

**Disolventes Naturales Eutécticos: Una Alternativa Innovadora para la Extracción  
de Flavonoides en Subproductos Alimentarios**

**Trabajo de grado para optar por título de Especialista en Alimentación y Nutrición**

**Paula Yurany Ortiz Rodríguez  
Daniela Gonzalez Chingal**

**Asesor  
Dubán Ovidio Gonzalez Álvarez  
Ingeniero de Alimentos, MSc.**

**Unilasallista Corporación Universitaria  
Facultad de Ingenierías  
Especialización en Alimentación y Nutrición  
Caldas-Antioquia  
2025**

## Tabla de Contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>6</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>11</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>14</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>17</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>18</b>
<b>Flavonoides.....</b>	<b>18</b>
<b>Definición y estructura química de los flavonoides.....</b>	<b>19</b>
<b>Importancia de los flavonoides en la industria alimentaria y la salud humana .....</b>	<b>21</b>
<b>Métodos de Extracción de Flavonoides y Polifenoles .....</b>	<b>22</b>
<b>Técnicas de extracción de flavonoides y Polifenoles.....</b>	<b>22</b>
<b>Métodos convencionales de extracción de flavonoides y Polifenoles .....</b>	<b>23</b>
<b>Extracción con disolventes orgánicos.....</b>	<b>23</b>
<b>Extracción con solventes polares y no polares. ....</b>	<b>24</b>
<b>Avances en la extracción de flavonoides utilizando disolventes naturales eutécticos         (NADES).....</b>	<b>24</b>
<b>Fundamentos y características de los disolventes naturales.....</b>	<b>25</b>
<b>Ventajas y limitaciones de su uso en comparación con los métodos convencionales.....</b>	<b>26</b>
<b>Subproductos Alimentarios como Fuente de Flavonoides.....</b>	<b>26</b>
<b>Definición y ejemplos de subproductos alimentarios.....</b>	<b>27</b>

<b>Potencial de los subproductos alimentarios como fuente económica y sostenible de flavonoides. ....</b>	<b>28</b>
<b>Aplicaciones de los Flavonoides en la Industria Alimentaria.....</b>	<b>30</b>
<b>Legislación y regulación de los flavonoides como ingredientes alimentarios. ....</b>	<b>31</b>
<b>Ley 17/2011 de Seguridad Alimentaria y Nutrición: .....</b>	<b>31</b>
<b>Reglamento (CE) N° 1333/2008: .....</b>	<b>31</b>
<b>Reglamento (CE) N° 258/97:.....</b>	<b>31</b>
<b>Ministerio de protección social: Decreto Número 3636 De 2005.....</b>	<b>32</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>33</b>
<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>35</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>42</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>43</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Extracción de compuestos de origen vegetal mediante la utilización de NADES como solventes. ....	33
---	----

## Lista De Ilustraciones

Ilustración 1. Estructura general de los flavonoides.....	17
Ilustración 2. Árbol familiar de los compuestos fenólico.....	19
Ilustración 3. Estructura básica de un flavonoide.....	19
Ilustración 4: Desperdicio de alimentos en el mundo en 2019.....	27
Ilustración 5: Promedio de desperdicio de comida.....	28

## Resumen

Los solventes auténticos son mezclas de dos o más compuestos que, al combinarse, forman un líquido con un punto de fusión más bajo que cualquiera de sus componentes individuales. El objetivo de esta monografía es evaluar la eficacia y sostenibilidad de disolventes naturales eutéticos en la extracción de flavonoides de subproductos alimentarios. La metodología incluye un análisis detallado de distintos disolventes naturales eutéticos para identificar aquellos que maximizan la extracción de flavonoides, seguido de una comparación exhaustiva con técnicas de extracción tradicionales para evaluar su eficiencia y calidad. Por último, se investigará la viabilidad de incorporar los extractos obtenidos en productos alimentarios, valorando su impacto en las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos; para lo cual, se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos como Scopus, EBSCO, Science direct, PUBMED. Este enfoque innovador no solo promete mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los procesos de extracción de compuestos bioactivos, sino también contribuir a la valorización de subproductos alimentarios, reduciendo el desperdicio y fomentando la economía circular en la industria. Con potenciales beneficios ambientales, económicos y de salud, con esta monografía se pretende brindar conocimiento de vanguardia relacionada con la investigación aplicada, ofreciendo nuevas oportunidades para el desarrollo de alimentos funcionales y suplementos nutricionales basados en principios de sostenibilidad y autenticidad.

**Palabras clave:** solventes auténticos, extracción, flavonoides, industria alimentaria.

## **Abstract**

Genuine solvents are mixtures of two or more compounds which, when combined, form a liquid with a lower melting point than any of its individual components. The aim of this monograph is to evaluate the efficacy and sustainability of authentic natural solvents in the extraction of flavonoids from food by-products. The methodology includes a detailed analysis of different authentic natural solvents to identify those that maximize flavonoid extraction, followed by a thorough comparison with traditional extraction techniques to evaluate their efficiency and quality. Finally, the feasibility of incorporating the obtained extracts into food products will be investigated, assessing their impact on the sensory and nutritional properties of foods; for this purpose, a bibliographic search will be carried out in databases such as Scopus, EBSCO, Science direct, PUBMED. This innovative approach not only promises to improve the sustainability and efficiency of bioactive compounds extraction processes, but also to contribute to the valorisation of food by-products, reducing waste and promoting the circular economy in industry. With potential environmental, economic and health benefits, this monograph aims to provide cutting-edge knowledge related to applied research, offering new opportunities for the development of functional foods and nutritional supplements based on principles of sustainability and authenticity.

**Key words:** authentic solvents, extraction, flavonoids, food industry.

## Introducción

Los malos hábitos alimenticios son una consecuencia de malas prácticas de alimentación y con ello el consumo deficiente de productos que aporten a la nutrición (Dietas con bajos contenidos de nutrientes, consumo elevado de alimentos y productos procesados, así como también las famosas comidas chatarra, crean efectos perjudiciales sobre la salud humana (Kuźbicka y Rachoń, 2013). Existe una gran variedad de investigaciones relacionadas con los efectos de la dieta y el consumo de nutrientes en el ser humano y cómo esto se relaciona con enfermedades crónicas, debido principalmente a la falta de consumo de alimentos funcionales y naturales (Baker et al., 2022).

Cuando se habla de un alimento funcional quiere decir que este aporta los nutrientes básicos y que cuenta con uno o más componentes diferenciados que mejoran las funciones fisiológicas del organismo que lo consume. En la industria alimentaria, la búsqueda de ingredientes naturales y funcionales para mejorar la calidad y el valor nutricional de los productos es una prioridad. Los flavonoides, compuestos bioactivos presentes en una variedad de alimentos, han demostrado tener efectos beneficiosos para la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias (Ares et al, 2009).

Según, Ares et al. (2009), Los flavonoides se encuentran entre los compuestos bioactivos de los alimentos. Así se conocen a los componentes que influyen sobre las actividades fisiológicas o celulares y que pueden aportar beneficios a la salud. Muchos flavonoides de los alimentos se polimerizan en grandes moléculas, bien en las propias plantas o bien como resultado del procesado de los alimentos. Estos polímeros se

conocen como taninos, en cierto modo basados en su función, ya que precipitan algunas proteínas y alcaloides. Los flavonoides no poseen las características de las vitaminas: no son aminos y conforman otro grupo químico, pero por su acción protectora y la imposibilidad del organismo humano de producirlos merecen ser incorporados al grupo de los nutrientes esenciales (Ares et al, 2009).

Las fuentes alimenticias principales de los flavonoides son, entre otras, el té negro, las cebollas, las manzanas, la pimienta negra, y bebidas alcohólicas como vino y cerveza.

El creciente interés en los flavonoides se debe a la apreciación de su amplia actividad farmacológica. Debido a este hecho se han descrito efectos protectores en patologías tales como diabetes mellitus, cáncer, cardiopatías, infecciones víricas, úlcera estomacal y duodenal, e inflamaciones. Otras actividades que merecen ser destacadas son sus acciones antivirales y antialérgicas, así como sus propiedades antitrombótica y antiinflamatoria (Limón et al, 2010).

Según estudios realizados por Chaves et al. (2020), la extracción de los flavonoides se realiza con solventes orgánicos de alta polaridad como el etanol o acetato de etilo. Posteriormente, se realizan extracciones sucesivas con solventes de polaridad creciente. Para la extracción de flavonoides de baja polaridad se emplean hexano y/o cloroformo. Si los compuestos son de mediana polaridad se emplea acetato de etilo, y para los de alta polaridad se utiliza butanol. Estos últimos son los de mayor uso farmacológico gracias a la presencia de grupos funcionales hidroxilo y carbonilo. El análisis de estos en una sustancia que se determina mediante espectrofotometría. Muchas veces esa medida se realiza acoplada a una separación cromatográfica, como,

por ejemplo, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Este estudio pretende realizar una revisión frente al impacto de los disolventes eutécticos naturales en la eficiencia y sostenibilidad de la extracción de flavonoides ya que estos contribuyen a la obtención de ingredientes saludables y funcionales para la industria alimentaria.

