

**Revisión bibliográfica sobre extracción y microencapsulación de compuestos bioactivos del
motilón (*Hieronyma macrocarpa*)**

Fernanda Nathalia Urbano Narvaez

Asesor

Vladimir Ernesto Vallejo Caicedo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2025

Nota de Aceptación

Nombre director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A Dios, fuente de sabiduría y propósito, porque “Todas las cosas fueron creadas por Él y para Él” Colosenses 1:16

Por ser mi guía en el proceso y mi fortaleza en los momentos de dificultad orientándome en el camino hacia la meta.

A quienes, con amor silencioso, comprensión, paciencia y apoyo me acompañaron en este proceso, a mis seres pequeños quienes con su ternura y compañía me dieron tranquilidad.

A quien camina a mi lado, compañero de vida y de sueños, por su paciencia, comprensión y por creer en mí.

A todos ellos, dedico este logro con gratitud infinita.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por concederme la oportunidad y las herramientas académicas necesarias que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A mis docentes y asesores, resaltando al director Vladimir Vallejo por su dedicación, orientación y conocimiento que permitieron mejorar diversos aspectos en la monografía.

Resumen

El motilón de nombre científico (*Hieronyma macrocarpa*) es un fruto silvestre que crece en paramos andinos y se encuentra catalogada como uno de los frutos exóticos de Colombia por lo cual es el objetivo y énfasis de estudio para determinar los potenciales compuestos bioactivos que posee, específicamente polifenoles, flavonoides y antocianinas los cuales son de significativa importancia en diversas industrias como la alimentaria, farmacéutica, cosmética, de salud y de suplementos nutricionales, dado a que sus propiedades antioxidantes ayudan a proteger las células de daños y aportan directamente al mejoramiento de la salud por su capacidad antiinflamatoria, antimicrobiana, etc. Sus beneficios también abarcan enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, cáncer y reducen la probabilidad de padecerlas, En la presente revisión bibliográfica sistemática se enfatizó, en primer lugar, identificar qué métodos de extracción de compuestos bioactivos resultan más adecuados, así como describir cuáles son las técnicas convencionales y/o modernas más utilizadas para obtener la mayor cantidad posible de estos compuestos. Posteriormente, se presentan los métodos de microencapsulación que pueden emplearse para evitar el deterioro de los frutos andinos, destacando al motilón como fruto de especial interés por su elevado contenido de compuestos fenólicos y su potencial aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales para la industria alimentaria.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, Motilón, Extracción, Microencapsulación, Polifenoles, Flavonoides, Antocianinas, Alimentos funcionales, industria alimentaria.

Abstract

The motilón, whose scientific name is *Hieronyma macrocarpa*, is a wild fruit that grows in Andean moorlands and is classified as one of Colombia's exotic fruits. It is therefore the focus of study to determine its potential bioactive compounds, specifically polyphenols, flavonoids, and anthocyanins, which are of significant importance in various industries such as food, pharmaceuticals, cosmetics, health, and nutritional supplements, given that their antioxidant properties help protect cells from damage and directly contribute to improving health due to their anti-inflammatory and antimicrobial properties, among others. Their benefits also extend to cardiovascular and neurodegenerative diseases, diabetes, and cancer, reducing the likelihood of developing these conditions. This systematic literature review emphasized, first, identifying which methods of extracting bioactive compounds are most appropriate, as well as describing the most commonly used conventional and/or modern techniques for obtaining the greatest possible amount of these compounds. Subsequently, microencapsulation methods that can be used to prevent the deterioration of Andean fruits are presented, highlighting motilón as a fruit of special interest due to its high content of phenolic compounds and its potential application in the development of functional foods for the food industry.

Keywords: Bioactive compounds, Motilon, Extraction, Microencapsulation, Polyphenols, Flavonoids, Anthocyanins, Functional foods, Food industry.

Tabla de Contenido

Introducción	15
Justificación.....	16
Objetivos	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Fruto silvestre motilón (<i>Hieronyma macrocarpa</i>)	18
Definición.....	18
Taxonomía del Árbol de Motilón (<i>Hieronyma macrocarpa</i>) y Clasificación Botánica.....	19
Descripción y Características del Fruto Motilón (<i>Hieronyma macrocarpa</i>)	21
Pigmento del Motilón	23
Estado de Madurez del Motilón (<i>Hieronyma macrocarpa</i>)	27
Propiedades Nutraceuticas del Motilón.....	30
Compuestos Bioactivos	33
Definición.....	33
Principales Grupos de Compuestos Bioactivos Encontrados en Frutas y su Clasificación	34
<i>Las sustancias Nitrogenadas o Alcaloides</i>	34
<i>Las Sustancias Azufradas</i>	35
<i>Las Sustancias Terpénicas</i>	36
<i>Las Sustancias Fenólicas</i>	38
Clasificación de los Compuestos Bioactivos de los Fitoquímicos y sus Funciones Biológicas	40

