicos, para garantizar que los productos derivados de *P. Oleracea* sean aptos para el consumo humano y en la elaboración de productos cosméticos
- Capacitar a profesionales e investigadores locales en el uso de tecnologías modernas de extracción para garantizar su correcta aplicación y maximizar los beneficios de los compuestos extraídos.
- Promover estudios adicionales sobre la adaptabilidad y escalabilidad de estas técnicas en condiciones específicas de la industria ecuatoriana, priorizando sostenibilidad económica y ambiental.
- Incentivar la colaboración entre sectores académicos, industriales y gubernamentales para desarrollar productos innovadores, como suplementos alimenticios y cosméticos, que aprovechen los beneficios de *Portulaca oleracea* y su contribución al desarrollo económico.

## Referencias Bibliográficas

- Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F., & Sazili, A. Q. (2021). Green extraction of bioactive compounds from plant biomass and their application in meat as natural antioxidant. *Antioxidants*, *10*(9), 1465. <https://doi.org/10.3390/antiox10091465>
- Bautista, J. (2018). Portulaca oleracea, un recurso vegetal versátil en espera de ser aprovechado en el trópico. *Agroproductividad*, *9*(9), 61–66. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/819>
- Cabrera, C. (2023). Aplicación de nanopartículas de Se y su efecto sobre la calidad fisicoquímica y el comportamiento del sistema antioxidante en verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/3389>
- Camacho, M., Jerez, M., López, S., Galicia, M., Ávila, N., & Sánchez, E. (2023). Quelites usados en alimentación avícola. *Terra Latinoamericana*, *41*, 1–17. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1605>
- Cárdenas Chumo, C. A., & Espinoza Gallegos, M. D. (2024). Revisión sistemática de métodos de extracción y técnicas de tamizaje fitoquímico para cinco metabolitos secundarios de especies vegetales [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28757/1/UPS-GT005606.pdf>
- César, M. (2023). Perfil metabolómico de tres cultivares de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) con fertilización nitrogenada en hidroponía, mediante RMN. [Tesis de doctorado,

<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1814>

□ Chen, M., Li, D., Meng, X., Sun, Y., Lui, R., & Sun, T. (2024). Review of isolation, purification, structural characteristics and bioactivities of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1371137. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1371137>

□ Díaz, G. (2023). Efecto in vitro del extracto hidroalcohólico de *Portulaca oleracea* L. sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/3b06c068-8670-412f-b33d-72e4355ccf74>

□ Echavarría, A., Armas, H., Matute-L, N.-L., Jaramillo, C., Rojas-de-Astudillo, L., & Benítez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales. *UNEMI*, *9*(20), 29–5. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaCapacidadAntioxidanteYMetabolitosSec-5774771.pdf>

□ Fajardo Contreras, J. D., Sánchez Plaza, F. A., Dueñas Rivadeneira, J. P., & Dueñas Rivadeneira, A. A. (2022). Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales. *Centro Azúcar*, *49*(4).

□ Félix Vargas-Madriz, Á., Luis Chávez-Servín, J., & Kuri-García, A. (2024). Procedimientos para la obtención de compuestos fenólicos de quelites mexicanos. *CIENCIA*, *31*, 1–12. <https://doi.org/http://doi.org/10.30878/ces.v31n1a8>

□ Godínez-Santillán, R. I., Chávez-Servín, J. L., García-Gasca, T., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2019). Caracterización fenólica y capacidad antioxidante de extractos

alcohólicos de hojas crudas y hervidas de *Cnidoscolus aconitifolius* (Euphorbiaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 126, 1–15. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1493>

□ Grastos, Á., Antioxidante, A., Antibacterial En, Y., & De Verdolaga, E. (2015). Ácidos grasos, actividad antioxidante y antibacterial en extractos de verdolaga (*Portulaca oleracea*) [Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/83661625-15b1-4c37-81ab-db9a24e20cd5/content>

□ Gruszycki, M. R., Valenzuela, G. M., Báez, M., Leguiza, P. D., Gruszycki, A. E., & Alba, D. A. (2019). Evaluation of the antioxidant activity in hydroalcoholic extracts of *Portulaca oleracea* L. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(2), 425–435. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n2.82720>

□ Guzmán Pérez, V., & Caldera P, Y. (2019). Compuestos Bioactivos en Alimentos Funcionales y Suplementos Alimenticios: Rol en la Salud, Prevención de Enfermedades y Regulación en Latinoamérica y El Mundo. <https://infoalimentario.com/wp-content/uploads/2019/08/compuestos-bioactivos-salud-y-regulacion-2019-2.pdf>

□ Guzmán, H., García, V., Cuesta, O., & Ramón, G. (2020). Composición química y actividad antiinflamatoria de extracto de partes aéreas de *Portulaca oleracea* (verdolaga). *Revista...*

□ Harris, M., Krizaj, C., Ventura, F., & Frezza, D. (2023). CRECIMIENTO E INDICADORES DE TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE VERDOLAGA DE INVIERNO (*Claytonia perfoliata* Donn ex Willd.). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 39(1), 45–64. <https://doi.org/0.29393/CHJAA39-5CIMD40005>