## Planteamiento del Problema

Los métodos convencionales de extracción, que a menudo implican el uso de disolventes orgánicos sintéticos, pueden tener impactos negativos en la salud y el medio ambiente (Zhang, Lin y Ye, 2018). Además, estos métodos pueden resultar costosos y poco sostenibles a largo plazo. Tanto en la industria química como en la farmacéutica los disolventes desempeñan un papel fundamental, por lo que se suelen consumir en grandes cantidades, tanto en síntesis como en procesos de separación. Habitualmente, la mayor parte son compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales no son recomendables desde el punto de vista de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y de la química verde debido a que, en muchos casos, son tóxicos y altamente contaminantes debido a su alta volatilidad y que proceden de fuentes no renovables (Winterton, 2021). Por este motivo, es necesario desarrollar nuevos disolventes con mejor perfil medioambiental, de salud y de seguridad, y que cumplan los requisitos de sostenibilidad tan necesarios en la actualidad.

Los disolventes eutécticos, una generación emergente de fluidos muy prometedora para diversas aplicaciones industriales, incluyendo la separación de diferentes moléculas. Se trata de mezclas formadas a partir de compuestos aceptores y dadores de enlaces de hidrógeno, cuyas principales características son poseer un punto de fusión inferior al de los componentes puros, una muy baja volatilidad, ser poco tóxicos y ser biocompatibles, entre otras. En función de la naturaleza de los compuestos de

partida, podemos encontrar disolventes eutécticos hidrofílicos e hidrofóbicos (Meenu et al, 2023).

Los flavonoides, compuestos bioactivos presentes en una variedad de alimentos, han demostrado tener efectos beneficiosos para la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias. La constante demanda de alimentos funcionales surge en el momento en que el consumidor muestra su interés por contribuir a mantener una buena salud a través de la alimentación.

La búsqueda de principios activos dentro de los flavonoides tiene, desde el punto de vista farmacológico, algunas ventajas respecto a otros grupos de compuestos naturales (Otemuyiwa et al, 2017). Quizá la más importante es la uniformidad de la configuración química de toda la familia, de modo que las relaciones entre estructura y actividad son más fáciles de establecer. Por otro lado, la disponibilidad de las moléculas flavónicas y la relativa facilidad de su obtención favorecen la evaluación de sus propiedades ( Kadoma y Fujisawa, 2008).

Sin embargo, la extracción de flavonoides a partir de fuentes naturales como frutas, vegetales y subproductos alimentarios plantea desafíos significativos. La extracción de los diferentes flavonoides se realiza a partir del material vegetal fresco, aunque esta también puede realizarse con el material vegetal seco siempre y cuando el proceso de secado no altere la composición de los flavonoides; estos compuestos se pueden extraer indistintamente debido a la solubilidad que estos presentan en diferentes solventes orgánicos (González Laredo et al, 2023). Los flavonoides que poseen un gran número de grupos hidroxilos instituidos o azúcares son considerados compuestos polares, por lo que son moderadamente solubles en solventes polares como: etanol,

metanol, butanol, acetona, DMSO, agua. Por otro lado, las agliconas menos polares como isoflavonas y flavanonas tienden a ser más solubles en solventes tales como éteres y cloroformo. La extracción de estos compuestos se puede realizar con metanol al 85 %, con posterior filtración.

La creciente necesidad de métodos de extracción más eficientes y sostenibles para la obtención de flavonoides a partir de subproductos alimentarios ha impulsado significativamente la investigación en la industria. Los procedimientos convencionales de extracción suelen inducir cambios no deseados en los productos y pueden ser perjudiciales para la salud debido a la presencia de agentes tóxicos. Esta situación resalta la importancia de explorar alternativas más seguras y eco amigables, como el uso de disolventes naturales auténticos. Sin embargo, faltan estudios sobre estas alternativas y sobre cómo los extractos de flavonoides pueden aplicarse eficazmente en la formulación de alimentos funcionales. Esta brecha en la investigación subraya la necesidad de una pregunta fundamental: ¿Cuál es el impacto de los disolventes naturales auténticos en la eficiencia y sostenibilidad de la extracción de flavonoides y cómo estos contribuyen a la obtención de ingredientes saludables y funcionales para la industria alimentaria? Este interrogante guía la búsqueda de métodos innovadores que no solo mejoren la calidad de los productos alimenticios, sino que también aseguren su contribución a un estilo de vida saludable y a la sostenibilidad ambiental.

## Justificación

En todo el mundo, anualmente se generan enormes cantidades de subproductos y desechos en el sector agroalimentario. Esta biomasa suele ser desechada provocando graves problemas medioambientales. Sin embargo, estos residuos representan una excelente fuente de compuestos bioactivos por lo que su explotación puede considerarse como una posibilidad prometedora desde una perspectiva económica y ambiental. Se han empleado tecnologías de extracción convencionales que utilizan disolventes orgánicos para recuperar moléculas de alto valor que presentan varios inconvenientes, como toxicidad, alta volatilidad y falta de renovación. Por lo tanto, es obligatoria la búsqueda de disolventes verdes alternativos para la extracción de bioactivos con el fin de reducir el impacto ambiental y lograr una amplia aceptación por parte del consumidor. Recientemente, los disolventes eutécticos profundos (DES) y los disolventes eutécticos profundos naturales (NaDES) han recibido gran atención por sus características fisicoquímicas para la extracción de compuestos bioactivos (Mazzobre y Vasile, 2023). Los DES y NaDES combinados con tecnologías emergentes para recuperar biomoléculas de subproductos agroalimentarios muestran resultados prometedores en comparación con los métodos tradicionales de extracción que utilizan disolventes convencionales (Gullón et al, 2020). Estos solventes emergentes presentan ventajas que los convierten en buenos candidatos para ser implementados por la industria, considerando su baja toxicidad, reciclabilidad, propiedades sintonizables y amigables con el medio ambiente (Gullón et al, 2020). Por tanto, esta nueva generación de

disolventes abre nuevas opciones en el campo de la recuperación de compuestos bioactivos a partir de subproductos agroalimentarios.

Por otra parte, los DES del tipo III son importantes, desde una perspectiva química orgánica, debido a su facilidad de preparación y a su potencial uso como disolventes sostenibles ya que están formados, generalmente, por una sal de amonio cuaternaria que interactúa con compuestos que tienen carácter dador de hidrógeno. Sin embargo, los DES de tipo IV se forman combinando un haluro metálico con un ácido de Lewis o de Brønsted. En general, los líquidos eutécticos de tipo III son obtenidos al mezclar un compuesto con carácter aceptor de enlaces de hidrógeno (HBA), típicamente la sal con alto punto de fusión, como el cloruro de colina (ChCl), con sustancia que actúe formando enlaces de hidrógeno (HBD). La adición de esta última a la sal hace que se establezcan enlaces de hidrógeno entre los dos componentes de manera que la carga del anión de la sal se deslocaliza disminuyendo la fuerza del enlace iónico entre el catión y el anión de la sal, por tanto, la energía de la red cristalina hasta distorsionarla totalmente. De esta manera se evidencia la eficacia de los solventes en la extracción de los flavonoides y polifenoles lo que los convierte en una herramienta valiosa en la química orgánica y la industria alimentaria.

Por ello la siguiente monografía pretende recolectar información bibliográfica sobre los Disolventes naturales eutécticos como alternativa de extracción de flavonoides en subproductos alimenticios, ya que de esta manera se puede realizar mejoramiento en la extracción de compuestos bioactivos, es amigable con el medio ambiente y no afecta la composición de los extractos porque los solventes utilizados son de origen verde o vegetal.

Adicionalmente, se pretende dar a conocer una nueva alternativa poco estudiada para la realización de extracción de Flavonoides como bioactivos importantes y complementarios como ingredientes funcionales que pueden mejorar la calidad de vida en el tratamiento de enfermedades crónicas.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar la eficacia y sostenibilidad de disolventes naturales eutécticos en la extracción de flavonoides de subproductos alimentarios.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar los disolventes naturales eutécticos más efectivos para la extracción de flavonoides presentes en subproductos alimentarios.
- Evaluar el rendimiento y la calidad de los extractos de flavonoides obtenidos utilizando disolventes naturales eutécticos en comparación con métodos convencionales de extracción.
- Explorar las potenciales aplicaciones de los extractos de flavonoides obtenidos mediante disolventes naturales eutécticos como ingredientes funcionales en la formulación de alimentos.

