



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**PROPUESTA PARA LA FORMULACIÓN DE UN ADITIVO ANTIOXIDANTE A  
BASE DE ISOFLAVONAS DE SOYA (*Glycine max*) PARA SU APLICACIÓN EN LA  
INDUSTRIA ALIMENTARIA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**AUTOR: HENRY PAUL GUILCAMAIGUA ÁLVAREZ**

**TUTOR: DIANA LUCÍA CALERO CONSUEGRA**

**Quito-Ecuador**

**2026**

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

Yo, Henry Paul Guilcamaigua Álvarez con documento de identificación N° 1727513473  
manifestó 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.

Quito, 24 de Febrero del año 2026

Atentamente,



-----  
Henry Paul Guilcamaigua Alvarez  
1727513473


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

Yo, Henry Paul Guilcamaigua Álvarez con documento de identificación No.1727513473, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “ Propuesta para la Formulación de un Aditivo Antioxidante a base de Isoflavonas de Soya (*Glycine max*) para su Aplicación en la Industria Alimentaria”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de Febrero del año 2026

Atentamente,



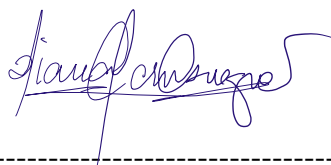
-----  
Henry Paul Guilcamaigua Alvarez  
1727513473

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diana Lucía Calero Consuegra con documento de identificación N° 1800887927, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA PARA LA FORMULACIÓN DE UN ADITIVO ANTIOXIDANTE A BASE DE ISOFLAVONAS DE SOYA (*Glycine max*) PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA, realizado por Henry Paul Guilcamaigua Álvarez con documento de identificación N° 1727513473, 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.

Quito, 24 de Febrero del año 2026

Atentamente,



-----  
Ing. Diana Lucía Calero Consuegra. Mgtr

1800887927

## **Dedicatoria**

A mis padres, por ser el pilar de mi vida, por su amor incondicional, esfuerzo, por confiar en mi en los momentos más difíciles, su sacrificio y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del trabajo y la perseverancia.

A mi hermano, por su compañía, apoyo constante y motivación en cada etapa de este camino académico.

Este logro también es suyo.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres y a mi hermano, quienes han sido mi inspiración, motivación y fortaleza a lo largo de este proceso académico y personal, su apoyo constante, comprensión y paciencia en cada paso del camino, sin su sacrificio, dedicación y fe en mis capacidades, este proyecto no habría sido posible, a ellos les debo mi formación y mis valores que hoy me definen como persona.

Agradezco de manera especial a la Ing. Diana Calero, por su guía, compromiso, paciencia y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Gracias por brindarme la confianza para desarrollar este proyecto con responsabilidad y profundidad.

## **Resumen**

La soya (*Glycine max*) se destaca por su composición bromatológica y fitoquímica, donde sobresale el contenido de isoflavonas debido a la capacidad antioxidante, lo que llevó a plantear esta investigación con el objetivo de desarrollar una propuesta para la formulación y aplicación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*) en la industria alimentaria, mediante una revisión sistematizada de la estabilidad, viabilidad y proceso productivo, aportando a la conservación y calidad de los productos alimenticios. La investigación se realizó en 2 fases: 1) Revisión sistematizada, basada en la búsqueda de bases como Scielo, PubMed, Google Scholar y ScienceDirect, aplicando criterios de inclusión (2019–2024) seleccionando documentos con acceso completo y con más relevancia, se ordenó y combino la información extractada dentro de cada epígrafe propuesto, para sintetizar la información en una estructura más asequible y de acuerdo con los objetivos, y 2) Propuesta para la formulación del aditivo antioxidante en productos alimenticios, ejecutada en 4 etapas: 1) Extracción, 2) Cuantificación, 3) Microencapsulación, 4) Evaluación de estabilidad. Como resultados, se evidenció que la extracción asistida por ultrasonido, tiene un mayor rendimiento y pureza, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) fue el método más eficiente frente a los otros métodos, ya que no se necesita de derivatización y es más rápida, la microencapsulación mediante el secado por aspersión ayuda a proteger a las isoflavonas frente a factores ambientales, conservando sus propiedades antioxidantes, además que tiene una retención de hasta el 95 % del contenido fenólico, los ensayos de índice de peróxidos (IP) y la eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), resultaron los más aptos para determinar la funcionalidad antioxidante del aditivo. Sobre la base de estos se concluye que la propuesta de formulación del aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya representa una alternativa, segura y sustentable frente al uso de antioxidantes sintéticos en el sector alimenticio.

**Palabras clave:** Vida útil, microencapsulación, cuantificación, estabilidad, técnicas analíticas.

## **Abstract**

Soy (*Glycine max*) stands out for its bromatological and phytochemical composition, where the isoflavone content stands out due to its antioxidant capacity, which led to the proposal of this research with the objective of developing a proposal for the formulation and application of an antioxidant additive based on soy isoflavones (*Glycine max*) in the food industry, through a systematic review of the stability, viability and production process, contributing to the conservation and quality of food products. The research was conducted in 2 phases: 1) Systematized review, based on the search of databases such as Scielo, PubMed, Google Scholar and ScienceDirect, applying inclusion criteria (2019-2024) selecting documents with full access and with more relevance, the extracted information was ordered and combined within each proposed heading, to synthesize the information in a more affordable structure and according to the objectives , and 2) Proposal for the formulation of the antioxidant additive in food products, executed in 4 stages: 1) Extraction, 2) Quantification, 3) Microencapsulation, 4) Stability evaluation. As results, it was evidenced that the ultrasound-assisted extraction has a higher yield and purity, high performance liquid chromatography (HPLC) was the most efficient method compared to the other methods, since it does not require derivatization and is faster, microencapsulation by spray drying helps to protect isoflavones against environmental factors, The peroxide index (PI) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH) tests were the most suitable to determine the antioxidant functionality of the additive. Based on these results, it is concluded that the proposed formulation of the soy isoflavone-based antioxidant additive represents a safe and sustainable alternative to the use of synthetic antioxidants in the food sector.

**Keywords:** Shelf life, microencapsulation, quantification, stability, analytical techniques.

## Índice de contenidos

<b>1</b>	<b>Fundamentación teórica .....</b>	<b>3</b>
1.1	Calidad y conservación de alimentos .....	3
1.1.1	Calidad de los alimentos .....	3
1.1.2	Conservación de los alimentos .....	3
1.2	Aditivos en la industria alimentaria .....	4
1.3	Antioxidantes .....	5
1.3.1	Comparación entre antioxidantes sintéticos y naturales .....	5
1.4	Isoflavonas de soya como compuestos antioxidantes naturales.....	6
1.4.1	Soya ( <i>Glycine max</i> ) .....	6
1.4.2	Composición bromatológica y fitoquímica de <i>Glycine max</i> .....	7
1.4.3	Flavonoides.....	8
1.4.4	Isoflavonas.....	8
1.4.5	Tipos de isoflavonas.....	9
1.4.6	Mecanismo de acción.....	10
1.5	Aplicaciones tecnológicas de isoflavonas en alimentos.....	11
1.5.1	Consideraciones generales para la formulación de aditivos .....	11
1.5.2	Técnicas analíticas basadas en la identificación y cuantificación de isoflavonas...	13
1.5.3	Microencapsulación.....	16
1.5.4	Microcápsulas .....	17
1.5.5	Métodos de encapsulación .....	17
1.6	Normativas sobre el uso de aditivos antioxidantes .....	18
1.6.1	Regulaciones.....	18
<b>2</b>	<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>20</b>
2.1	Búsqueda bibliográfica .....	20
2.2	Selección y acceso a los documentos. ....	20
2.3	Análisis de los documentos. ....	20
2.4	Síntesis de la información. ....	21
2.5	Redacción del artículo.....	21
2.6	Propuesta para la formulación del aditivo antioxidante en productos alimenticios .....	21
<b>3</b>	<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>23</b>
3.1	Extracción de isoflavonas: Métodos basados en flavonoides.....	23
3.2	Comparación de métodos cromatográficos para la identificación y cuantificación de isoflavonas.....	25
3.3	Encapsulación de compuestos antioxidantes en alimentos .....	26

<b>3.4</b>	<b>Evaluación de indicadores de estabilidad.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Propuesta para la formulación del aditivo antioxidante en productos alimenticios .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>35</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Mecanismo de acción de los antioxidantes al neutralizar radicales libres.....	5
<b>Figura 2.</b> Estructura química de las isoflavonas.....	9
<b>Figura 3.</b> Estructura de isoflavonas agliconas.....	9
<b>Figura 4.</b> Partes de la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). ....	14
<b>Figura 5.</b> Montaje general de la cromatografía en capa fina (TLC).....	15
<b>Figura 6.</b> Partes de un cromatógrafo de gases (GC).....	16
<b>Figura 7.</b> Métodos de encapsulación utilizados comúnmente en la industria de alimentos....	18
<b>Figura 8</b> Metodología propuesta del aditivo antioxidante.....	30

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía de la soya ( <i>Glycine max</i> ).....	6
<b>Tabla 2</b> Composición nutrimental de la soya, macro y micro nutrimentos en 100 g de soya...	7
<b>Tabla 3</b> Clasificación de aditivos alimentarios de acuerdo a su función tecnológica. ....	19
<b>Tabla 4</b> Métodos utilizados para la extracción.....	24
<b>Tabla 5</b> Comparación de métodos cromatográficos.....	25
<b>Tabla 6</b> Técnicas de Microencapsulación sobre los Antioxidantes Alimentarios.....	27
<b>Tabla 7</b> Indicadores de Estabilidad para un Aditivo. ....	29

## Introducción

El proceso de oxidación ha sido una problemática en la industria alimentaria, ya que afecta el tiempo de vida útil de los alimentos, daña su calidad, deteriora sus características organolépticas y reduce su valor nutricional. Además, estudios recientes han demostrado que algunos de los compuestos formados durante la oxidación pueden tener consecuencias para la salud (Serra et al., 2020). Como solución ante este problema, han surgido opciones como es el caso de aditivos alimentarios, empleados en productos industrializados, con el fin de mantener o mejorar sus propiedades biológicas y sensoriales, con respecto al pH, textura, color, sabor, homogeneidad, dulzor, estabilidad y vida útil (Martínez, 2022). Dichos aditivos son añadidos a los alimentos en su proceso de elaboración, preparación, transformación, envase, transportamiento o almacenamiento, con el fin de obtener alimentos más seguros, previniendo su oxidación y conservación (Velázquez et al., 2019).

Diversos estudios han demostrado que algunos aditivos sintéticos como el butilhidroxitolueno (BHA) y el butilhidroxianisol (BHT) pueden ser perjudiciales para la salud, debido a sus posibles efectos de toxicidad y carcinogenicidad al consumirse a altas concentraciones, superando la ingesta diaria aceptable (IDA), siendo estos de 0,3 mg/kg/día para el BHA y de 0,1 mg/kg/día<sup>13</sup> para el BHT (Romero, 2025), con estos antecedentes, se planteó el desarrollo de una propuesta para la formulación de aditivos antioxidantes a base de isoflavonas de soya, siendo que tienen como principal actividad biológica la acción antioxidante (Martínez, 2019), lo que proporciona una base sólida de evidencias para su implementación en aditivos funcionales que beneficien la salud humana y prolonguen la vida útil en alimentos (Vargas, 2023). Esto ha generado gran interés en los investigadores e industrias alimentarias, ya que son elementos biológicamente activos que interfieren en las actividades celulares y fisiológicas, promoviendo la salud (Reyes, 2022). La incorporación de estos compuestos permitiría mejorar

la estabilidad de los productos alimenticios, favoreciendo su aplicación en la industria alimentaria.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta para la formulación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*) para la aplicación en la industria alimentaria, mediante una revisión sistematizada sobre la estabilidad, viabilidad y proceso productivo, aportando a la conservación y calidad de los productos alimenticios. Para ello, se realizó una indagación bibliográfica exhaustiva sobre los tipos y propiedades antioxidantes de las isoflavonas, su estabilidad y aplicaciones en la industria alimentaria, así como métodos de obtención. Finalmente, se diseñó una propuesta para formulación, considerando el método más adecuado de extracción, en función de la estabilidad y funcionalidad de las isoflavonas en los productos alimentarios.