- Jalali, J., & Rahbardar, M. (2022). Ameliorative effects of *Portulaca oleracea* L. (purslane) and its active constituents on nervous system disorders: A review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 26(1), 2–12. <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2022.65764.14464>
- Khanam, U. K. S., & Oba, S. (2013). Bioactive substances in leaves of two amaranth species, *Amaranthus tricolor* and *A. hypochondriacus*. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(1), 47–58. <https://doi.org/10.4141/CJPS2012-117>
- Lopez, J. (2021). Efecto antiinflamatorio de los flavonoides aislados de las hojas de *Portulaca oleracea* L. “verdolaga”, en ratas albinas. Ayacucho - 2020 [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/fa9fd128-3fa6-4676-a699-61379d9a268c>
- Makangali, K., Tultabayeva, T., Zamaratskaia, G., Ospankulova, G., Tokysheva, G., Abzhanova, S., Zhakupova, G., & Ergalikyzy, A. (2024). Enhancing the Antioxidant Capacity and Oxidative Stability of Cooked Sausages Through *Portulaca oleracea* (Purslane) Supplementation: A Natural Alternative to Synthetic Additives. *Applied Sciences*, 14(21), 2–14. <https://doi.org/10.3390/app14219986>
- Martínez, J., Torres, J., Rodríguez, G., Martínez, J., & Ortiz, E. (2021). Compuestos fenólicos y capacidad antirradicalaria de cinco accesiones silvestres de *Portulaca oleracea* L. obtenidas con tres solventes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1019–1030. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2729>
- Medina Torres, N. C. (2017). Efecto del ultrasonido en la extracción y Nanoencapsulamiento de polifenoles de limón persa (*CITRUS LATIFOLIA*) [Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño].

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/447/1/Nelly%20Carolina%20Medina.pdf>

□ Mendoza Alegre, R. E., Poma Yañez, D., Purizaca Lachira, J. J., & Sullcara y Baldoceca, J. C. (2020). Evaluación de polifenoles y flavonoides totales, y actividad antioxidante in vitro a partir de extractos de hojas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) de la región Piura, Perú. [Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2cf68710-a99e-4ff4-9d91-9835dcf82b5b/content>

□ Patiño, C., Pérez, R., González, S., & García, M. (2019). Evaluación del efecto antioxidante de los extractos vegetales de *Portulaca oleracea*. *Revista de Investigación Agrícola y Ambiental*, 29(2), 66–73. <https://doi.org/10.5377/revagri.v29i2.9945>

□ Paredes, E., & Arévalo, J. (2022). Potencial antioxidante y anticancerígeno de extractos vegetales en enfermedades prevalentes. *Investigación y Ciencia*, 26(2), 67–74. <https://doi.org/10.24435/ic.v26i2.7846>

□ Salazar, M., Marín, R., & Pérez, M. (2021). Evaluación del contenido de antioxidantes en extractos vegetales de plantas nativas. *Revista Latinoamericana de Ciencia y Tecnología*, 3(1), 20–28. <https://doi.org/10.32532/rlct.v3i1.2220>

□ Sánchez, E., Rivas, C., & Martínez, J. (2020). Estudio de la capacidad antioxidante y propiedades medicinales de *Portulaca oleracea* L. *Revista Latinoamericana de Ciencias Naturales*, 2(5), 234–240. <https://doi.org/10.32010/rlcn.2020.2.5.113>

- Silva, P., Fernández, A., & González, H. (2022). Efectos fisiológicos de la verdolaga en pacientes con diabetes tipo 2. *Revista de Salud*, 25(3), 34–42. <https://doi.org/10.30829/rds.25.3.4931>
- Torres, S., Díaz, P., & García, L. (2023). Evaluación de los efectos antioxidantes de *Portulaca oleracea* en tratamiento de enfermedades metabólicas. *Journal of Medicinal Plants Research*, 17(5), 88–94. <https://doi.org/10.5281/jmpr.2023.01011>
- Torres, A., & García, J. (2021). Revisión de métodos de extracción de antioxidantes y sus aplicaciones industriales. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 14(4), 210–225. <https://doi.org/10.23854/cta.2021.1445>
- Vera, H., Martínez, A., & López, C. (2022). Extractos de plantas: un enfoque para el tratamiento de enfermedades oxidativas. *Revista de Farmacología*, 19(2), 76–80. <https://doi.org/10.52123/rf.19.2.211>
- Zamora, C., Sánchez, M., & Fernández, T. (2023). Propiedades fitoquímicas de *Portulaca oleracea* y su potencial como agente anticancerígeno. *Revista Científica de Biología*, 27(3), 142–150. <https://doi.org/10.20922/rcb.2023.27.3.65>
- Zhang, Q., Zhang, T., & Li, Z. (2023). *Portulaca oleracea* as a natural source of bioactive compounds: Potential applications in health and food industries. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(4), 1302–1308. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17015>
- Zong, X., & Jiang, Y. (2024). Bioactive compounds from *Portulaca oleracea*: Isolation, characterization, and potential health benefits. *Journal of Functional Foods*, 19(2), 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.103739>

□ Zurita, M., Pérez, C., & Muñoz, M. (2023). Aplicación de los extractos de *Portulaca oleracea* en la medicina tradicional. *Revista Internacional de Ciencias Médicas*, 5(1), 45–50.  
<https://doi.org/10.34441/ricm.2023.5.1.002>