## Marco Teórico

### Flavonoides

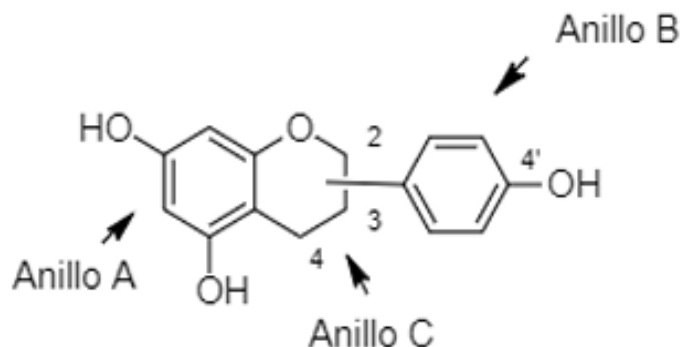
Los flavonoides son compuestos polifenólicos sintetizados en las plantas como metabolitos secundarios biológicamente activos responsables de su color, sabor y actividad farmacológica. Las principales fuentes de flavonoides son las frutas y verduras, sin embargo, son abundantes en productos derivados del cacao (cacao en polvo, chocolate), té negro, verde y vino tinto (Aherne y Brien, 2002).

Estos compuestos bioactivos son metabolitos secundarios de polifenoles que generalmente tienen grupos cetonas en su composición y contiene en su estructura básica de benzopirona (Ramírez Delgadillo, 2020). Hasta la fecha, se han informado más de 4000 tipos de flavonoides provenientes de las plantas. Por lo tanto, los flavonoides fueron descubiertos en 1930 por el premio Nobel Albert Szent Györgyi de todos los compuestos clasificados como flavonoides, la quercetina es el más común ya que representa el 60 y el 75% del total de flavonoles consumidos (Luján Torres, 2022).

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular, solubles en agua y que tienen la misma estructura química (C6 - C3 - C6) formada por dos anillos aromáticos (A y B) conectados por tres átomos de carbono que luego forman un anillo heterocíclico oxigenado (C). A partir de la sustitución de este último anillo, su número de oxidación y la posición del anillo B se determinan subclases de flavonoides: flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas y flavanoles. A continuación, se muestra la estructura general de los flavonoides (Luján Torres, 2022).

## Ilustración 1

### *Estructura general de los flavonoides*



**Fuente:** Adaptado de la referencia (Ramírez Delgadillo, 2020).

Los flavonoides responden a la luz y se sabe que controlan los niveles de auxinas, reguladores del crecimiento y diferenciación celular de las plantas. En las plantas, los flavonoides pueden influir en la polinización al inhibir o estimular la alimentación de los insectos. Muchas de las funciones biológicas que desempeñan los flavonoides están relacionadas con su capacidad de unión a metales como hierro y cobre, lo que favorece la actividad antioxidante y la protección contra la radiación ultravioleta (Luján Torres, 2022).

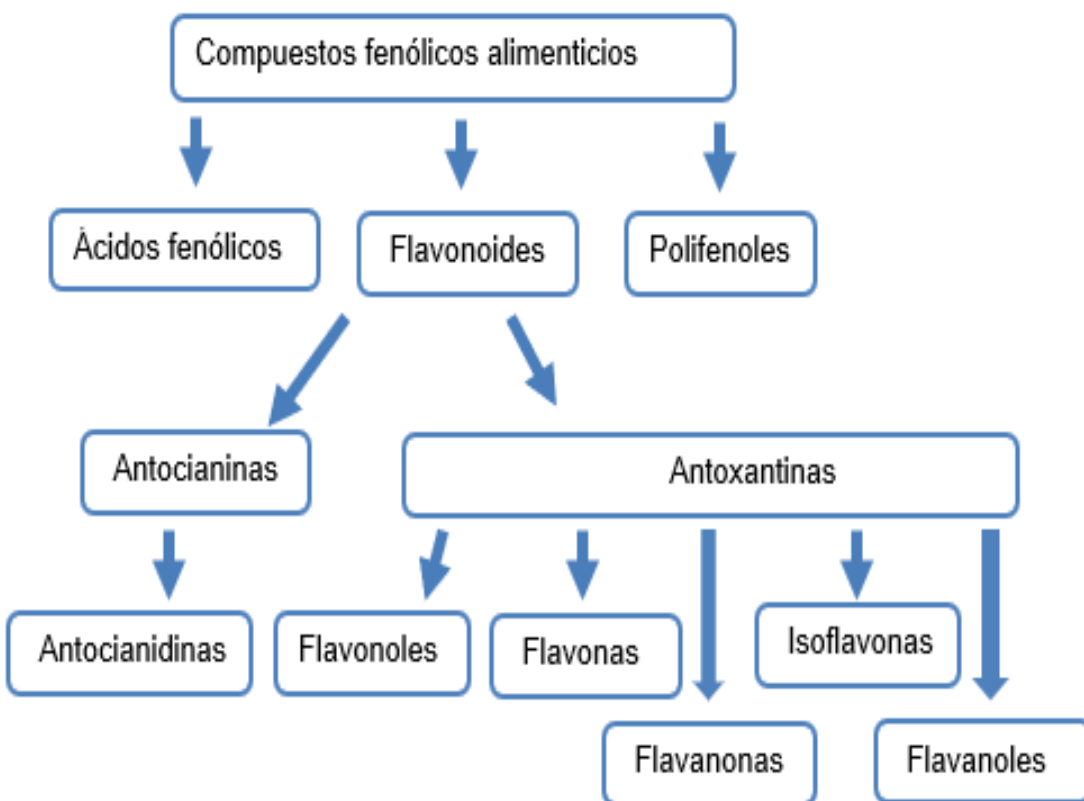
### **Definición y estructura química de los flavonoides.**

Los compuestos fenólicos, teniendo en cuenta una de las clases más importantes de fitoquímicos, se agrupan en tres grupos según su estructura química (los ácidos fenólicos, y los flavonoides). Los flavonoides se dividen en dos grandes grupos:

antocianinas y antoxantinas, que, a su vez, se agrupan en subclases (Ilustración 2), estructuralmente relacionadas, pero con funciones diferentes (Ochoa y Ayala, 2004).

## Ilustración 2

*Árbol familiar de compuestos fenólicos.*

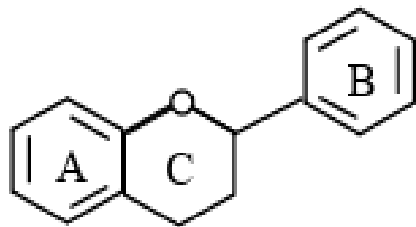


**Fuente.** Adaptado de la referencia (Ochoa y Ayala, 2004).

Los flavonoides tienen una estructura de anillo de 15 carbonos (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>) que consta de dos anillos aromáticos (A y B) que normalmente contienen grupos hidroxilo unidos por una cadena lineal de 3 carbonos, como se muestra en la Ilustración 3.

### Ilustración 3

*Estructura básica de un flavonoide.*



**Fuente.** Adaptado de la referencia (Ochoa y Ayala, 2004).

Las estructuras de las subclases de flavonoides generalmente se clasifican según la estructura del anillo C. El anillo B se sitúa en la posición 2 del anillo heterocíclico, excepto en el caso de las isoflavonas, donde el anillo B ocupa la posición 3 (Ochoa y Ayala, 2004).

### Importancia de los flavonoides en la industria alimentaria y la salud humana

Los flavonoides son compuestos fenólicos con alta capacidad de antioxidante que se encuentran en la mayoría de las plantas. Especialmente en las frutas y verduras. Su actividad antioxidante ha llamado mucho la atención de la industria alimentaria, empresas de alimentación, colorantes, cosmética y farmacéutica. Ya que estos compuestos tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas lo que lo convierte en un componente importante de la dieta saludable. Además, su relevancia se extiende a la medicina tradicional, natural y a la industria alimentaria (Ramírez Delgadillo, 2020). En el ámbito de la salud humana, los flavonoides ofrecen importantes beneficios, estas sustancias protectoras no pueden ser producidas por el cuerpo humano por lo que deben obtenerse a través de los alimentos, entre ellas

se destaca su capacidad antioxidante, antiinflamatoria, Neuroprotectora, antiestrogénica entre otras (Pacheco et al, 2021).

### **Métodos de Extracción de Flavonoides y Polifenoles**

La extracción es una técnica utilizada para separar productos orgánicos de mezclas de reacción o aislarlos de sus fuentes naturales. Sin embargo, se deben considerar aspectos como la humedad de la muestra, la pureza del extracto, la técnica utilizada y el disolvente para que el contenido de fenol en el extracto y que siga siendo favorable (Ramírez Delgadillo, 2020).