Dado que las isoflavonas de soya actúan como antioxidantes naturales, se presenta la pregunta de si su aplicación como un aditivo antioxidante permitirá mejorar la estabilidad de los alimentos, sin comprometer sus características organolépticas, por ende, la hipótesis de esta investigación plantea que es posible desarrollar un aditivo antioxidante eficaz a partir de isoflavonas de soya, capaz de mejorar la conservación de productos alimentarios y reducir la necesidad de antioxidantes sintéticos.

El desarrollo de esta propuesta permitirá proporcionar una alternativa viable y sustentable para la industria alimentaria, promoviendo el uso de compuestos naturales con beneficios tanto para los consumidores como para los productores.

## **1 Fundamentación teórica**

### **1.1 Calidad y conservación de alimentos**

#### **1.1.1 Calidad de los alimentos**

La calidad de los alimentos es el conjunto de características (sabor, color, textura, olor, valor nutricional, entre otros) que hacen que un producto sea aceptado o rechazado por el consumidor (Villamiel, 2022).

Para evaluar la calidad del producto se utilizan varios procedimientos como pruebas físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales (Zamora, 2020), con el fin de determinar sus propiedades organolépticas (sabor, olor, color y textura), y que los productos se encuentren sin contaminantes químicos, físicos y microbiológicos (Mendoza et al., 2020).

Uno de los factores que afecta la calidad de los alimentos es la oxidación, una reacción de oxido-reducción en la que se pierden electrones y se generan radicales libres ( $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{O}_2\bullet^-$ ,  $\text{ROO}\bullet$ ) lo que provoca alteraciones en sus propiedades organolépticas (Martínez, 2019).

El deterioro oxidativo es una problemática, ya que produce sabor rancio, disminuye la calidad nutricional y sensorial de los alimentos, al generar compuestos tóxicos que conllevan a una disminución en la inocuidad (Juncos et al., 2021), por lo tanto, controlar la oxidación es de gran importancia para poder garantizar la calidad de los productos alimenticios.

#### **1.1.2 Conservación de los alimentos**

La conservación de los alimentos tiene como objetivo preservar y conservar sus propiedades organolépticas en el transcurso del procesamiento, envasado, transporte o almacenamiento del alimento (Tubay et al., 2024), sin embargo, durante estos procesos pueden ocurrir alteraciones como la pérdida de nutrientes, sabor o aroma que afectan la calidad del producto, lo que conlleva a la incorporación de aditivos, los cuales ayudan a controlar las reacciones que

deterioran la calidad de los alimentos, permitiendo mantener sus propiedades esperadas (Inocente et al., 2021)

Los alimentos se encuentran en constante exposición a condiciones medioambientales, lo que generalmente provoca cambios en su composición inicial, como cambios de temperatura lo que puede acelerar la descomposición de nutrientes sensibles al calor, oxidación y exposición a microorganismos, por lo cual, los aditivos van a tener gran relevancia al conservar las cualidades y características de los alimentos (Vásquez, 2022).

### **1.1.2.1 Oxidación lipídica**

La oxidación lipídica es un proceso que afecta la calidad de los alimentos durante su procesamiento y conservación, afectando las características organolépticas, como el olor o sabor, su valor nutricional, reduciendo su vida útil (Rubio, 2020), esto debido al deterioro oxidativo de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (ácido alfa-linolénico, ácido linoleico, ácido oleico), en el cual incluyen diferentes reacciones como la autooxidación, que es el proceso de deterioro oxidativo de los lípidos quienes reaccionan con el oxígeno del aire formando radicales libres y productos de oxidación como hidroperóxidos, alcoholes y ácidos grasos, lo que conlleva un sabor rancio en alimentos (Mariana et al., 2021), la oxidación enzimática es causada por enzimas, como las hidrolasas de ésteres carboxílicos, quienes catalizan la degradación de grasas de los alimentos, y la fotooxidación que ocurre cuando un alimento está expuesto a la luz, lo que produce la oxidación de lípidos, por presencia de oxígeno y sensibilizadores, los cuales aceleran la reacción al absorber la luz, siendo la autooxidación la más común durante el almacenamiento y conservación de alimentos (Serra et al., 2020).

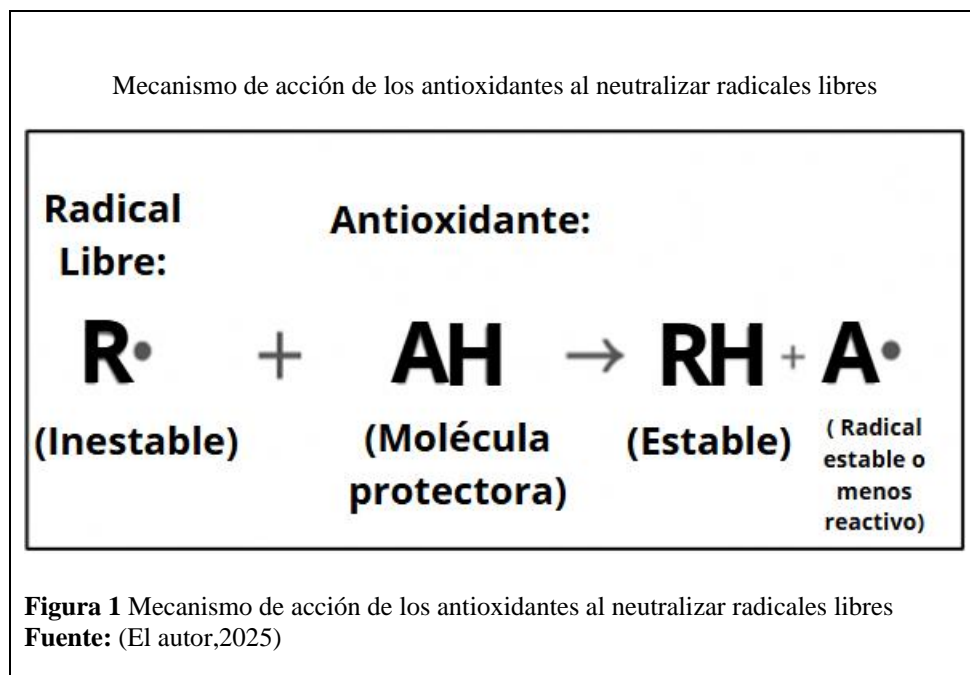
## **1.2 Aditivos en la industria alimentaria**

Los aditivos son sustancias que se agregan a algún alimento, con el fin de favorecer su conservación o para prolongar sus características nutritivas y organolépticas (Alarcón &

Araujo, 2021). En relación con los aditivos antioxidantes, estos tienen la capacidad de proteger a los alimentos de la oxidación lipídica (López et al., 2021).

### 1.3 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias capaces de prevenir, retrasar o eliminar el daño oxidativo, el cual deteriora componentes celulares como lípidos, proteínas o ácidos nucleicos por la acción de radicales libres (Valgimigli, 2023). Los antioxidantes logran esto al neutralizar radicales libres, esto debido a que donan un electrón a un radical libre y lo neutralizan, como se observa en la **Figura 1**, lo que detiene la reacción en cadena antes que dañen las moléculas vivas, lo cual reduce su capacidad de deteriorar (Vivanco et al., 2021).



#### 1.3.1 Comparación entre antioxidantes sintéticos y naturales

Los antioxidantes pueden ser compuestos naturales o sintéticos, capaces de prevenir o retardar el daño oxidativo, ya que actúan como eliminadores de agentes reductores, inactivadores de peróxidos, especies reactivas de oxígeno o quelantes de metales (Zulay, 2021).

Los antioxidantes sintéticos son de los más empleados en la industria alimentaria, utilizados para prevenir la descomposición de los alimentos, ayudando a prolongar su vida útil (Vieira &

Silva, 2019). Investigaciones aseguran que el uso de antioxidantes sintéticos tiene efectos dañinos en la salud, lo que puede causar genotoxicidad y carcinogenicidad en altas concentraciones (7,5 mg/kg de peso corporal/día o 5 mg/kg/día) (Gutiérrez, 2024).

Frente a esta problemática, ha aumentado el interés por los antioxidantes naturales, los cuales presentan una alternativa saludable en alimentos, con el fin de conservar sus propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales (Tubay et al., 2024). Estos compuestos, de igual manera actúan como donadores de electrones que son captados por los radicales libres, convirtiéndolos en estables y reduciendo su reactividad. A diferencia de los sintéticos, los antioxidantes naturales no representan riesgos tóxicos, lo que les convierte en una alternativa más saludable (Bernal et al., 2020).

## 1.4 Isoflavonas de soya como compuestos antioxidantes naturales

### 1.4.1 Soya (*Glycine max*)

La soya corresponde a la siguiente clasificación taxonómica (**Tabla 1**)

**Tabla 1.** Taxonomía de la soya (*Glycine max*)

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>Superdivisión</b>	Spermatophyta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Rósidos
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae Lindl.
<b>Género</b>	<i>Glycine</i>
<b>Especie</b>	<i>Glycine max</i>

**Fuente:** (USDA & NRCS, 2024)

### 1.4.2 Composición bromatológica y fitoquímica de *Glycine max*

La soya es un alimento que contiene entre un 38 y 40% de proteína, 18 % en grasas (principalmente insaturadas y saturadas), así como 15% de carbohidratos, 15% de fibra, de igual manera aporta en la mayoría de aminoácidos esenciales y minerales (Mg, P, Fe, Ca, Mn), también contiene vitaminas importantes como la E y la B6 (Morán et al., 2019).

La soya presenta un alto índice de ácidos grasos (AG) insaturados, entre ellos: el ácido oleico, el cual representan a los AG monoinsaturados, y dos AG poliinsaturados, el ácido linoleico (18: 2,  $\omega$ 6) y el ácido linolénico (18: 3,  $\omega$ 3), estos últimos son esenciales porque el organismo no puede sintetizarlos, por lo cual necesita consumirlos a través de la dieta debido a sus efectos antiaterogénicos, contribuyendo a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Vásquez, 2022). La soya destaca nutricionalmente por su elevado contenido de proteínas de alto valor biológico, así como macro y micro nutrientes. En la **Tabla 2** se enlistan los macro y micro nutrientes de la soya.

**Tabla 2** Composición nutrimental de la soya, macro y micro nutrimentos en 100 g de soya

COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE LA SOYA			
Componente alimentario	Contenido en g/ 100g	Componente alimentario	Contenido en g/ 100g
		<b>Minerales</b>	
Energía	446	Calcio	226.0
Hidratos de carbono	30.16	Fósforo	730.0
Proteínas	36.49	Hierro	15.70
Lípidos	19.94	Magnesio	280
		Sodio	2
		Potasio	1797.0
		Zinc	4.89
		<b>Vitaminas</b>	
		<b>Lípidos</b>	
Saturados	2.88	Vitamina A	1.0
Monoinsaturados	4.35	Vitamina C	6.0
Poliinsaturados	9.93	Tiamina	1.10
		Riboflavina	0.31
		Niacina	2.20
		Piridoxina	0.38
		Ácido Fólico	375.0
		Cobalamina	0

**Fuente:** (Jiménez, 2020)

Los fitoquímicos son compuestos bioactivos que las plantas producen como resultado del metabolismo primario y secundario, ya que participan en funciones fisiológicas esenciales para su crecimiento y desarrollo (Ahmad et al., 2021). En el caso de la soya sus principales componentes de actividad biológica incluyen terpenos, ácidos fenólicos y tiólicos, lignanos y flavonoides, siendo este último el más representativo en la soya, debido a su alto contenido de isoflavonas (Marino et al., 2019). Las concentraciones en las cuales están presentes en las isoflavonas en la soya son: genisteína 60%, daidzeína 30% y gliciteína 10% (Jiménez, 2020).