### **Técnicas de extracción de flavonoides y Polifenoles**

Seleccionar un método de extracción de compuestos fenólicos por lo tanto juega un papel muy importante debido a los compromisos ambientales que apuntan a implementar la química verde para minimizar el impacto ambiental. Por esta razón, es necesario identificar métodos de extracción que minimicen el uso de solventes orgánicos sin afectar la eficiencia de la extracción (Ramírez Delgadillo, 2020).

Según estudios realizados por (Ramírez Delgadillo, 2020) La extracción de flavonoides se realiza a partir de material fresco, aunque se puede realizar con material seco siempre que el proceso de deshidratación no cambie la composición de flavonoides. Las técnicas de extracción de flavonoides se dividen en métodos convencionales y métodos avanzados como la extracción asistida por ultrasonido, microondas o enzimas o pulsos eléctricos.

## Métodos convencionales de extracción de flavonoides y Polifenoles

Los métodos convencionales de extracción sólido-líquido más comunes en la extracción de compuestos fenólicos son la percolación (lixiviación), la maceración y el Soxhlet.

- I. **Extracción por maceración.** Este proceso implica aplicar sólido, que suele ser material vegetal, en un solvente (etanol o agua) hasta que penetre y disuelva las partes solubles. Esta planta debe serlo. Separación para aumentar la transferencia superficial entre soluto y disolvente (Ramírez Delgadillo, 2020).
  
- II. **Extracción por percolación.** Esta técnica es similar a la maceración donde se utiliza una sustancia líquida como solvente y en estrecho contacto con una muestra sólida. De esta forma, mediante difusión, se separa el compuesto objetivo de la fase sólida a la fase líquida; En esta tecnología, el disolvente debe añadirse continuamente (Ramírez Delgadillo, 2020).
  
- III. **Extracción por Soxhlet.** La extracción Soxhlet se considera el método estándar de extracción más utilizado para muestras sólidas y actualmente es el método de referencia para comparar diferentes métodos de extracción (Ramírez Delgadillo, 2020).

### Extracción con disolventes orgánicos.

La extracción con disolventes convencionales se lleva a cabo mediante el equipo

Soxhlet. Utilizando cierta cantidad de muestra seca previamente (de 40 a 60 °C) y se muele en un molino, lo que aumenta el volumen entre 100 mL a 150 mL de hexano, éter de petróleo, alcohol isopropílico (IPA); debe ser calentada en la estufa a 60°C durante 4 a 5 horas. Cabe señalar que los disolventes orgánicos volátiles, comúnmente utilizado n-hexano, son perjudiciales para el medio ambiente y la salud. Además, la alta temperatura del disolvente afecta el aroma característico, descompone los compuestos termolábiles y provoca la hidrólisis (Contreras et al, 2022).

### **Extracción con solventes polares y no polares**

Los flavonoides son sólidos que han cristalizado de color amarillo pálido o blanco, polar, apolar. Sin embargo, su polaridad puede variar según el tipo de flavonoide. Según su polaridad, son solubles en agua caliente, alcoholes y disolventes orgánicos que contienen más o menos oxígeno. También intentamos elegir disolventes que sean fáciles de recuperar (Ramírez Delgadillo, 2020).

- IV. **Los solventes polares:** son ideales para sustancias con cargas parciales o polos claramente definidos, como reacciones químicas entre iones.
- V. **Los solventes no polares:** se utilizan en situaciones donde la polaridad no es relevante, como en la extracción de aceites esenciales.

### **Avances en la extracción de flavonoides utilizando disolventes naturales eutécticos (NADES).**

La terminología NADES se refiere a mezclas eutécticas de componentes naturales

como cloruro de colina, sacarosa, trehalosa y agua. Los NADES tienen propiedades disolventes superiores, por lo que los beneficios más reconocidos de la extracción incluyen i. características físicas y químicas; ii. Presenta baja toxicidad y biodegradabilidad. Además, esta nueva generación de disolventes de diseño cumple con los requisitos esenciales de la química verde, lo que la convierte en una excelente alternativa a los requisitos normativos y de política medioambiental (Gullón et al, 2020).

Los NADES son líquidos viscosos y poseen una presión de vapor insignificante similar a la de los líquidos iónicos. El principal inconveniente de estos solventes es la alta viscosidad ya que conlleva problemas de transferencia de masa y limita el proceso de extracción (Gullón et al, 2020).

### **Fundamentos y características de los disolventes naturales**

En comparación con los disolventes convencionales, los componentes principales de NADES son metabolitos primarios naturales. Los más comunes se basan en cloruro de colina, ácidos carboxílicos y otros donantes de enlaces de hidrógeno, como urea, ácido cítrico, ácido succínico, glicerol, azúcares, alcoholes de azúcar, aminoácidos y aminas con varios grupos hidroxilo. Este descubrimiento lleva a la hipótesis de que los NADES son capaces de actuar como medios alternativos al agua en organismos vivos en una amplia gama de productos naturales, lo que resultó en el descubrimiento de más de 100 NADES. Debido a la naturaleza iónica del NADES durante todo el proceso de investigación, se le han atribuido diversos usos y aplicaciones, como disolventes para procesos biocatalíticos, disolventes de extracción y para aplicaciones electroquímicas entre otras. Estos estudios han incluido a los compuestos polifenólicos demostrando que

la solubilidad de flavonoides en varios NADES es de 50 a 100 veces mayor que en agua (De La Vega, 2019).

### **Ventajas y limitaciones de su uso en comparación con los métodos convencionales**

Las ventajas se reflejan en la reducción del consumo de disolventes orgánicos y degradación de la muestra, también en la prevención de contaminación, mejorando la eficiencia y selectividad de extracción. Los factores que influyen en la extracción asistida a partir de residuos agroalimentarios es la extracción con DES y NaDES; como su estructura, composición molecular, contenido de agua, propiedades fisicoquímicas, viscosidad, polaridad, pH y solubilidad. Además, de estas características inherentes al tipo de disolvente, existen otros parámetros relacionados con el proceso de extracción, incluyendo temperatura, tiempo y la relación líquido-sólido (Gullón et al, 2020).

### **Subproductos Alimentarios como Fuente de Flavonoides**

Los flavonoides son una variedad de fitonutrientes (químicos vegetales) que se encuentran en muchas frutas, verduras y especias. Estos compuestos son en parte responsables de los colores brillantes de frutas y verduras.

En cuanto a los alimentos ricos en flavonoides, aquí tienes algunos ejemplos:

- I. **Flavonoles:** Están presentes en alimentos como el brócoli, las coles de Bruselas, los puerros y las cebollas. Se les atribuyen propiedades antihistamínicas,

antiinflamatorias y antioxidantes.

- II. **Flavonas:** Puedes encontrarlos en el apio, el perejil y otras hierbas, así como en los chiles. Son conocidos por sus propiedades antioxidantes y por retrasar el metabolismo de fármacos.
- III. **Antocianidinas:** Están presentes en arándanos, ciruelas y uvas rojas. También son ricas en antioxidantes

En relación con los flavonoides, existen dos aspectos importantes del procesamiento de alimentos: 1) transformación, 2) pérdidas durante el procesamiento y la cocción. Otros procesos, comunes en la producción comercial de té, también cambian el contenido de flavonoides. Las manipulaciones utilizadas en la preparación de té instantáneo y té listo para beber parecen reducir el contenido de flavanoles o, al mismo tiempo, el contenido de flavanol y té de rubiginas. Es importante señalar que algunas fluctuaciones en el contenido de flavonoides entre diferentes tipos de té pueden deberse a mezclas en relación con el tipo, el área de producción y el costo (Chueca, 2004).

### **Definición y ejemplos de subproductos alimentarios**

Aunque los flavonoides están muy extendidos en la naturaleza, no se distribuyen uniformemente en todo el reino vegetal. En general, estos datos muestran que algunas frutas (manzanas, arándanos), el chocolate amargo y el vino tinto tienen niveles moderados a altos de flavonoides y taninos. Sin embargo, una porción de brócoli o jugo de naranja proporciona concentraciones relativamente bajas de estos fitonutrientes. (Chueca, 2004).

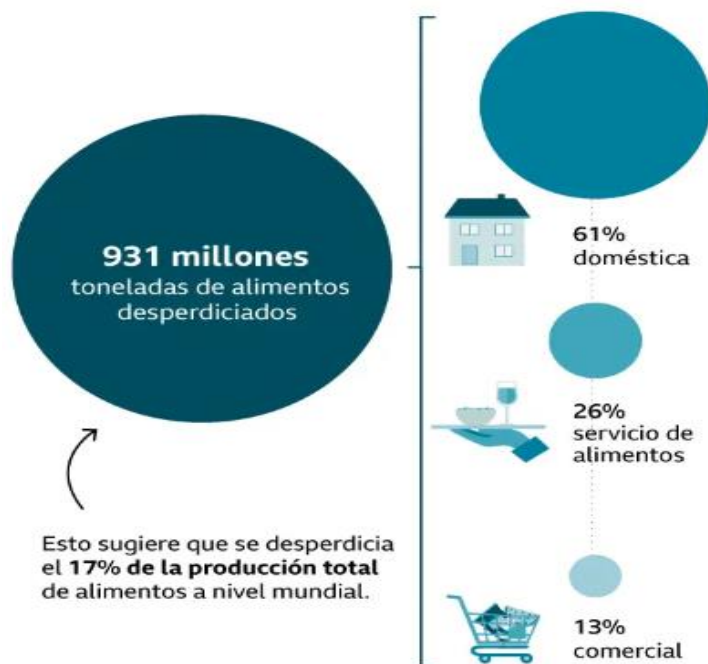
## Potencial de los subproductos alimentarios como fuente económica y sostenible de flavonoides

Cada año, la industria alimentaria genera una gran cantidad de residuos o subproductos de diversas fuentes en todo el mundo. En el año 2019 hubo 931 millones de toneladas de alimentos desperdiciados, esto sugiere que el 17% de la producción total de alimentos en el mundo fue a parar a la basura (Torres Palacio, 2021).

Para dimensionar aún mejor estos números, quizás sea útil entender su equivalencia en peso: 23 millones de camiones de 40 toneladas completamente cargados de alimentos, que puestos en fila darían siete vueltas a la tierra (Torres Palacio, 2021).

### Ilustración 4

*Desperdicio de alimentos en el mundo en 2019.*



**Fuente:** informe de índice de desperdicios de alimentos 2021 de PNUMA.

Con información del desperdicio de alimentos de 54 países, los investigadores llegaron a una de las conclusiones más llamativas de su estudio: los niveles de residuos a nivel doméstico son similares en los países de altos ingresos, medianos altos y medianos bajos. Por ejemplo, Nigeria es uno de los países del mundo donde más comida se bota, con 189 kilos per cápita al año. Algo similar sucede en Ruanda, donde la cifra alcanza los 164 kilos per cápita. En cambio, en Holanda y Bélgica desperdician 50 kilos al año, mientras que en Estados Unidos son 59 kilos (Torres Palacio, 2021).

Por lo tanto, la conclusión es clara: este ya no es un problema exclusivamente de países ricos, donde los consumidores simplemente adquieren más de los que pueden consumir. A partir de ahora, también se trata de aquellos países que se encuentran en vía de desarrollo (Torres Palacio, 2021).

### Ilustración 5

*Promedio de desperdicio de comida.*



**Fuente:** Informe del índice de desperdicios de alimentos 2021 de PNUMA .

**Nota:** Cada consumidor desperdicia en promedio **121kg** de comida al año.

Según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) publicado en octubre de 2019, el continente es responsable del 20% del volumen global de alimentos que se pierden desde después de la cosecha

hasta que llegan a los minoristas. Esto significaría que la región pierde alrededor del 12% de sus alimentos (Torres Palacio, 2021).

Los desperdicios o subproductos de alimentos son una excelente fuente de nutrientes que son de naturaleza bioactiva, funcional y contienen muchos componentes beneficiosos para la salud humana. Los residuos de alimentos o los subproductos que se convierten en ingredientes funcionales de determinados productos alimenticios son una tendencia saludable en la industria alimentaria. La gestión de residuos es una de las partes más importantes de la industria alimentaria. Ya que la abundancia de subproductos baratos proporciona beneficios económicos y ambientales para sus componentes potencialmente valiosos. De este modo, los subproductos se transforman en productos con beneficios para la salud y beneficios económicos para el empleo, las partes interesadas y el país (Colchado Tineo, 2023).

### **Aplicaciones de los Flavonoides en la Industria Alimentaria**

Los productos naturales permiten a las industrias de alimentos, suplementos dietéticos y de aditivos de alimentos a utilizar compuestos aceptados por los consumidores que actúan tan efectivamente como los productos sintéticos y ofrecen beneficios significativos a la salud. Debido al alto contenido de compuestos bioactivos, los residuos cítricos tienen un gran potencial en la industria alimentaria como fuente de productos con propiedades técnicas y funcionales mejoradas. Entre los que se destacan aditivos alimentarios, espesantes, estabilizadores, colorantes naturales y Antioxidantes

(Serrano García, 2021).

## **Legislación y regulación de los flavonoides como ingredientes alimentarios**

Si bien no existe una regulación específica para los flavonoides como ingredientes alimentarios, existen algunas regulaciones generales en las que se enmarca el uso de estos compuestos como ingredientes alimentarios. A continuación, se proporciona información basada en la legislación española, europea y Ministerio de protección social:

### *Ley 17/2011 de Seguridad Alimentaria y Nutrición:*

- I. Esta ley, promulgada en España, establece los principios y medidas para garantizar la seguridad de los alimentos y piensos.
- II. Contempla la prevención, control y coordinación en la cadena alimentaria.
- III. También aborda la trazabilidad, auditorías y el Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria.

### *Reglamento (CE) Nº 1333/2008:*

- I. Este reglamento de la Unión Europea se refiere a los aditivos alimentarios, incluyendo aquellos que contienen flavonoides.
- II. Establece las condiciones para su uso seguro en alimentos.
- III. Los flavonoides pueden ser considerados como ingredientes funcionales en ciertos productos.

### *Reglamento (CE) Nº 258/97:*

- I. Este reglamento europeo trata sobre nuevos alimentos e ingredientes alimentarios.
- II. Define los procedimientos para la autorización de ingredientes novedosos, incluyendo

aquellos que contienen flavonoides.

*Ministerio de protección social: Decreto Número 3636 De 2005*

Por el cual se reglamenta la fabricación, comercialización, envase, rotulado o etiquetado, régimen de registro sanitario, de control de calidad, de vigilancia y control sanitarios de los productos de uso específico y se dictan otras disposiciones.

## Metodología

Para el desarrollo de la investigación, se realizó una búsqueda de información por medio de artículos científicos, en el cual se tuvo en cuenta el tiempo de publicación de estos artículos, preferentemente en un rango de 10 años (2014 – 2024); Lo que permite obtener información actualizada sobre el tema de investigación.

Es de recalcar que, la información fue recopilada utilizando fuentes confiables como bases de datos como Scopus, EBSCO, Science Direct, PUBMED, Google Académico y Scientific Electronic Library Online (SciELO) de las cuales se pudo extraer gran cantidad de información y datos científicos, haciendo uso de 60 documentos. Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica haciendo uso de palabras claves como: disolventes naturales eutécticos, extracción de flavonoides, subproductos alimentarios, rendimientos, calidad de extractos y métodos convencionales de extracción. También se hizo una búsqueda de la normatividad vigente basada en la legislación española, europea y ministerio de protección social en relación con la legislación y regulación de los flavonoides como ingredientes alimentarios, teniendo en cuenta las medidas para garantizar la seguridad de los alimentos por medio de un plan nacional de control.

Por otra parte, se utilizaron algunos filtros como estrategia de búsqueda para obtener resultados relevantes y apropiados para el tema de investigación. Los filtros más relevantes y comúnmente utilizados fueron:

- I. Artículos en inglés.

- II. Periodo de publicación de los artículos en un rango de 10 años (publicaciones desde 2014 hasta la actualidad).
- III. Revisiones de artículos originales y de acceso libre.

Una vez recopilados todos los artículos de interés se agrupan de acuerdo con los temas de estudio como la estructura química de los flavonoides, la importancia de los flavonoides en la industria alimentaria y en la salud humana, métodos y técnicas de extracción de los flavonoides, características de los disolventes naturales entre otros. Luego de seleccionar los artículos apropiados, se procedió a una lectura completa de cada uno, identificando información relevante dentro de ellos relacionados con el tema de interés y extraer información adecuadamente, crear citas y referenciar adecuadamente las investigaciones realizadas por otros autores.

## Resultados y Discusión

De acuerdo con los datos e información obtenida en esta revisión bibliográfica, se evidencia que los disolventes naturales eutécticos son más efectivos para la extracción de flavonoides presentes en diferentes subproductos alimentarios. Por lo que los flavonoides son compuestos polifenólicos en plantas, responsables de color, sabor y propiedades farmacológicas. Principalmente, se encuentran en frutas, verduras, cacao, residuos de bayas o piel de manzana, entre otras. Es por esto, que su potencial bioactivo ha sido utilizado en alimentos funcionales, ya sea en su forma natural o mediante sus compuestos bioactivos obtenidos por diferentes métodos de extracción. A continuación, en la siguiente tabla se mencionan los datos más relevantes obtenidos por otros investigadores con respecto en la extracción de flavonoides de subproducto alimentarios.