Asimismo, la soya contiene otros componentes bioactivos naturales como oligosacáridos, saponinas y fenólicos, los cuales han demostrado poseer diversas actividades biológicas, que incluyen acciones antioxidantes, antimutagénicas, anticancerígenas y citoprotectoras (Lee et al., 2020).

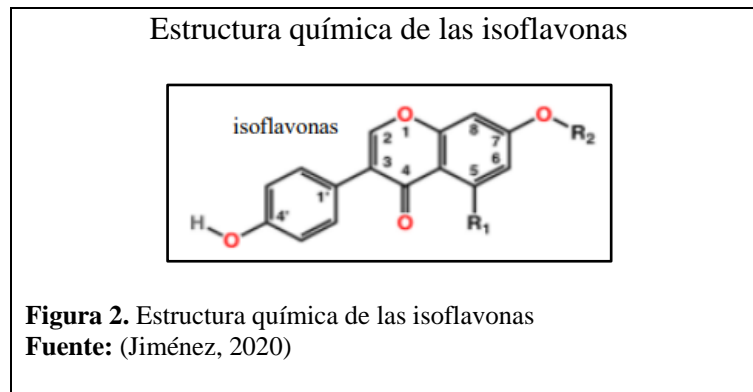
### **1.4.3 Flavonoides**

Los flavonoides son metabolitos secundarios que se encuentran en todas las partes de la planta, que cumplen con funciones importantes para su desarrollo y protección frente a factores externos (Vásquez, 2022). De igual manera, poseen propiedades antioxidantes (Marino et al., 2019), esto debido a que en su estructura química contiene varios grupos hidroxilo fenólicos y poseen una gran capacidad de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere un alto potencial antioxidante (Pacheco et al., 2021). Los flavonoides por su parte se sub dividen en flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavanonas, antocianinas (Misaraime, 2023).

### **1.4.4 Isoflavonas**

Las isoflavonas son los flavonoides más abundantes en la soya, este es el alimento que tiene mayor cantidad de isoflavonas (Vásquez, 2022). Son un grupo de compuestos heterocíclicos que se encuentran en forma libre como también en forma glucosilada en la soya, lo que les permite disolverse en agua (hidrosolubles), haciendo que se favorezca su absorción (Jiménez,

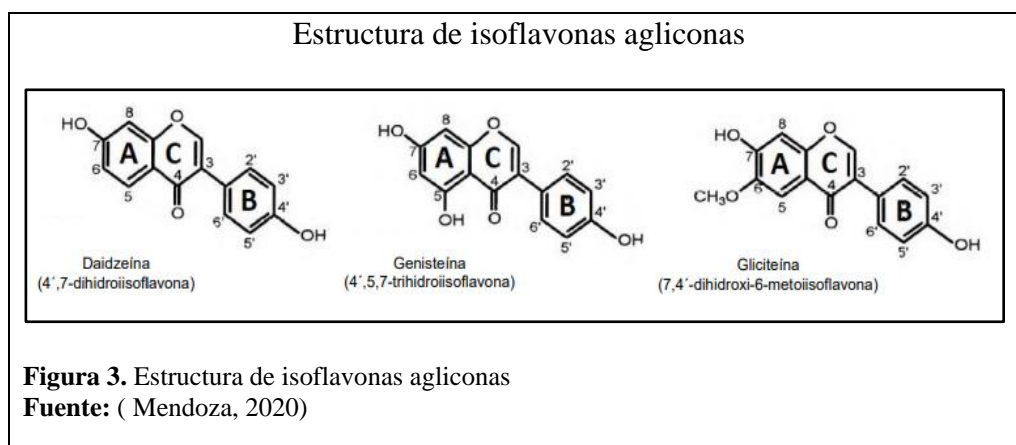
2020) . La estructura química de las isoflavonas se compone de dos anillos de benceno unidos a través de un anillo C de pirano heterocíclico en la posición 3 (**Figura 2**) (Chen & Chen, 2021).



### 1.4.5 Tipos de isoflavonas

Los tipos de isoflavonas que se encuentran en la soya pueden ser del tipo aglicona, son las formas libres las cuales no están unidas a azúcares como la genisteína, daidzeína y gliciteína, también se encuentran en forma de glicósidos, quienes están unidos a azúcares como la daidzína, genistína y glicitina (**Figura 3**) (Meregalli & Da Silva, 2019).

Este grupo de sustancias presentes en los granos de soya y consideradas también dentro del grupo de los fitoestrógenos, forman parte de los compuestos bioactivos no nutritivos, de naturaleza fenólica, no esterooidal, lo cual llaman la atención de investigadores debido a sus efectos antioxidantes (García et al., 2023).



#### **1.4.6 Mecanismo de acción**

Las isoflavonas de soya, pueden actuar como antioxidantes, debido a que contienen un número variable de grupos hidroxilo fenólicos en su estructura química, porque son muy buenos iniciadores del hierro y otros metales de transición, y lo más importante porque tienen una capacidad excepcional para secuestrar y neutralizar directamente varios radicales libres de O<sub>2</sub>, tales como radicales superóxido e hidroxilo, hidroperóxidos, peróxidos de lípidos y otros radicales, cuya característica es su gran desequilibrio energético, lo que los convierte en agentes altamente reactivos con gran poder oxidativo (Vásquez, 2022).

En este sentido, el mecanismo antioxidante puede prevenir el fenómeno de rancidez oxidativa en los alimentos, el cual se produce por medio de reacciones de radicales libres, especialmente oxígeno atmosférico, quien oxida los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, estos radicales libres tienen uno o más electrones sin aparear en su última capa, por tal razón son inestables y reaccionan destruyendo las moléculas grasas, lo que influye directamente con el alimento en su vida útil (sabor, olor), así como su valor nutricional por la destrucción de los ácidos grasos, vitaminas y aminoácidos, alterando las características organolépticas (Bernal et al., 2020), por tanto, la capacidad antioxidante de las isoflavonas puede permitir alargar el periodo de vida útil de los alimentos haciendo más lenta la descomposición química, esto se debe a que pueden retardar o prevenir los procesos de oxidación que dañan a las células, actuando como agentes reductores, ya que neutralizan estos procesos al donar electrones (Vélez, 2022).

De este modo, las isoflavonas no solo van a proteger a los alimentos del daño oxidativo, sino que también pueden presentarse como una alternativa como aditivos antioxidantes en la industria alimentaria, al retrasar el deterioro de lípidos y mejorar la estabilidad del producto.

## **1.5 Aplicaciones tecnológicas de isoflavonas en alimentos**

### **1.5.1 Consideraciones generales para la formulación de aditivos**

- **Indicadores de estabilidad en aditivos**

La estabilidad de los aditivos alimentarios es la capacidad de garantizar que mantenga sus características fisicoquímicas y funcionales durante sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, asegurando la calidad y seguridad, mediante diferentes parámetros que se medirán para determinar la calidad del producto (ARCSA, 2023). La capacidad antioxidante de los aditivos se logra determinar, ya sea de manera indirecta, mediante los métodos de oxidación lipídica, o directo con base en la actividad de eliminación de radicales libres (Nam et al., 2021).

- **Índice de Peróxidos (IP)**

El índice de peróxido es un parámetro que indica el grado de oxidación de una grasa o aceite, su aumento está influenciado por la exposición a factores ambientales y de procesamiento, frente a factores como la exposición de la luz, oxígeno, temperatura, entre otras. En la industria alimentaria este parámetro es muy significativo para la determinación del tiempo de vida útil de los productos (Borrayo, 2021).

El índice mide la concentración de radicales peróxidos e hidroperóxidos formados, expresados en mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa (Meq/kg). Estos compuestos se desarrollan en las primeras fases del proceso oxidativo, afectando la calidad del alimento. Según el Codex Alimentarius, por la Norma para Grasas y Aceites comestibles no Regulados por Normas Individuales, el límite para su comercialización es de 10 meq/kg, para la comercialización de productos alimenticios (Bernal et al., 2020).

- **Ensayo de eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)**

Es un método espectrofotométrico que determina el potencial de eliminar radicales libres de una molécula antioxidante, este método establece el potencial antioxidante de plantas, hierbas, semillas comestibles, cereales, entre otros, el DPPH es un radical libre estable y forma un color púrpura, que durante la eliminación de los radicales libres en la muestra, estos compuestos coloreados se convertirán en la hidrazina incolora y se medirán a 515 – 528 nm, para la estabilidad del DPPH se utiliza el metanol (Nam et al., 2021)

Según (Samaniego & Auria, 2025) valores elevados de IC<sub>50</sub> de (113,67 µg/mL), indica una baja capacidad antioxidante, ya que se requiere una mayor concentración del extracto para inhibir el 50 % de los radicales DPPH, a causa de una menor concentración de compuestos bioactivos o exposición a la luz, mientras que un menor IC<sub>50</sub>, valores de (2,77E-47 µg/mL) y (8,68E-24 µg/mL), reflejan una alta capacidad antioxidante, debido a la rápida disminución de la absorbancia del DPPH incluso a concentraciones mínimas, mientras que un IC<sub>50</sub> de (23,96 µg/ml), muestra una moderada actividad antioxidante.

- **Ensayo de eliminación de radicales del ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS)**

Método que determina la actividad antioxidante mediante la eliminación de radicales libres, utiliza el radical catión ABTS, para que reaccione con compuestos orgánicos presentes en las plantas, es útil para muestras con múltiples ingredientes, solubles o no en agua, y se mide con espectrofotómetro UV-VIS. La actividad antioxidante se expresa en equivalentes de ácido ascórbico, este método es rápido, sensible y ampliamente usado para evaluar alimentos, extractos vegetales y aceites (Nam et al., 2021).

- **Ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP)**

Es la capacidad de los componentes alimentarios de aceptar y donar electrones, al convertir  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ , lo que forma un color azul oscuro medido a 593 nm con espectrofotómetro UV, es además un método rápido, sencillo y económico, a pesar de que resultados pueden variar con el tiempo de análisis y el pH del medio (Nam et al., 2021)

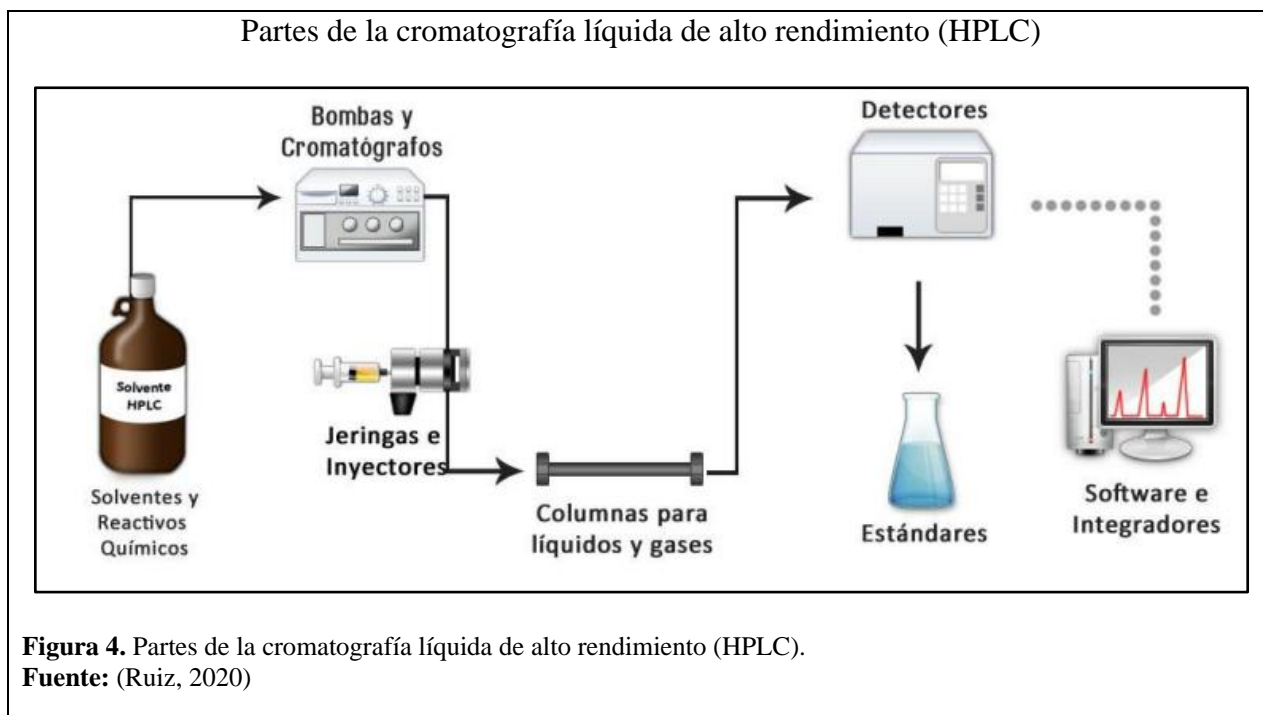
- **Parámetro antioxidante de captura de radicales peroxilo total (TRAP)**