**Tabla 1**

Extracción de compuestos de origen vegetal mediante la utilización de NADES como solventes.

Solventes	Proporción DES	Relación DES: Matrix	Tecnología Extracción	Método de capacidad d Antioxid ante	Material vegetal	Condiñones de extracción	Ren dimiento	Actividad Antioxidant e	Tipo de metabolito	Referencia
Cloruro de colina: glicerol	1:3 a 70 °C, 600 RPM, 1 h.	47 mL/g café	Agitación 600 rpm	DPPH	Pulpa de Café	120 min a 55 °C, 600 RPM.	25%	82.04 $\mu$ mol TRE/g.	Polifenoles Cafeína	(Loukri et al., 2022)
Cloruro de colina: Glicerol	1:5 a 60 °C con 30% agua	0,5 g de polvo de olivo por 10 mL NADES	Agitación 3000 rpm por 10 minutos.	FRAP y DPPH	Hojas de olivo.	120 minutos a 80 °C 3000 rpm	10%	27.700 y 36.500 mg eq.	Flavonoides, isoflavonoides y otros compuestos fenólicos.	(Cerde et al., 2024)
Cloruro de colina: glicerol	1: 1 y 1: 2 a 50°C 10000 RPM	35 mL/g	Agitación 10.000 rpm por 15 minutos.	DPPH	Extractos verdes	30 min a 50 °C, 10.000 rpm durante 15 min	91%	100 a 600 $\mu$ mol L <sup>-1</sup>	Antocianinas y extractos de fenólicos	(Mila C. Lazović M. D., 20254)
L- prolina: glicerol	5:2 a 50°C 10000 RPM									
.Cloro de colina: ácido málico	1:1 a 50°C 10000 RPM									
Glicerol: urea	1:2 y 1: 3 a 50°C 10000 RPM									
Cloruro de colina: ácido acético - (ChCl-Aa).	1:2 a 50 °C durante 30 min. 5000 RPM	20-40 mL/g	Agitación 5000 rpm, durante 30 min.	DPPH	Hojas y tallos de maní.	30 – 50 min a 50 °C, 5000 rpm.	2,98 %	Entre 0,006 y 0,850 mg Lu/g	Flavonoides.	(Yan Cheng, 2024)

Cloruro de colina, Glicerina, Glucosa, Ácido láctico.	1:45 de 40 a 60 °C durante 15 minutos	18 g/mL	Agitación 22000 rpm durante 15 minutos.	DPPH,	Hojas de perilla	30 min a 22000 rpm.	TFC: 83.1% TTC: 23.3%	0 – 600 µM/L	Flavonoides (TFC) Terpenoides (TTC)	(Tan Phat Vo, 2024)
Cloruro de colina, ácido cítrico, agua.	1:1:11 a 120 °C, 100 bar y 20 min, 1500 rpm.	30 mL/g	Agitación 1500 rpm	ORAC	Subproductos de la soja agrícola.	20 minutos a 40, 80, 120 °C por 1500 rpm a 60 °C	21,14 %	68,96 µM	Flavonoides, isoflavonoides y otros compuestos fenólicos.	(Felipe Sánchez 2022)
Cloruro de colina: glicerol	3:1 a 80 °C con agitación a 500 rpm, durante 60 minutos.	13 – 47 mL/g	Agitación 600 rpm, durante 36 – 103 minutos a 60 °C.	DPPH	Cáscaras de limón ( <i>Citrus limón L.</i> )	36 – 103 minutos a 60 °C por 600 rpm.	3.2 % y el 9.8 %	100 µM	Compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos y los flavonoides, incluidas las favanonas, favonoles y favonas.	(Natasa Kalogiouri, 2022) P.
Cloruro de colina: Agua	(1:1:10) a 50 °C durante 120 minutos. Agitación de 150 rpm.	30 mL/g	Agitación de 150 rpm.	FRAP, TAC.	Cáscara de aguacate	50 °C durante 24 h.	73.3%	126,07 y 122,41 mg AAE/g	Compuestos fenólicos y flavonoides.	(Beatriz Rodríguez Martínez, 2022)
Ácidos acéticos	(1:2) a 50 °C durante 120 minutos. Agitación de 150 rpm.									
Ácido láctico	(1:2) a 50 °C durante 120 minutos. Agitación de 150 rpm.									
L-Prolina y Glicerol	1:2 a 60 - 80 °C. Durante 20 minutos. A 180 W	3 mL/g	Ultrasonido 180 w	DPPH y DPC	Subproductos florales de azafrán.	20 minutos a 180 w	90 %	2,06 mg/mL	Fenólicos y flavonoides.	(Debora Cerda Bernad, 2023)

**Fuente:** Elaboración propia.

Los disolventes eutécticos para la extracción de flavonoides en los subproductos alimentarios demuestran tener una eficiencia altamente considerable para remplazar los disolventes comunes en la industria alimentaria, como se puede evidenciar en la (TABLA 1), se evaluaron diferentes aspectos ya investigados por otros referentes con el propósito de identificar los eficientes para promover alternativas más saludable, eficientes y económicas de las que ofrecen los solventes comunes en la industrias alimentarias objeto de estudio del presente trabajo.

Dicho lo anterior, El Cloruro de colina y glicerol, demostraron que combinado son eficaces en la extracción de polifenoles y cafeína de la pulpa de café, alcanzando un

rendimiento del 25% y una actividad antioxidante de 82.04  $\mu\text{mol TE/g}$ . A una proporción de 1:3, temperatura de 70°C, agitación de 600 RPM parece ser óptima para maximizar la extracción de estos compuestos bioactivos. Los polifenoles son conocidos por sus propiedades antioxidantes, lo que sugiere que este disolvente eutéctico tiene un gran potencial como ingrediente funcional en la industria alimentaria y farmacéutica. Por ejemplo, los extractos de flavonoides obtenidos mediante disolventes eutécticos pueden mejorar la estabilidad antioxidante en bebidas funcionales y prolongar la vida útil de productos de panadería.

La eficacia de este disolvente puede atribuirse a la capacidad del cloruro de colina y el glicerol para formar enlaces de hidrógeno con los polifenoles, mejorando su solubilidad.

Nuevamente, el cloruro de colina combinado con glicerol en una proporción de 1:5, usado para extraer de Las hojas de olivo flavonoides, isoflavonoides y otros compuestos fenólicos, alcanzo un rendimiento del 10% y una actividad antioxidante 27.700 – 36.500 mg eq. Las condiciones de temperatura 80 °C y agitación 3.000 RPM durante 120 minutos muestra un rendimiento poco favorable en comparación al caso anterior, de lo que se puede concluir que no todos los tipos de materiales vegetales aun que se utilice el mismo solvente, tiene el mismo rendimiento en la extracción de los compuestos, como se puede evidenciar en el café se puede identificar un rendimiento más eficiente en comparación con los extractos verdes en la utilización del mismo disolvente, lo que conlleva a que se debe tener muy en cuenta el tipo de material vegetal si habla de la eficiencia en la industria alimentaria.

Por otra parte, el L-prolina y glicerol en una proporción de 5:2, ácido málico en una proporción de 1:1, urea en proporciones de 1:2 y 1:3 y cloruro de colina combinado con glicerol, en proporciones de 1:1 y 1:2 ha demostrado ser altamente eficaz para la extracción de antocianinas y compuestos fenólicos de extractos verdes, alcanzando un rendimiento del 91%. La agitación a 10.000 RPM durante 15 minutos y una temperatura constante de 50 °C optimizan la liberación de estos compuestos bioactivos. La actividad antioxidante, medida entre 100 y 600  $\mu\text{mol L}^{-1}$  por el método DPPH, subraya la capacidad de estos extractos. Este disolvente eutéctico muestra gran potencial para su aplicación en industrias alimentarias y farmacéuticas debido a su alta eficiencia de extracción y la potente actividad antioxidante de los extractos obtenidos.

Otros de los disolventes más eficiente, fueron la combinación de cloruro de colina, glicerina, glucosa y ácido láctico, utilizada en una proporción de 1:45 y sometida a una temperatura entre 40 y 60°C durante 15 minutos, con una agitación a 22.000 RPM, muestra ser altamente efectiva para la extracción de compuestos bioactivos de las hojas de perilla. Este método resultó en un contenido total de flavonoides (TFC) del 83.1% y un contenido total de terpenoides (TTC) del 23.3%, con una actividad antioxidante medida entre 0 y 600  $\mu\text{M/L}$  mediante el método DPPH. La agitación a alta velocidad y la inclusión de diversos componentes en el disolvente eutéctico facilitan la descomposición de las estructuras celulares y la liberación de los compuestos bioactivos. Estos resultados sugieren que esta combinación de disolventes es particularmente eficaz para la extracción de flavonoides y terpenoides, ofreciendo un gran potencial para su aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica, donde se valoran tanto la estabilidad antioxidante como las propiedades sensoriales de los productos.

Por últimos, La combinación de L-prolina y glicerol en una proporción de 1:2, utilizando una temperatura entre 60 - 80°C y un ultrasonido a 180 W durante 20 minutos. La cual, demostró ser altamente eficiente para la extracción de compuestos bioactivos de subproductos florales de azafrán. Este método alcanzó un rendimiento del 90% y una actividad antioxidante de 2,06 mg/mL, evaluada mediante los métodos DPPH y DPC. La alta eficiencia de este proceso se debe en gran parte al uso de ultrasonido, que facilita la ruptura de las estructuras celulares y la liberación de fenoles y flavonoides.

### **Productos Alimentarios que Incorporan Extractos flavonoides**

Los Extractos de flavonoides derivados de diversas fuentes han sido utilizados a partir de diversos subproductos y con aplicaciones en aderezos para salsas y preservación de vegetales (Martínez-Zamora et al., 2023), en desarrollo de alimentos funcionales en la industria láctea (Caleja, Barros, Antonio, Ciric, Barreira, et al., 2015; Caleja, Barros, Antonio, Ciric, Soković, et al., 2015), como colorante alimentario (Singh et al., 2023) y en el desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos (Padhi, Singh, Orsat, Routray, 2024).

Un estudio reportado por Sen et al. (2024) elaboraron bebidas de tipo smoothie compuestas por fresa y yogur, enriquecidas con compuestos bioactivos, incorporando extracto de NADES seleccionado en diversas proporciones. El objetivo era valorar el orujo de girasol como un aditivo alimentario de gran valor y examinar los efectos de la solución de NADES en diferentes proporciones. La investigación determinó que la incorporación de extractos de fenoles derivados del orujo de girasol, obtenidos a través de la extracción asistida por microondas y el uso de solventes eutécticos naturales

(NADES), potencia de manera significativa la capacidad antioxidante de los smoothies elaborados con fresas y yogur. La fortificación con estos extractos aumentó la capacidad antioxidante en un rango que oscila entre el 12.4% y el 68.6%, y mejoró la capacidad de eliminación de radicales libres hasta un 67.9%, tanto en las etapas iniciales como tras una digestión gastrointestinal simulada. Por otra parte, Manuela et al. (2020) formularon una bebida achocolatada incorporando un extracto de polifenoles obtenidos a partir de subproductos de cacao, demostrando, así, que la fortificación puede ser una estrategia efectiva para incrementar el valor funcional de la bebida, duplicando al menos su contenido de polifenoles con tan solo un 1% de extracto de NADES añadido. Además, otro estudio en el cual se utilizó un extracto de polifenoles (0.55% del peso total de la mezcla) como conservante natural en salchichas fermentadas mostraron que las salchichas enriquecidas con polifenoles tenían niveles significativamente más bajos de oxidación lipídica (peróxidos y TBARS) en comparación con las salchichas convencionales con nitritos, con una mayor estabilidad observada en las que contenían solo polifenoles sin nitritos, sin alterar las características sensoriales (Nikolić et al., 2020).

Los extractos de flavonoides obtenidos mediante solventes eutécticos naturales profundos (NADES), aunque representan una tecnología innovadora y prometedora, son una herramienta relativamente reciente cuya aplicación en la industria alimentaria aún no ha sido explorada de manera exhaustiva. Si bien algunos estudios iniciales han demostrado su potencial para mejorar el valor funcional y antioxidante de alimentos como smoothies, bebidas achocolatadas y productos cárnicos, la investigación sobre sus aplicaciones sigue siendo limitada. Los resultados preliminares sugieren que estos extractos pueden aprovechar subproductos agroindustriales y proporcionar beneficios

significativos, como la mejora de la capacidad antioxidante y la reducción de la oxidación lipídica. Sin embargo, es necesario continuar explorando su efectividad en un mayor rango de productos y condiciones, así como evaluar su viabilidad económica y su impacto en la calidad sensorial y la seguridad alimentaria.

## Conclusión

Los disolventes naturales eutécticos (NADES) demuestran ser una alternativa eficaz y sostenible para la extracción de flavonoides, logrando rendimientos significativos y mejorando la capacidad antioxidante de los extractos en comparación con métodos convencionales. Además, su perfil ambientalmente amigable y su capacidad para reutilizar subproductos alimentarios subrayan su papel en la promoción de la economía circular y la sostenibilidad en la industria alimentaria.

Se identificaron combinaciones de NADES, como cloruro de colina con glicerol y L-prolina con glicerol, como efectivas para extraer flavonoides y otros compuestos fenólicos de diversos materiales vegetales. La elección del solvente depende de las características del subproducto y los compuestos objetivo, destacando la necesidad de ajustar condiciones como proporción, temperatura y tiempo de extracción.

Los extractos obtenidos con NADES presentan rendimientos comparables o superiores a los métodos convencionales y mantienen una alta calidad, evidenciada por su capacidad antioxidante y estabilidad de los compuestos bioactivos. Además, el uso de NADES minimiza la degradación térmica y química asociada con solventes tradicionales, preservando mejor las propiedades funcionales.

Los extractos de flavonoides obtenidos mediante NADES tienen aplicaciones prometedoras en productos funcionales como smoothies, bebidas achocolatadas y conservantes naturales en carnes procesadas. Su incorporación no solo mejora la capacidad antioxidante y la estabilidad del producto, sino que también apoya la tendencia hacia alimentos más naturales y funcionales en la industria.

## Referencias

- Airouyuwa, J. O., Mostafa, H., Riaz, A., Stathopoulos, C., & Maqsood, S. (2023). Disolventes eutécticos profundos naturales y extracción verde asistida por microondas para la recuperación eficiente de compuestos bioactivos a partir de subproductos del procesamiento de dátiles (*Phoenix dactylifera* L.): Modelado, optimización y caracterización fenólica. *Tecnología de Alimentos y Bioprocesos*, 16(4), 824-843.
- Aherne, S. A., & O'Brien, N. M. (2002). Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*, 18(1), 75-81.
- Ares G., Gimenez A., Gambaro A. Consumer perceived healthiness and willingness to try functional milk desserts. Influence of ingredient, ingredient name and health claim. *Food Qual. Prefer.* 2009; 20:50–56. Doi: 10.1016/j.foodqual.2008.07.002.
- Baker MT, Lu P, Parrella JA, Leggette HR. Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Jan 22;19(3):1217. Doi: 10.3390/ijerph19031217. PMID: 35162240; PMCID: PMC8835010.
- Bragagnolo, F. S., Socas-Rodríguez, B., Mendiola, J. A., Cifuentes, A., Funari, C. S., & Ibáñez, E. (2022). Pressurized natural deep eutectic solvents: An alternative approach to agro-soy by-products. *Frontiers in Nutrition*, 9, 953169.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Ciric, A., Barreira, J. C. M., Sokovic, M., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Development of a functional dairy food: Exploring bioactive and preservation effects of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Functional Foods*, 16, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.033>
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Ciric, A., Soković, M., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). *Foeniculum vulgare* Mill. As natural conservation enhancer and health promoter by incorporation in cottage cheese. *Journal of Functional Foods*, 12, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.016>
- Carreón-Hidalgo, J. P., de Lourdes Ruiz-Peralta, M., & Corona-Jiménez. (2024). E. Solventes eutécticos profundos naturales: Aplicaciones en biotecnología y otros

sectores industriales Natural deep eutectic solvents: Applications in biotechnology and other industrial sectors.

- Cerdá-Bernad, D., Pitterou, I., Tzani, A., Detsi, A., & Frutos, M. J. (2023). Nuevos hidrogeles de quitosano/alginato como portadores de extractos enriquecidos con fenólicos a partir de subproductos florales de azafrán utilizando disolventes eutécticos profundos naturales como medios de extracción verdes. *Investigación Actual en Ciencia de los Alimentos*, 6, 100469.
- Chaves JO, de Souza MC, da Silva LC, Lachos-Pérez D, Torres-Mayanga PC, Machado APDF, Forster-Carneiro T, Vázquez-Espinosa M, González-de-Peredo AV, Barbero GF, Rostagno MA. Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques.
- Front Chem. 2020 Sep 25; 8:507887. Doi: 10.3389/fchem.2020.507887. PMID: 33102442; PMCID: PMC7546908.
- Cheng, Y., Zhao, H., Cui, L., Hussain, H., Nadolnik, L., Zhang, Z., ... & Wang, D. (2024). Ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from peanut leave and stems using deep eutectic solvents and its molecular mechanism. *Food Chemistry*, 434, 137497.
- Chueca, A. S. (2004). Flavonoides: compuestos bioactivos de los alimentos. *Boletín de la sociedad de pediatría de Aragón, la rioja y Soria*, 34(3), 88-92.
- Colchado Tineo, M. R. D. M. (2023). Reaprovechamiento de algunos subproductos de la industria alimentaria como alimento funcional.
- Contreras, J. D. F., Plaza, F. A. S., Rivadeneira, J. P. D., & Rivadeneira, A. A. D. (2022). Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales. *Revista centro azúcar*, 49(4).
- De la Vega, H. S. T. (2019). Recuperación de compuestos fenólicos de bagazo de uva roja (*Vitis vinifera*) mediante solventes eutécticos profundos naturales.
- Giménez, A., Montoli, P., Curutchet, M. R., & Ares, G. (2021). Estrategias para reducir la pérdida y el desperdicio de frutas y hortalizas en las últimas etapas de la cadena agroalimentaria: avances y desafíos. *Agrociencia Uruguay*, 25(NSPE2).