El método TRAP mide la capacidad total de captura de radicales libres en alimentos, generando radicales peroxilo con AAPH y monitoreando el consumo de oxígeno. La fase de retraso antes del aumento del consumo de oxígeno refleja la capacidad antioxidante y se expresa como equivalentes de Trolox (Nam et al., 2021)

### **1.5.2 Técnicas analíticas basadas en la identificación y cuantificación de isoflavonas**

- **Cromatografía Líquida de alto rendimiento (HPLC)**

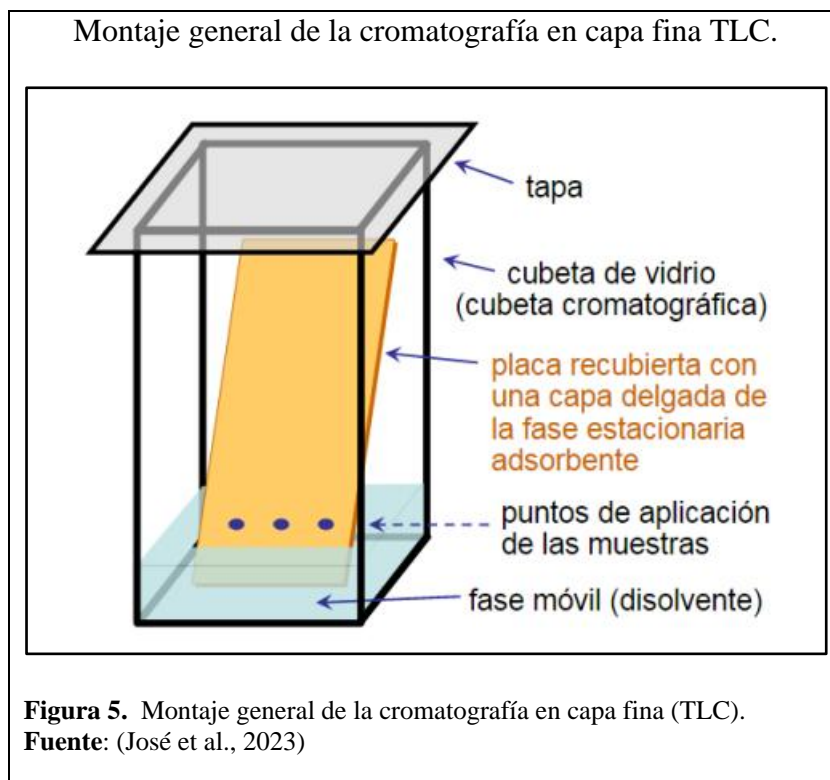
La HPLC es una de las técnicas más utilizadas para la extracción y cuantificación, especialmente mediante separación en fase reversa (RP) con columnas ODS (octadecilsilil sílice) (**Figura 4**). En este método, se utilizan disolventes como el metanol y el acetonitrilo como fases móviles. Ambos permiten separar los compuestos, pero el acetonitrilo suele ser preferido, ya que ofrece una mayor eficiencia, menor viscosidad y tiempos de análisis más cortos (Ruiz, 2020). Los factores importantes en este tipo de análisis es el pH de la fase móvil, ya que afecta directamente en cómo se separan las isoflavonas, especialmente si son compuestos ionizables, por lo cual para mantener el pH dentro del rango óptimo (entre 3 y 4), se utilizan tampones ácidos, como el ácido acético y el ácido fórmico, estos son comunes en el análisis de isoflavonas por ser eficaces y compatibles con detectores de masas (Jung et al., 2020).



- **Cromatografía en capa fina (TLC)**

En la cromatografía en capa fina (TLC), la fase estacionaria es una capa de partículas de unos milímetros de espesor fijadas sobre un soporte sólido generalmente de aluminio, plástico o vidrio (**Figura 5**). Después de aplicar el analito cerca de la parte inferior de la placa seca, el disolvente empieza a producir la separación. La fase móvil es líquida y la fase estacionaria consiste en un sólido. La fase estacionaria tendrá el componente polar (gel de sílice, alúmina) y el eluyente (metanol, acetona), que por lo general será el menos polar que la fase estacionaria, de forma que los componentes que se desplacen con mayor velocidad serán los menos polares (Méndez et al., 2023).

La cromatografía en capa fina presenta una serie de ventajas frente a otros métodos cromatográficos (en columna, en papel, en fase gaseosa) ya que, los materiales que precisa son más simple. Por otro lado, lo que se necesita para conseguir las separaciones es mucho menor y la separación es generalmente mejor (José et al., 2023).

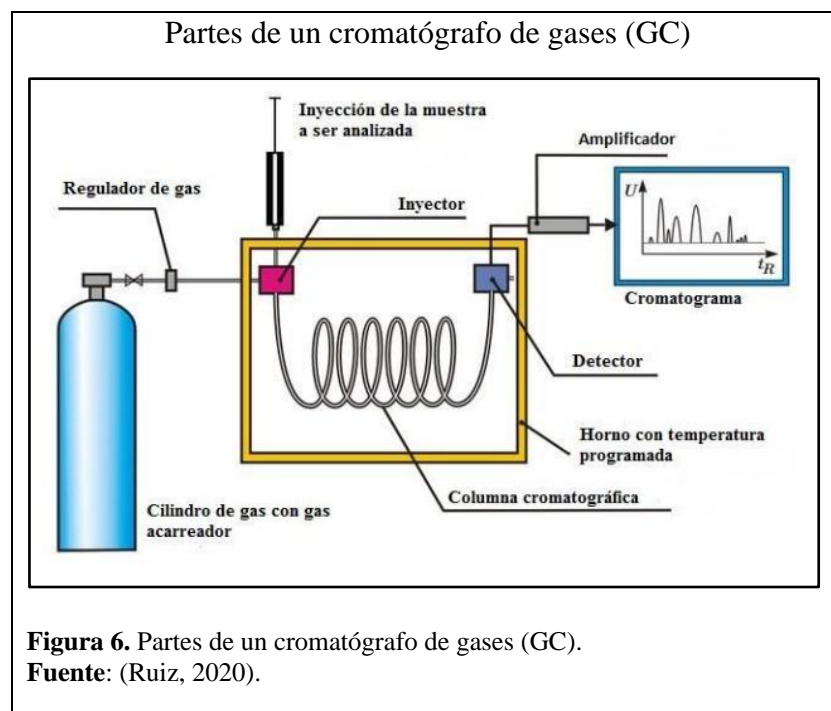


- **Cromatografía de Gases (GC)**

La GC, consta de un equipo que trabaja a temperaturas de hasta 350-400°C, mediante la distribución de los componentes en dos fases: la fase fija (estacionaria) y la móvil, que en comparación con la técnica de HPLC este tipo de cromatografía (CG) usa como fuente móvil un gas inerte cuya función es transportar los componentes de la muestra, que permite que éstas fluyan a través de la columna de fase fija (**Figura 6**). A parte de la fase móvil y estacionaria, la GC está compuesta por detectores en el cual se va a evidenciar la presencia o ausencia de analitos presentes en una muestra determinada, conociendo así la cantidad de separación que permite el análisis de mezclas de sustancias volátiles, semivolátiles y térmicamente estables presente en la muestra de estudio, todo en función con comparaciones de patrones ya conocidos (Ruiz, 2020).

El método GC tiene las mismas ventajas de alta resolución, alta selectividad y sensibilidad que el método LC. Sin embargo, la baja volatilidad de las moléculas de isoflavonas requiere de un proceso de derivatización si se analizan por cromatografía de gases (GC). Por lo tanto, debido

a las características inherentes de la GC, como la volatilización de las muestras y las altas temperaturas del horno de columna, se debe considerar la estabilidad térmica de las isoflavonas de soja para un análisis adecuado, por estas razones, al analizar las isoflavonas de soja mediante cromatografía de gases, se utilizan muestras biológicas complejas como orina, sangre y heces que contienen isoflavonas de soja en lugar de soja y productos derivados de la soja (Jung et al., 2020).



### 1.5.3 Microencapsulación

La microencapsulación es una técnica utilizada para preservar los compuestos bioactivos bajo condiciones ambientales, de tal manera que permita empaquetar y estabilizar materiales en la forma de micro y nano partículas mediante el uso de cápsulas, para protegerlos de factores como la humedad, calor, luz y la oxidación (Castagnini et al., 2019). En el proceso ciertas sustancias químicas (maltodextrina, almidón, alginato), sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) y otro tipo de sustancias (caseína, proteína de suero, fibra de bambú), son introducidas en una matriz de biopolímeros con el fin de protegerlas ante elementos del

ambiente o impedir reacciones de oxidación debido a factores de luz o presencia de oxígeno (Caizaluisa & Zapata, 2022) .

El empleo de microcápsulas ha ido incrementando debido a la protección en los alimentos para evitar reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno, lo cual se va a obtener productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales (Ortega, 2020).

#### **1.5.4 Microcápsulas**

Los componentes de la microcápsula son, el núcleo y la pared (matriz), de los cuales el núcleo es el compuesto que se desea recubrir, mientras que la pared es el material que lo recubre, el tratamiento del núcleo depende de su estado físico (sólido, líquido, viscoso) y sus propiedades (tamaño, solubilidad, estabilidad), si se requiere de un proceso previo a su microencapsulación como la atomización, molienda, emulsificación, granulación y la esferoidización. Para formar la matriz de encapsulación, se pueden emplear elementos derivados de celulosa, lípidos, proteínas, gomas, carbohidratos (Caizaluisa & Zapata, 2022).

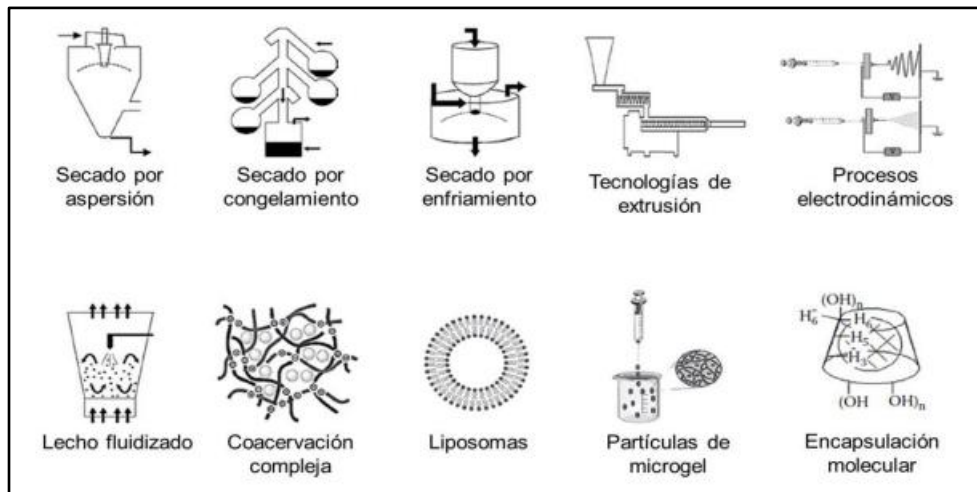
Microencapsular, implica empaquetar sustancias activas dentro de una cápsula del tamaño de una micra, lo cual permite el empaquetamiento de las sustancias químicas, alimentos, enzimas, bacterias probióticas, aditivos alimentarios, sustancias farmacéuticas (Ortega, 2020).

#### **1.5.5 Métodos de encapsulación**

Para seleccionar el proceso por el cual se va a encapsular, se necesita conocer el tamaño de partícula que se requiere, la viscosidad esperada, las propiedades de textura que brinda o se quiere generar y la solubilidad que tendrá (Escobar, 2024).

A continuación, se muestran los métodos más utilizados en la industria de alimentos para encapsular en la **Figura 7**.

## Métodos de encapsulación utilizados comúnmente en la industria de alimentos



**Figura 7.** Métodos de encapsulación utilizados comúnmente en la industria de alimentos

**Fuente:** (Escobar, 2024)

## 1.6 Normativas sobre el uso de aditivos antioxidantes

### 1.6.1 Regulaciones

En el Ecuador se utiliza como guía el NTE INEN-CODEX 192 (2016), en donde está el Anexo A el cual muestra la dosis máxima de uso de los aditivos alimentarios, para indicar como llegan a establecerse las dosis en los distintos aditivos, para que puedan ser usados en la producción de alimentos (Caizaluisa & Zapata, 2022).

En la regulación y seguridad de los aditivos participan diferentes organismos como, el Comité Conjunto de la OMS/FAO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JEFCA), la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), para que un aditivo sea aprobado debe pasar por protocolos de evaluaciones de toxicidad (aguda, subaguda, subcrónica y crónica), carcinogénicas, mutagénicas, teratogénicas y metabólicas (absorción, distribución y excreción), su efecto sobre microbiota o alguna función del organismo, reacciones alérgicas, interacción con fármacos, drogas, entre otras. En el Ecuador, para el uso de aditivos este debe ser supervisado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), mediante el

cual el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), publica los aditivos que están permitidos, incluyendo los límites y disposiciones sanitarias en la Norma Técnica Ecuatoriana (Quintana et al., 2023). En la

**Tabla 3** se encuentra la clasificación de aditivos alimentarios de acuerdo a su función tecnológica.

<b>SIN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>E100-199</b>	Colorantes
<b>E200-299</b>	Conservantes
<b>E300-399</b>	Antioxidantes y reguladores de PH
<b>E400-499</b>	Espesantes, estabilizantes, emulsificantes y gelificantes.
<b>E500-599</b>	Secuestrantes, antiaglomerantes
<b>E600-699</b>	Potenciadores de sabor
<b>E900-999</b>	Varios: edulcorantes, enzimas y agentes de recubrimiento, otros.
<b>E1400-1452</b>	Almidones modificados

**Tabla 3** Clasificación de aditivos alimentarios de acuerdo a su función tecnológica.

**Fuente:** (Quintana et al., 2023)

## 2 Materiales y métodos

La revisión sistematizada que se planteó se llevó a cabo desarrollando los siguientes puntos principales:

### 2.1 Búsqueda bibliográfica

Para esta metodología los criterios de inclusión aplicados fueron revisiones de artículos académicos, tesis, repositorios, publicados en los últimos 5 años (2019 – 2024), que presentaron resultados favorables, el material disponible ha sido con acceso completo principalmente en español e inglés conforme a esta investigación. Se priorizaron artículos del cuartil 5 que son los más citados, y contienen información más relevante.

### 2.2 Selección y acceso a los documentos.

Para identificar los estudios relevantes, se realizó una búsqueda de diferentes bases de datos: PubMed, Scielo, Google Scholar, además de bibliotecas virtuales como Science direct. Para acceder a materiales adicionales, se empleó el sistema de identificación handle.net que permite localizar artículos específicos mediante identificadores únicos, así como otros repositorios de acceso abierto. Los términos de búsqueda libre para identificar a los estudios relevantes serán: “Aditivos antioxidantes”, “Métodos cromatográficos”, "Isoflavonas en *Glycine max*", "Antioxidante isoflavonas soya", "Isoflavonas estabilidad alimentaria", "Impacto de las isoflavonas en alimentos", y "Isoflavones antioxidant".

### 2.3 Análisis de los documentos.

En este punto se llevó a cabo la lectura del contenido de los documentos y su clasificación preliminar sobre la base de sus ideas relevantes. A continuación, se realizó la selección y extracción de la información más sobresaliente, con la finalidad de eliminar toda la que no sea necesaria, donde principalmente se excluirán investigaciones no centradas a el análisis antioxidante de isoflavonas en alimentos, así como de métodos de separación y detección de

isoflavonas de soya o que no cuenten con suficiente información sobre las isoflavonas en semillas de soya (*Glycine max*).

#### **2.4 Síntesis de la información.**

Se procedió al ordenamiento y combinación de la información extractada dentro de cada epígrafe propuesto. Se compararon los datos, resolviendo conflictos que puedan presentarse entre los diferentes resúmenes, para finalmente resumir la información en una estructura y forma más asequible y de acuerdo con los objetivos y fuentes trabajadas.

#### **2.5 Redacción del artículo**

Una vez que se fueron definidos los temas principales y su orden de presentación, se organizó y presentó la información obtenida en base a los procesos de análisis y síntesis de los documentos, bajo el formato dispuesto y destacando el desarrollo de una propuesta para la formulación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*) sobre la estabilidad antioxidante y la calidad alimentaria, que pueda ser de utilidad tanto para los investigadores como para la industria alimentaria, donde se incluyó la descripción detallada de la formulación general del aditivo, considerando los componentes activos, excipientes, métodos de extracción y su aplicación en diferentes alimentos.

#### **2.6 Propuesta para la formulación del aditivo antioxidante en productos alimenticios**

A partir de la información extractada, se planteó una propuesta para la formulación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*). Esta propuesta consideró varias etapas para su obtención, la extracción, cuantificación, estabilización y aplicación.

En la etapa inicial, para la extracción de isoflavonas se consideró la técnica de extracción asistida por ultrasonido, el cual ha demostrado mejores resultados, obteniendo alto rendimiento y pureza frente a otros métodos, para el extracto se compararon métodos cromatográficos,

siendo el más eficiente la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), técnica más precisa que permite identificar y cuantificar las isoflavonas extraídas.

Se propuso, la técnica de microencapsulación del extracto por secado por aspersión, por su capacidad de proteger de la oxidación lipídica, la humedad, la luz, el calor. Se tomó en cuenta indicadores de estabilidad como el índice de peróxidos, el ensayo DPPH/ABTS, el ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP), Parámetro antioxidante de captura de radicales piróxilos totales (TRAP) y la humedad para garantizar el funcionamiento y conservación del aditivo durante su procesamiento, finalmente se indago regulaciones para el uso de aditivos antioxidantes. Finalmente se elaboró una formulación general basada en la literatura y estudios previos, considerando la mejor estrategia para su incorporación en productos alimenticios para preservar sus propiedades antioxidantes y prolongar su vida útil.

### 3 Resultados y Discusión

Se analizó la información extractada para la formulación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*), a partir de los objetivos propuestos, para lo cual se definió en cuatro fases:

#### 3.1 Extracción de isoflavonas: Métodos basados en flavonoides

Las isoflavonas son un tipo de flavonoides, que comparten características fisicoquímicas, como su estructura fenólica y capacidad antioxidante, por esta razón, en la presente revisión se consideran técnicas comúnmente utilizadas en la extracción de flavonoides para evaluar su aplicabilidad y eficacia en la obtención de isoflavonas (Chávez et al., 2020), como se observa en la **Tabla 4**, entre las técnicas, la extracción asistida por ultrasonido resulto más eficiente en comparación con otras técnicas, debido a su bajo impacto ambiental como de solventes y al aumentar la cantidad de flavonoides al eliminar los radicales, lo cual tienen una concentración alta de recuperación de isoflavonas en la extracción (Tzanova et al., 2020).

**Tabla 4** Métodos utilizados para la extracción

Métodos	Solventes	Desventajas	Ventajas	Resultados
<b>Maceración</b>	Agua acidificada, metanol, etanol 70%, acetona, acetato de etilo y n-hexano (Tzanova et al., 2020).	Tiempo extenso, gran cantidad de volumen de disolventes (Chávez et al., 2020).	Simple, económicos, útil para compuestos termolábiles (Heyerdahl, 2021).	Contenido total de fenoles (TPC) de 27.8 mg GAE/g y un 0.27% de antocianinas totales (Heyerdahl, 2021).
<b>Extracción Soxhlet</b>	Etanol 70%, metanol, agua, acetato de etilo (Tourabi et al., 2025).	Mucha cantidad de solvente, proceso demoroso (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Simple, bajo costo y fácil implementación (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Altas cantidades de fenólicos totales (107,65 ± 0,01 mg GAE/g) y flavonoides (43,89 ± 0,05 mg QE/g) (Liga et al., 2023).
<b>Extracción Asistida Por Microondas (MAE)</b>	Etanol 50%, metanol 70%, diclorometano, acetato de etilo, éter dietílico, cloroformo (Tzanova et al., 2020).	Altas temperaturas pueden provocar degradación de compuestos, equipo costoso (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Tiempo corto, mayor extracción, costos menores (Liga et al., 2023)	Alto contenido fenólico total de 39,02 ± 0,73 mg GAE/g de peso seco (Liga et al., 2023).
<b>Extracción Asistida Por Ultrasonido (EAU)</b>	Etanol 50%, metanol, agua (Tzanova et al., 2020).	Alto consumo de energía si se requiere tiempos de procesamiento prolongados o alta intensidad (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Es un método rápido, beneficia la interacción solvente-sustrato, mejora propiedades biológicas de los extractos (Chávez et al., 2020).	Eficiente para extractos de isoflavonas, aumentan hasta 10 veces la concentración de isoflavonas (Tzanova et al., 2020).
<b>Extracción Con Fluidos Supercríticos (SFE)</b>	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (Herrera & Estupiñán, 2020).	Equipos costosos y complejos (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Amigable con el medio ambiente, no tóxicos, no inflamables, no dejan residuos nocivos (Cárdenas & Espinoza, 2024).	Detección de doce flavonoides en el extracto, el contenido total de flavonoides fue igual o mayor que el obtenido mediante la extracción soxhlet (Liga et al., 2023)
<b>Extracción asistida por enzimas (EAE)</b>	Agua, etanol, acetona (Tzanova et al., 2020).	No logra la hidrólisis completa, no es selectivo (Chávez et al., 2020).	Regioselectividad, cataliza reacciones en soluciones acuosas, método ecológico (Chávez et al., 2020).	Enzimas pectinolíticas y celulolíticas para extracción de compuestos bioactivos (antocianinas, flavonoides no antociánicos) (Tzanova et al., 2020).

**Fuente:** Elaborado por: (el autor, 2025).

**Nota:** Tipos de métodos utilizados para la extracción de Flavonoides.

### 3.2 Comparación de métodos cromatográficos para la identificación y cuantificación de isoflavonas

Para el análisis de extracción de isoflavonas, se identificaron varios métodos cromatográficos, entre los más empleados destacan, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la cromatografía en capa fina (TLC) y la cromatografía de gases (GC), cada uno presenta características en cuanto a sensibilidad, derivatización, rendimiento, como se observa en la **Tabla 5**, donde se compararon estos métodos cromatográficos con base en la literatura revisada, dando como resultado que la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) resulta ser el método más preciso y sensible para el análisis de isoflavonas, ya que permite una separación rápida y efectiva, sin necesidad de procesos adicionales como la derivatización, como ocurre en la cromatografía de gases (Jung et al., 2020).