- González-Laredo, R. F., Sayago-Monreal, V. I., Moreno-Jiménez, M. R., Rocha-Guzmán, N. E., gallegos-Infante, J. A., Landeros-Macías, L. F., & Rosales-Castro, M. (2023).
- Gullón, P., Gullón, B., romaní, A., Rocchetti, G., & lorenzo, J. M. (2020). Smart advanced solvents for bioactive compounds recovery from agri-food by-products: a review. *Trends in food science & technology*, *101*, 182-197.
- Guntero, V. A., Longo, M. B., Ciparicci, S., Martini, R. E., & Andreatta, A. E. (2015, August). Comparación de métodos de extracción de polifenoles a partir de residuos de la industria vitivinícola. CAIQ2015-VII Congreso Argentino de ingeniería química. 3ras. Jornadas Argentinas de seguridad de procesos.
- Kadoma, Y., & Fujisawa, S. (2008). A Comparative Study of the Radical-scavenging Activity of the Phenolcarboxylic Acids Caffeic Acid, p-Coumaric Acid, Chlorogenic Acid and Ferulic Acid, With or Without 2-Mercaptoethanol, a Thiol, Using the Induction Period Method. *Moléculas*, *13*(10), 2488–2499. <https://doi.org/10.3390/molecules13102488>.
- Kalogiouri, N. P., Palaiologou, E., Papadakis, E. N., Makris, D. P., Biliaderis, C. G., & Mourtzinou, I. (2022). Insights on the impact of deep eutectic solvents on the composition of the extracts from lemon (*Citrus limon* L.) peels analyzed by a novel RP-LC–QTOF-MS/MS method. *European Food Research and Technology*, *248*(12), 2913-2927.
- Kuźbicka K, Rachoń D. Bad eating habits as the main cause of obesity among children. *Pediatric Endocrinol Diabetes Metab*. 2013;19(3):106-10. PMID: 25577898.
- Limón, D., Díaz, A., Mendieta, L., Luna, F., Zenteno, E., & Guevara, J. (2010). Los flavonoides: mecanismo de acción, neuroprotección y efectos farmacológicos. *Mensaje bioquímico*, *34*(1), 143-155.
- Lazović, M. Č., Jović, M. D., Petrović, M., Dimkić, I. Z., Gašić, U. M., Opsenica, D. M. M., ... & Trifković, J. Đ. (2024). Potential application of green extracts rich in phenolics for innovative functional foods: natural deep eutectic solvents as media for isolation of biocompounds from berries. *Food & Function*, *15*(8), 4122-4139.

- Luján Torres, V. E. (2022). *Estudio sobre el uso de lactosuero de queso panela para recuperar lactosa y formar co-cristales de lactosa-flavonoides* (doctoral dissertation, universidad autónoma de chihuahua).
- Mazzobre, M. F., & Vasile, F. E. (2023). Diseño de sistemas de conservación de biomoléculas para favorecer la innovación en la industria alimentaria. *Ciencia Interior-Revista de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), 13-13.
- Manuela, P., Drakula, S., Cravotto, G., Verpoorte, R., Hruškar, M., Radojčić Redovniković, I., & Radošević, K. (2020). Biological activity and sensory evaluation of cocoa by-products NADES extracts used in food fortification. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102514>
- Martínez-Zamora, L., Cano-Lamadrid, M., Artés-Hernández, F., & Castillejo, N. (2023). Flavonoid Extracts from Lemon By-Products as a Functional Ingredient for New Foods: A Systematic Review. In *Foods* (Vol. 12, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods12193687>
- Meenu, M., Bansal, V., Rana, S., Sharma, N., Kumar, V., Arora, V., & Garg, M. (2023). Deep eutectic solvents (DESs) and natural deep eutectic solvents (NADESs): Designer solvents for green extraction of anthocyanin. In *Sustainable Chemistry and Pharmacy* (Vol. 34). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101168>.
- Natural deep eutectic solvents (NaDES) as an emerging technology for the valorisation of natural products and agro-food residues: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(12), 6660-6673.
- Nikolić, A., Đorđević, V., Parunović, N., Stefanović, S., Đurić, S., Babić, J., & Vasilev, D. (2020). Can polyphenols be used as natural preservatives in fermented sausages? *Acta Veterinaria*, 70(2), 219–237. <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0016>
- Otemuyiwa, I. O., Williams, M. F., & Adewusi, S. A. (2017). Antioxidant activity of health tea infusions and effect of sugar and milk on in-vitro availability of phenolics in tea, coffee and cocoa drinks. *Nutrition and Food Science*, 47(4), 458–468. <https://doi.org/10.1108/NFS-08-2016-0134>.
- Ochoa, C. I., & Ayala, A. A. (2004). Los flavonoides: apuntes generales y su aplicación en la industria de alimentos. *Ingeniería y competitividad*, 6(2), 64-74.

- Pacheco, F., Peraza, M., & Pinto, I. (2021). Flavonoides: micronutrientes con amplia actividad biológica. *Revista de la Facultad de Medicina*, 44(1), 122-140.
- Padhi, S., Singh, A., Orsat, V., Routray, W. (2024). Flavonoids as Functional Foods and Nutraceuticals: Recent Advances. In: Bashir, K., Jan, K., Ahmad, F.J. (eds) *Functional Foods and Nutraceuticals: Chemistry, Health Benefits and the Way Forward*. Springer, Cham. [https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/978-3-031-59365-9\\_8](https://doi-org.udea.lookproxy.com/10.1007/978-3-031-59365-9_8)
- Ramírez Delgadillo, C. J. (2020). Evaluación de la extracción de flavonoides a partir de la cáscara de naranja (bachelor's thesis, fundación universidad de américa).
- Rodríguez-Martínez, B., Ferreira-Santos, P., Alfonso, I. M., Martínez, S., Genisheva, Z., & Gullón, B. (2022). Deep eutectic solvents as a green tool for the extraction of bioactive phenolic compounds from avocado peels. *Molecules*, 27(19), 6646.
- Rodríguez-Mateos, A., Heiss, C., Borges, G., & Crozier, A. (2014). Los (poli)fenoles de las bayas y la salud cardiovascular. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 62(18), 3842-3851.
- Sanz Heras, S. (2018). Identificación y caracterización de microorganismos alterantes del vino en bodega: revisión de aplicaciones de las nuevas técnicas moleculares.
- Serrano García, S. (2021). Valorización de subproductos de la naranja y su aplicación en la industria alimentaria.
- Şen, F. B., Nemli, E., Bekdeşer, B., Çelik, S. E., Lalikoglu, M., Aşçı, Y. S., Capanoglu, E., Bener, M., & Apak, R. (2024). Microwave-assisted extraction of valuable phenolics from sunflower pomace with natural deep eutectic solvents and food applications of the extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05942-2>
- Singh, T., Pandey, V. K., Dash, K. K., Zanwar, S., & Singh, R. (2023). Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100628>
- Torres Palacio, P. C. (2021). Síntesis, propiedades, caracterización y aplicaciones químicas de novedosos disolventes eutécticos profundos: DES (Deep Eutectic Solvents).

Vo, T. P., Nguyen, M. T., Ho, T. A. T., Luong, N. L. U., & Nguyen, D. Q. (2024). Combining the natural deep eutectic solvents and high-speed-shearing-enzymatic-assisted extraction to recover flavonoids and terpenoids from perilla leaves. *Journal of Molecular Liquids*, 411, 125720.

Winterton N. The green solvent: a critical perspective. *Clean Technol Environ Policy*. 2021;23(9):2499-2522. Doi: 10.1007/s10098-021-02188-8. Epub 2021 Sep 30. PMID: 34608382; PMCID: PMC8482956.

Zhang QW, Lin LG, Ye WC. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chin Med*. 2018 Apr 17; 13:20. Doi: 10.1186/s13020-018-0177-x. PMID: 29692864; PMCID: PMC5905184.