**Tabla 5** Comparación de métodos cromatográficos

TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS	AUTOR	SENSIBILIDAD	REQUIERE DERIVATIZACIÓN	RESULTADOS
<b>Cromatografía de Gases (GC)</b>	(Hsu et al., 2020)	Alta	Si	Detecta isoflavonas en alimentos y fluidos biológicos, se requiere de derivatización, debido a su baja volatilidad, es más utilizado para muestras complejas (orina, sangre), por lo que solo se puede determinar pocas isoflavonas
<b>Cromatografía en capa fina (TLC)</b>	(Jiménez, 2020)	Baja - Moderado	No	Detecta isoflavonas después de una digestión simulada, es menos apropiado que los otros métodos (GC o HPLC).
<b>Cromatografía Líquida de alto rendimiento (HPLC)</b>	(Jung et al., 2020)	Alta	No	Eficiente para el análisis de detectar isoflavonas de soya, es de las técnicas más usada, ha permitido hasta la separación simultánea de 12 isoflavonas en 24 minutos, tiene alta resolución, reproducibilidad y procedimientos automatizados.

**Fuente:** Elaborado por: (el autor, 2025).

**Nota:** Técnicas cromatográficas para la identificación y cuantificación de Isoflavonas.

### 3.3 Encapsulación de compuestos antioxidantes en alimentos

Se analizaron diferentes métodos de microencapsulación sobre antioxidantes alimentarios, para determinar su efecto con respecto a la capacidad antioxidante, la estabilidad, la solubilidad y la retención de compuestos bioactivos, así como los parámetros, ventajas, desventajas. En la **Tabla 6** se muestran diferentes técnicas de microencapsulación sobre los antioxidantes en alimentos, en el cual la estabilización del aditivo puede verse afectado por su degradación, ya sea por la luz, oxígeno, la temperatura, la humedad, por lo que métodos de microencapsulación son la mejor alternativa para mejorar el almacenamiento y estabilidad, el secado por aspersion es el método más eficiente en comparación con los demás métodos, ya que tiene un costo menor, es más rápido, además de retener hasta el 95 % de contenido fenólico total, además, esta técnica favorece la estabilidad frente a factores antes mencionados, lo que es esencial para preservar la actividad antioxidante durante el almacenamiento (Ozkan et al., 2019).

**Tabla 6** Técnicas de Microencapsulación sobre los Antioxidantes Alimentarios.

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	MATERIAL DEL NÚCLEO	MATERIAL DE LA PARED	RESULTADOS
<b>Secado por aspersión</b>	Rápido (2 a 3horas), funcionamiento continuo y de bajo costo. (Cardona et al., 2021).	La temperatura del aire de entrada puede afectar las propiedades químicas y físicas de las microcápsulas. (Sun et al., 2020).	Jugo de arándanos, Jugo de pitanga, extracto de cáscara de naranja, etc. (Ozkan et al., 2019).	Almidón, maltodextrina, goma arábica, ciclodextrinas, aislado de proteína de suero, proteína de soya, etc. (Rios & Gil, 2021).	Retiene hasta el 95 % del contenido fenólico total y una alta actividad de eliminación de radicales DPPH mantenida durante el almacenamiento. (Ozkan et al., 2019).
<b>Liofilización</b>	Simple, menor grado de daño preservando las propiedades del compuesto bioactivo. (Aguado, 2023).	Altos costos en operación, mantenimiento, proceso demoroso (3 a 4 días) (Aguado, 2023).	Jugo de arándanos, ácido gálico, zarzamora, pétalo de azafrán, etc (Ozkan et al., 2019).	Goma arábica, maltodextrina, almidones emulsionantes, proteína de suero de leche, etc (Córdoba, 2021).	Las microcápsulas presentan una alta actividad de eliminación de radicales DPPH (Ozkan et al., 2019).
<b>Coacervación</b>	Liberación controlada al cambiar el pH. (Yu et al., 2025).	Carece de estabilidad, lo que pueden romperse a altas temperaturas y presiones (Yu et al., 2025).	$\beta$ – caroteno, antocianinas de frambuesa negra, antocianinas de frambuesa negra. (Ozkan et al., 2019).	Goma arábica, maltodextrina, gelatina. (Yu et al., 2025).	Logra la encapsulación que superan el 90%, mantienen su estabilidad a altas temperaturas. (Gaitán et al., 2023)
<b>Liposomas</b>	Alta eficiencia de encapsulación, métodos simple y mejor estabilidad de almacenamiento. (Timilsena et al., 2020).	Baja estabilidad física y química. (Ozkan et al., 2019).	Ácido ascórbico, antocianina, etc. (Ozkan et al., 2019).	Fosfolípidos. (Ozkan et al., 2019).	Se evidencia una estabilidad térmica, además mostró una actividad antioxidante del 85,84% y 69,98% (DPPH). (Gimenis et al., 2023).

**Fuente:** Elaborado por: (el autor, 2025).

### **3.4 Evaluación de indicadores de estabilidad.**

Para que un aditivo antioxidante alimentario funcione de manera óptima, se evaluaron diferentes indicadores de estabilidad como el índice de peróxidos, el parámetro antioxidante de captura de radicales peroxilo total (TRAP), el ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP), la humedad y la capacidad antioxidante (medida por DPPH/ABTS), deben mantenerse dentro de ciertos rangos para asegurar su funcionalidad antioxidante, como se observa en la [Figura 3.4](#), con el objetivo de determinar la funcionalidad y eficacia del aditivo antioxidante en condiciones de procesamiento y almacenamiento, en donde el índice de peróxidos es fundamental para determinar las primeras fases de la oxidación lipídica, mientras que los ensayos DPPH y ABTS permiten medir la capacidad de neutralización de radicales libres, el FRAP evalúa la capacidad reductora del aditivo, y el TRAP, en la captura total de radicales peroxilo, por lo cual estos ensayos, determinan el comportamiento antioxidante del aditivo propuesto, asimismo, la humedad ayuda a mantener la estabilidad fisicoquímica del aditivo durante almacenamiento (Nam et al., 2021).

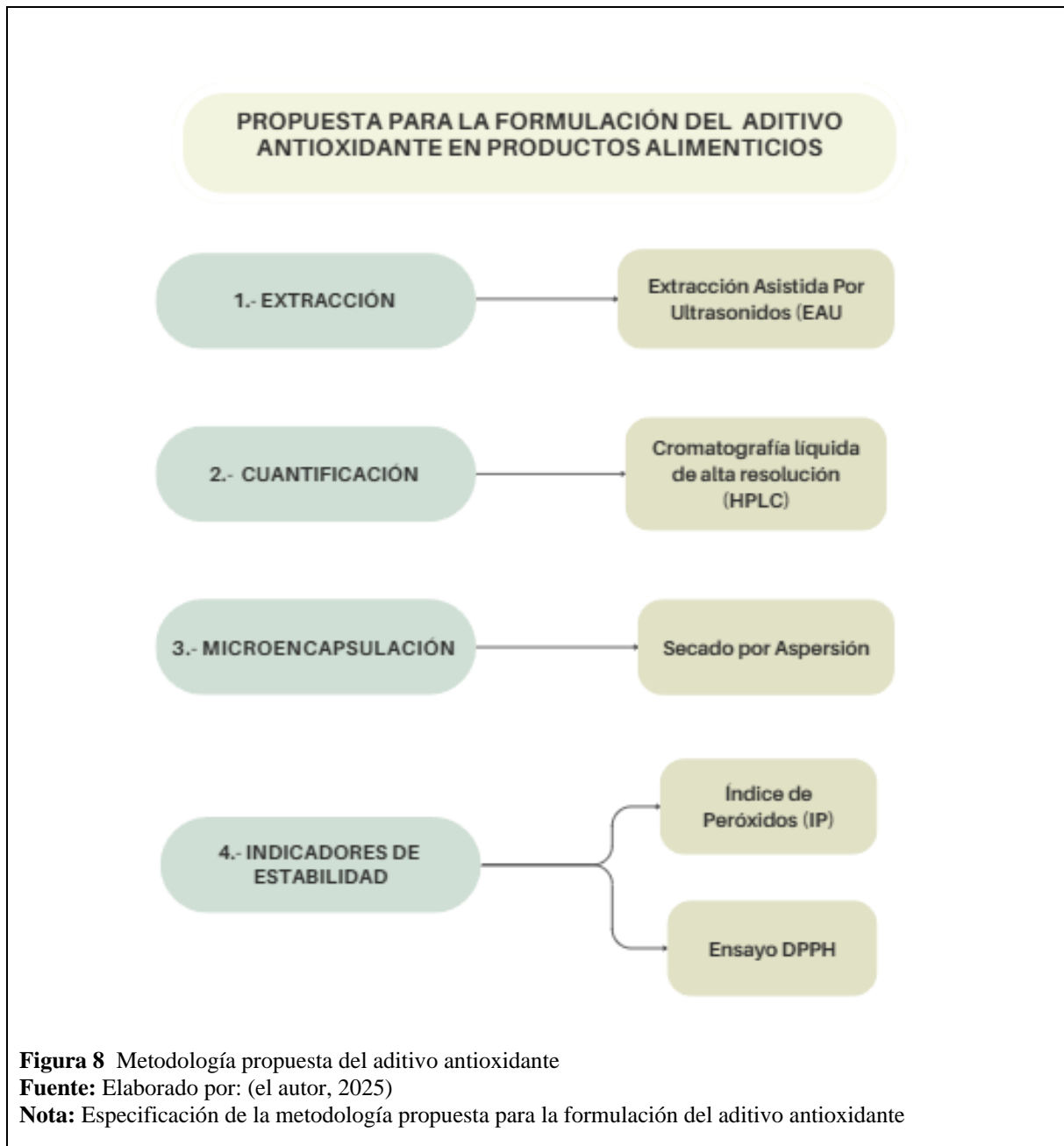
**Tabla 7** Indicadores de estabilidad para un Aditivo.

INDICADORES DE ESTABILIDAD	DESVENTAJAS	VENTAJAS	RESULTADOS
<b>Índice de Peróxidos (IP)</b>	Compuestos secundarios no pueden ser detectados por este método. (Llanto & Italo, 2024).	Simplicidad, bajo costo y capacidad para detectar etapas iniciales de la oxidación. (Llanto & Italo, 2024).	Índice de peróxidos por debajo de 10 meq O <sub>2</sub> /kg, lo que indica una alta estabilidad oxidativa, mientras que los valores de peróxido superiores a 30 meq O <sub>2</sub> /kg indican un deterioro oxidativo (Bernal et al., 2020).
<b>Ensayo de eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)</b>	La presencia de partículas interferirá con los resultados. (Nam et al., 2021).	Sencillo, rápido y económico. (Nam et al., 2021).	Valores de IC50, refleja si hay una alta o baja capacidad para neutralizar radicales libres. (Samaniego & Auria, 2025).
<b>Ensayo de poder antioxidante reductor férrico (ABTS)</b>	Depende de las enzimas, los iones metálicos, la energía aportada y las sustancias químicas presentes en los alimentos. (Nam et al., 2021).	Se pueden analizar compuestos solubles e insolubles en agua. Sencillo y rápido. (Nam et al., 2021).	El ABTS es especialmente útil porque es aplicable tanto a compuestos hidrofílicos como lipofílicos. (Nam et al., 2021).
<b>Ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP)</b>	Varía según el tiempo de análisis. (Nam et al., 2021).	Sencillo, rápido y económico. (Nam et al., 2021).	Evalúa la capacidad antioxidante en alimentos se ha aplicado con éxito en bebidas y extractos, con valores de recuperación que oscilan entre el 91,24 y el 114,22%. (Jiménez & Cañizares, 2024)

**Fuente:** Elaborado por: (el autor, 2025).

### 3.5 Propuesta para la formulación del aditivo antioxidante en productos alimenticios

A partir del análisis comparativo desarrollado en esta revisión sistemática, se propone un procedimiento para la elaboración de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya (*Glycine max*), realizado en varias etapas como se observa en la **Figura 8**:



## **1. Extracción**

La extracción que se plantea es mediante la sonicación (EAU), una técnica que utiliza ondas ultrasónicas para generar cavitación, que acelera la disolución y difusión de los ingredientes celulares, lo que facilita la liberación de compuestos bioactivos intracelulares, para lo cual se usa un baño ultrasónico con una frecuencia de 20 kHz y amplitudes cambiantes (18–54  $\mu\text{m}$ ) de 1 a 3 min y una potencia de 650 W, se utiliza harina de soya desgrasada como materia prima, mezclado con 50 % de etanol (extractante) y agua, el proceso se lleva a cabo a una temperatura de 298,15 K (25 °C) y a una velocidad de agitación de 300 rpm, condiciones que demuestran una alta eficiencia en la extracción de flavonoides térmicamente inestables, la sonicación se aplica a 20 a 45 minutos, estas condiciones permiten evitar la degradación térmica de los compuestos fenólicos, además de obtener una alta concentración de hasta 10 veces de las principales isoflavonas (genisteína, daidzeína y gliciteína), lo que permite una mayor capacidad antioxidante del extracto obtenido (Tzanova et al., 2020).

## **2. Cuantificación**

El análisis de isoflavonas se sugiere mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), técnica eficiente que permite separar y cuantificar los compuestos en función de su polaridad y estructura, se utiliza una columna de fase reversa asistida con sílice octadecilsilílica (RP-ODS), en combinación con una fase móvil de disolventes polares como metanol o acetonitrilo, para ajustar el pH de la fase móvil y mejorar la retención de los compuestos ionizables se emplea tampones ácidos como ácido acético o ácido fórmico, con el fin de obtener un pH óptimo en el rango de 3 a 4, para la detección, se realiza a través de un sistema HPLC acoplado a un detector UV con longitudes de onda de absorción específicas entre 245 y 270 nm, correspondientes a los máximos de las isoflavonas, para la separación se lleva a cabo a una temperatura de 25 °C con el fin de preservar la estabilidad térmica de los compuestos y optimizar la resolución

cromatográfica, estas condiciones permiten cuantificar de manera simultánea hasta 12 tipos de isoflavonas de soya incluyendo sus formas agliconas (genisteína, daidzeína y gliciteína) en 24 minutos (Jung et al., 2020).

### **3. Microencapsulación**

El secado por aspersión se propone como técnica de encapsulación, basada en la transformación de una mezcla líquida en polvo seco mediante un inyector que atomiza la solución en una corriente de gas caliente, este proceso se realiza en tres etapas: 1) Homogeneización del líquido de alimentación puede ser una solución, emulsión o una suspensión, que incluye el material del núcleo (isoflavonas) y el agente encapsulante, mediante un atomizador, 2) Secado de las microgotas generadas por acción del flujo de aire caliente, lo que provoca la evaporación del disolvente, 3) Recolección de las partículas secas por un ciclón o sistema de filtración. Para la formulación, se considera a una proporción núcleo: pared de 1:6, la cual mejora la protección del material del núcleo, con respecto a la temperatura del aire de entrada es de 130 °C y 150 °C y de salida entre 110 °C y 140 °C para obtener la retención de contenido fenólico total (90% - 95%) durante 16 semanas a 4 °C como a 20 °C en almacenamiento, con resultados de hasta 59,53 mmol ET/100 g de sólido, para casos de extractos encapsulados con maltodextrina a una concentración de (5-9%), que demuestra eficiencia, debido a sus propiedades fisicoquímicas, incluida su microestructura amorfa, lo que evita baja movilidad del agua, lo que desfavorece reacciones bioquímicas (Ozkan et al., 2019).

### **4. Evaluación de estabilidad**

Los indicadores que se proponen para evaluar la estabilidad del aditivo son los siguientes:

- **Índice de Peróxidos (IP)**

El índice de peróxidos ha sido utilizado como indicador en la oxidación de lípidos para determinar la rancidez de un producto, en donde valores de peróxido inferiores a

aproximadamente de 10 meq O<sub>2</sub>/kg indican una mejor estabilidad oxidativa, mientras que los valores de peróxido superiores a 30 meq O<sub>2</sub>/kg indican un deterioro oxidativo (productos rancios) (Llanto & Italo, 2024).

El índice de peróxidos consiste en la capacidad oxidante de los peróxidos para liberar yodo del yoduro potásico mediante una titulación yodométrica, donde se van a disolver 3 g de aceite en 300 mL de una solución de ácido acético glacial:cloroformo 3:2 (v/v), se añaden 0,5 mL de una solución saturada de yoduro de potasio, se cubre de la luz durante un minuto para que haya reacción, el yodo liberado se titula con tiosulfato de potasio estandarizado 0,1 N, se utiliza como indicador una solución de almidón al 0,5%, los resultados se expresan como mili equivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite (Sánchez, 2019).

- **Ensayo de eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)**

El ensayo DPPH evalúa la capacidad antioxidante de la muestra, mediante la reducción del radical libre DPPH, que presenta un color púrpura, al reaccionar con antioxidantes, el DPPH se convierte en una forma incolora (hidrazina), y la disminución de absorbancia se mide con un espectrofotómetro UV-VIS a 515–528 nm, se prepara la solución de DPPH en metanol (por su mayor estabilidad) con concentraciones entre 22,5 y 250 µM, y se incuba con la muestra durante 5 a 60 minutos (Nam et al., 2021).

Para los valores de IC<sub>50</sub> de (113,67 µg/mL), indica una baja capacidad antioxidante mientras que un menor IC<sub>50</sub>, valores de (2,77E-47 µg/mL) y (8,68E-24 µg/mL), reflejan una alta capacidad antioxidante, mientras que un IC<sub>50</sub> de (23,96 µg/ml), muestra una actividad antioxidante moderada (Samaniego & Auria, 2025).

#### **4 Conclusiones**

- Las isoflavonas presentes en la soya (*Glycine max*), como la genisteína, daidzeína y gliciteína, son compuestos con alto potencial antioxidante, lo que presentan una alternativa para su incorporación como aditivos en la industria alimentaria.
- La revisión sistematizada, se identificaron diferentes métodos de extracción, cuantificación de isoflavonas, concluyendo que la extracción asistida por ultrasonido y la cuantificación mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) ofrecen mayores ventajas en cuanto a eficiencia, conservación de compuestos bioactivos y en matrices alimentarias.
- La capacidad antioxidante de las isoflavonas influye con varios factores en su estabilidad, como las condiciones de almacenamiento, la exposición a la luz, la humedad, temperatura, lo cual, estos factores deben ser controlados para asegurar la funcionalidad del aditivo.
- El proceso de microencapsulación por secado por aspersión presenta un método eficaz para preservar la actividad antioxidante de las isoflavonas, al protegerlas de factores externos que puedan comprometer su funcionalidad durante el procesamiento y almacenamiento en alimentos.
- A partir del análisis de diferentes estudios, se establecieron criterios para la formulación de un aditivo antioxidante a base de isoflavonas de soya, considerando técnicas de extracción, cuantificación, encapsulación y evaluación de estabilidad. esta formulación representa una alternativa sostenible frente al uso de antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria.

## 5 Bibliografía

- Aguado, E. (2023). *Microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de la pitahaya *Hylocereus spp* y su evaluación como colorante natural*. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9758>
- Ahmad, R., Srivastava, S., Ghosh, S., & Khare, S. K. (2021). Phytochemical delivery through nanocarriers: a review. In *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (Vol. 197). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111389>
- Alarcón, A. C., & Araujo, T. (2021). Frecuencia de aditivos alimentarios en productos cárnicos procesados bolivianos expedidos en la ciudad de Cochabamba, Bolivia. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Especial), 28–37. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iespecial.4>
- ARCSA. (2023). *Estudio de Estabilidad.- Alimentos Procesados*.
- Bernal, E., Cuchillas, I., Hernández, E., Ramos, S., & Bermúdez, M. (2020). *Evaluación de dos aditivos antioxidantes naturales en la elaboración de mantequilla de semilla de marañón (*Anacardium occidentale L.*) y su efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10944944>
- Borrayo, E. (2021). *Diseño de investigación de la implementación de un sistema de gestión ISO 9001:2015 para reducir el aumento en índice de peróxidos y mantener la calidad en la producción de margarina en una fábrica de productos alimenticios en Guatemala*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18993/>
- Caizaluisa, J., & Zapata, J. (2022). *Evaluación del efecto de la adición de un microencapsulado de extracto de orégano (*Origanum vulgare L.*) en el retardo de la oxidación lipídica de una salsa tipo mayonesa durante su almacenamiento acelerado*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9361>
- Cárdenas, C., & Espinoza, M. (2024). *Revisión sistemática de métodos de extracción y técnicas de tamizaje fitoquímico para cinco metabolitos secundarios de especies vegetales*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28757>
- Cardona, D., Patiño, L., & Ormaza, A. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion. *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, 22(1). [https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22\\_NUM1\\_ART:1899](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM1_ART:1899)
- Castagnini, J., Rasia, M., Scattolaro, O., Capodoglio, D., Agout, M., Chacón, C., & Gerard, J. (2019). Microencapsulación de compuestos bioactivos. *Eva Perón*, 24, 122. <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/659/673>
- Chávez, M., Sepúlveda, L., Verma, D., Luna, H., Rodríguez, L., Ilina, A., & Aguilar, C. (2020). Conventional and emerging extraction processes of flavonoids. In *Processes* (Vol. 8, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/PR8040434>
- Chen, L. R., & Chen, K. H. (2021). Utilization of isoflavones in soybeans for women with menopausal syndrome: An overview. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 6, pp. 1–23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms22063212>

- Córdoba, M. (2021). *Análisis de la estabilidad de micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42549>
- Escobar, B. (2024). *Microencapsulación de dos cepas probióticas usando almidón tipo 4 y evaluación de su viabilidad en un producto cárnico cocido y su digestión in vitro*. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9911>
- Gaitán, A., Brignone, S., Ravetti, S., & Palma, S. (2023). Desafíos y oportunidades en la microencapsulación de aceites esenciales: desde la ciencia hasta la aplicación. In *Pharmaceutical Technology* (Vol. 43). <http://hdl.handle.net/11336/223240>
- García, M. D. C., Valle, G., & Hernández, L. (2023). Antigenotoxicidad de la isoflavona de soya genisteína en ratones expuestos a compuestos cancerígenos del cromo hexavalente. *Nutricion Hospitalaria*, 40(1), 151–159. <https://doi.org/10.20960/nh.04163>
- Gimenis, J., Figueiredo, C., Gomes, A. da C., Granero, F., Ximenes, V., Silva, L., Bronzel, J., Leite, V., & Da Silva, R. (2023). Microencapsulation of Moringa oleifera L. extract in liposomes: Evaluation of antioxidant and antiglycation activities, cytotoxicity and skin biometric parameters. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.104972>
- Gutiérrez, S. R. (2024). *SUSTITUCIÓN DEL COLORANTE SINTÉTICO ROJO NO.40 POR COLORANTES A BASE DE ANTOCIANINAS USANDO CIRUELA ROJA*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9729>
- Herrera, L., & Estupiñán, C. (2020). *EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDEOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL TOMATE DE ÁRBOL*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9028>
- Heyerdahl, I. (2021). *Revisión sobre las características, propiedades terapéuticas y obtención de flavonoides*. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26319>
- Hsu, B. Y., Inbaraj, B. S., & Chen, B. H. (2020). Analysis of soy isoflavones in foods and biological fluids: An overview. In *Journal of Food and Drug Analysis* (Vol. 18, Issue 3). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2271>
- Inocente, F., Eccoña, A., & Silva, R. (2021). Alimentos mínimamente procesados: Generalidades, procesamiento, consumo y cambios físicos, químicos y biológicos. *Agroindustrial Science*, 11(1), 117–126. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.14>
- Jiménez, D. (2020a). *EFEECTO DE LAS ISOFLAVONAS DE SOYA CLÍNICA (Glycine max) SOBRE EL CRECIMIENTO DE LAS LÍNEAS TUMORALES MCF-7, MDA-MB-231, HCT-15 Y HeLa*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/c9a2abec-d569-4155-903f-562f075efc3f>
- Jiménez, W., & Cañizares, M. del P. (2024). Fast FRAP-SIA method to determine antioxidant capacity. *Talanta*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125813>
- José, F., Suarez, A., De, U. F., & Santander, P. (2023). *ESTUDIO FITOQUÍMICO Y ACTIVIDAD ANTIFUNGICA DE DURAMEN DE Platymiscium pinnatum (Jacq) Dugand (PERACO)*. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7399>

- Juncos, N., Cravero, C., Olmedo, R., & Grosso, N. (2021). El sinergismo de aceites esenciales como modelo para prevenir el deterioro oxidativo y microbiano de los alimentos. *Nexo Agropecuario*, 9(1).  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/185196/CONICET\\_Digital\\_Nro.2106df59-66e1-4aca-8048-43cdc1756ffa\\_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/185196/CONICET_Digital_Nro.2106df59-66e1-4aca-8048-43cdc1756ffa_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Jung, Y. S., Rha, C. S., Baik, M. Y., Baek, N. I., & Kim, D. O. (2020a). A brief history and spectroscopic analysis of soy isoflavones. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 29, Issue 12, pp. 1605–1617). The Korean Society of Food Science and Technology.  
<https://doi.org/10.1007/s10068-020-00815-6>
- Lee, K. J., Baek, D. Y., Lee, G. A., Cho, G. T., So, Y. S., Lee, J. R., Ma, K. H., Chung, J. W., & Hyun, D. Y. (2020). Phytochemicals and Antioxidant Activity of Korean Black Soybean (*Glycine max* L.) Landraces. *Antioxidants*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/antiox9030213>
- Liga, S., Paul, C., & Péter, F. (2023). Flavonoids: Overview of Biosynthesis, Biological Activity, and Current Extraction Techniques. In *Plants* (Vol. 12, Issue 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants12142732>
- Llanto, M., & Italo, K. (2024). *DL-alfatocoferil acetato y temperatura en la cinética del índice de yodo y peróxido en aceite de semillas de calabaza (Cucurbita pepo L.)*.  
<https://dspace.unitru.edu.pe/items/23381962-74d6-41cc-bee9-18728db25811>
- López, P., Reinante, R., Grosso, N., & Olmedo, R. (2021). *ADITIVOS ALIMENTARIOS CONSUMERS AND ACQUIRERS TRENDS IN PERCEPTION OF FOOD ADDITIVES*.  
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/185846>
- Mariana, M., Juncos, N., Grosso, N., & Olmedo, R. (2021). *EL SINERGISMO DE ACEITES ESENCIALES COMO MODELO PARA PREVENIR EL DETERIORO OXIDATIVO Y MICROBIANO DE LOS ALIMENTOS*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/185193>
- Marino, S., Isern, D., Coria, I., & Irurzun, I. (2019a). *Flavonoides: aplicaciones medicinales e industriales*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/113738>
- Marino, S., Isern, D., Coria, I., & Irurzun, I. (2019b). *Flavonoides: aplicaciones medicinales e industriales*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/113738>
- Martínez, G. (2022). *Modificación dual del almidón de chayotextle para su uso como aditivo alimentario*. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2833>
- Martínez, N. (2019). *ACCIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES PRESENTES EN LOS ALIMENTOS SOBRE LA ATEROSCLEROSIS*. <http://dspace.utralca.cl/handle/1950/12245>
- Méndez, A., Carrillo, J., & Ortega, J. (2023). *CROMATOGRAFÍA EN CAPA FINA Y COLUMNA*.  
<https://ru.cuautitlan.unam.mx/handle/123456789/302>
- Mendoza, C. (2020). *EFFECTO DE LACTOBACILLUS PLANTARUM, LACTOBACILLUS FERMENTUM Y PROPIONIBACTERIUM FREUDENREICHII SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS, FACTORES ANTINUTRICIONALES Y CARACTERISTICAS SENSORIALES DE QUESO DE LECHE DE SOYA MADURADO*.  
<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/5309>

- Mendoza, J., Biler, S., & Reyes, L. (2020). *Inocuidad alimentaria de los alimentos preparados, que se consumen en la ciudad de Manta*. 5, 175–190. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i9.1683>
- Meregalli, D., & Da Silva, D. (2019). *ISOFLAVONA DE SOJA COMO ALTERNATIVA DE REPOSIÇÃO HORMONAL NA MENOPAUSA*. <http://revistas.unifan.edu.br/index.php/RevistaICS/article/view/510>
- Misaraimé, M. E. (2023). *Capacidad antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte variedades de la semilla de Chenopodium quinoa Willd. "quinua"*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5827>
- Morán, I., Mejía, A., & Beltrán, F. (2019). *INDUSTRIALIZACION DEL CULTIVO DE SOYA*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8519498>
- Nam, K., Ahn, D. U., & Edirisingha, N. (2021). Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. In *Antioxidants* (Vol. 10, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox10101587>
- Ortega, V. (2020). *Evaluación de PH, temperatura y concentración de alginato en el proceso de gelificación iónica como método de conservación del zumo natural de frutas*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9975>
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272, 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Pacheco, F., Peraza, M., & Pinto, I. (2021). *FLAVONOIDES: MICRONUTRIENTES CON AMPLIA ACTIVIDAD BIOLÓGICA*. <https://doi.org/http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5827>
- Quintana, L., Caicedo, P., & Arboleda, D. (2023). ADITIVOS ALIMENTARIOS: ASPECTOS DE REGULACIÓN Y SEGURIDAD DE LOS COLORANTES UN ENFOQUE DESDE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA. In *Núm* (Vol. 3). <https://doi.org/10.47187/8pd9xr18>
- Reyes, J. (2022). *Composición nutricional y compuestos con actividad biológica de la soja*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34940>
- Rios, S., & Gil, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Romero, A. (2025). Determinación de aditivos alimentarios en muestras de alimentos procesados en Ecuador: niveles y riesgos. *VitalyScience Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(2), 71–86. <https://doi.org/10.56519/q58pm041>
- Rubio, M. (2020). *Estudio comparativo de la oxidación en matrices lipídicas de distinta naturaleza: aplicación de TBA y compuestos volátiles*. <https://dadun.unav.edu/entities/publication/6821c90f-8efc-43f0-b8a8-6c97cf982109>

- Ruiz, M. (2020). *GUIA DE LABORATORIO CROMATOGRAFÍA LIQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO (HPLC) Y CROMATOGRAFÍA DE GASES (CG)*.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12442/7985>
- Samaniego, B., & Auria, M. (2025). *Evaluación de la actividad antifúngica y antioxidante del extracto hidroalcohólico de cabuya negra (Agave cordillerensis) para su potencial uso cosmético*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30193>
- Sánchez, R. (2019). *Obtención de Aceite de Canola Aplicando Tecnologías Emergentes*.  
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/114988>
- Serra, J. J., Melero, J., Martínez, G., & Fagoaga, C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, 12, 71–90. [https://doi.org/10.46583/nereis\\_2020.12.577](https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.577)
- Serra, J., Melero, J., Martínez, G., & Fagoaga, C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, 12, 71–90. [https://doi.org/10.46583/nereis\\_2020.12.577](https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.577)
- Sun, X., Cameron, R. G., & Bai, J. (2020). Effect of spray-drying temperature on physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of pectin/sodium alginate microencapsulated carvacrol. *Food Hydrocolloids*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105420>
- Timilsena, Y., Haque, A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11(06), 481–508. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.116035>
- Tourabi, M., Faiz, K., Ezzougari, R., Louasté, B., Merzouki, M., Dauelbait, M., Bourhia, M., Almaary, K. S., Siddique, F., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2025). Optimization of extraction process and solvent polarities to enhance the recovery of phytochemical compounds, nutritional content, and biofunctional properties of *Mentha longifolia* L. extracts. *Bioresources and Bioprocessing*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00859-8>
- Tubay, C., Zambrano, L., Loor, M., Moreira, K., & Revilla, K. (2024). *Aceites esenciales en la conservación de alimentos: Una revisión*.  
<http://servicios.ingenieria.unlz.edu.ar:8080/ojs/index.php/agrarias/article/view/142/139>
- Tzanova, M., Atanasov, V., Yaneva, Z., Ivanova, D., & Dinev, T. (2020). Selectivity of Current Extraction Techniques for Flavonoids from Plant Materials. In *Processes* (Vol. 8, Issue 10, pp. 1–30). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr8101222>
- USDA & NRCS. (2024). The PLANTS Database. Obtenido de <https://plants.usda.gov/plant-profile/GLMA4>
- Valgimigli, L. (2023). Lipid Peroxidation and Antioxidant Protection. In *Biomolecules* (Vol. 13, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).  
<https://doi.org/10.3390/biom13091291>
- Vargas, G. (2023). *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR EMULSIÓN DE SOYA (Glycine max)*.  
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VARGAS%20DOM%20C3%8DNGUEZ%20GALO%20JAVIER.pdf>

- Vásquez, A. (2022). *ADITIVOS: CLASIFICACIÓN Y USO EN ALIMENTOS*.  
[https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8600/Arnold\\_Exam.Suf.Prof\\_Titulo\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=16&zoom=100,110,94](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8600/Arnold_Exam.Suf.Prof_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=16&zoom=100,110,94)
- Vásquez, C. (2022a). *IMPORTANCIA DE LA SOJA (Glycine max) EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA*. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10397>
- Velázquez, G., Collado, R., Cruz, R., Velasco, A., & Rosales, J. (2019). *Reacciones de hipersensibilidad a aditivos alimentarios*. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.613>
- Vélez, B. (2022). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS DIFERENTES ANTIOXIDANTES (ÁCIDO CÍTRICO Y ÁCIDO ASCÓRBICO) EN LA CALIDAD DE LA PAPAYA (Carica papaya) EN TROZOS EMPACADA AL VACÍO*.  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/001453e6-d51c-4ea2-bddb-050377cd8b38/content>
- Vieira, M., & Silva, Vi. (2019). *ANTIOXIDANTES SINTÉTICOS UTILIZADOS EM INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS E A POSSÍVEL SUBSTITUIÇÃO POR ANTIOXIDANTES NATURAIS*.  
<http://revista.universo.edu.br/index.php?journal=1CAMPOSOSGOYTACAZES2&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=7608&>
- Villamiel, M. (2022). *LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS SEGÚN UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR*. <https://digital.csic.es/handle/10261/307097>
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021). Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes. In *Revista Chilena de Nutricion* (Vol. 48, Issue 4, pp. 609–619). Sociedad Chilena de Nutricion Bromatologia y Toxicologica. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000400609>
- Yu, J., Du, G., Yao, Y., Liao, Q., Zhou, T., Cui, H., Hussain, S., Hayat, K., Zhang, X., & Ho, C. T. (2025). Microencapsulation of glutathione through water/oil emulsification and complex coacervation: Improved encapsulation efficiency, physicochemical stability, and sustained release effect. *Food Research International*, 202.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115723>
- Zamora, E. (2020). *Evaluación objetiva de la calidad sensorial de alimentos procesados*. Editorial Universitaria.
- Zulay, A. (2021). Antioxidantes producidos por microorganismos acuáticos y terrestres con uso potencial en cosméticos. *Actualidades Biológicas*, 44(116), 1–19.  
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v44n116a02>