<i>Origen</i>	40
<i>Naturaleza Química o Estructura</i>	40
<i>Función Biológica</i>	41
Funciones Biológicas de los Compuestos Bioactivos	41
<i>Función Antiinflamatoria</i>	42
<i>Función Antimicrobiana</i>	43
<i>Función Anticancerígena o Quimiopreventiva</i>	43
<i>Función Antidiabética o Reguladores Metabólicos</i>	44
<i>Función Antioxidante</i>	45
Compuestos Bioactivos Encontrados en Frutos Andinos.....	46
Compuestos Bioactivos Encontrados en el Motilón.....	46
Métodos para Evaluar la Capacidad Antioxidante de los Compuestos Bioactivos	46
<i>Método DPPH</i>	47
<i>Método ABTS</i>	48
<i>Método FRAP</i>	49
Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos de Frutos Andinos.....	51
Definición.....	51
Extracción de Compuestos Bioactivos.....	51
Clasificación de los Métodos de Extracción	52
<i>Métodos Convencionales</i>	52
Maceración.....	52

<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	53
Reflujo o Soxhlet.	54
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	55
Percolación.....	56
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	56
<i>Métodos Asistidos o Modernos, No Convencionales y Tecnologías Emergentes</i>	57
Extracción asistida por ultrasonido (UAE).	57
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	58
Extracción Asistida por Microondas (MAE).	59
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	61
Extracción Asistida por Enzimas (EAE).	61
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	62
Extracción con Fluidos Presurizados (PLE o ASE).....	62
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	63
Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE-Co ₂).....	64
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	65
Extracción Combinada (UMAE).	65
Técnicas de microencapsulación de compuestos bioactivos de frutos andinos.....	67
Definición.....	67
Microencapsulación de Compuestos Bioactivos	67
Clasificación de los Métodos por Tecnología (Físicos, Físicoquímicos y Químicos).....	68

<i>Métodos Físicos</i>	68
Secado por Aspersión (Spray Drying).....	68
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	69
Liofilización (Freeze Drying).	70
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	70
Secado por Lecho Fluidizado.....	71
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	71
<i>Métodos Fisicoquímicos</i>	72
Coacervación Simple o Compleja.	73
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	73
Incorporación en Liposomas o Nanomoléculas.....	74
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	74
Encapsulación por Inclusión Molecular (Ciclodextrinas).....	75
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	76
Gelificación.....	76
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	77
<i>Métodos Químicos</i>	78
Polimerización Interfacial.	78
<i>Metodología y Diagrama de Proceso</i>	78
Aplicación en la Industria Alimentaria y en Alimentos Funcionales	80
Definición.....	80

Aplicación de los Compuestos Bioactivos en la Industria Alimentaria	80
Beneficios Nutricionales de los Alimentos Funcionales	81
Ejemplos de Alimentos Funcionales Obtenidos de Frutos Andinos.....	82
Conclusiones	84
Recomendaciones	85
Referencias bibliográficas.....	86

Lista de figuras

Figura 1 <i>Árbol de motilón</i>	21
Figura 2 <i>Fruto de motilón (Hieronyma macrocarpa)</i>	22
Figura 3 <i>Estructura básica de la antocianina</i>	25
Figura 4 <i>Clasificación de antocianinas con sus sustituyentes</i>	25
Figura 5 <i>Estructura de las antocianinas más comunes</i>	27
Figura 6 <i>Madurez de un fruto</i>	29
Figura 7 <i>Madurez del motilón</i>	31
Figura 8 <i>Radical frente a antioxidante</i>	32
Figura 9 <i>Estrés oxidativo</i>	32
Figura 10 <i>Estructura de la caféina</i>	35
Figura 11 <i>Estructura de la alicina</i>	36
Figura 12 <i>Estructura del isopreno</i>	36
Figura 13 <i>Estructura del limoneno</i>	37
Figura 14 <i>Estructura de los flavonoides</i>	38
Figura 15 <i>Sustancias fenólicas</i>	39
Figura 16 <i>Radical DPPH</i>	47
Figura 17 <i>TEAC de frutos</i>	48
Figura 18 <i>Radical ABTS</i>	49
Figura 19 <i>Método FRAP</i>	50
Figura 20 <i>Proceso maceración</i>	53
Figura 21 <i>Equipo Soxhlet</i>	55
Figura 22 <i>Proceso Soxhlet</i>	55
Figura 23 <i>Proceso percolación</i>	56
Figura 24 <i>Equipo ultrasonido</i>	58

Figura 25 <i>Proceso UAE</i>	58
Figura 26 <i>Magnetron</i>	60
Figura 27 <i>Proceso MAE</i>	61
Figura 28 <i>Proceso EAE</i>	62
Figura 29 <i>Equipo PLE</i>	63
Figura 30 <i>Proceso PLE</i>	63
Figura 31 <i>Equipo SFE</i>	64
Figura 32 <i>Proceso SFE</i>	65
Figura 33 <i>Proceso Spray Drying</i>	69
Figura 34 <i>Proceso Freeze Drying</i>	70
Figura 35 <i>Liofilizador</i>	71
Figura 36 <i>Proceso lecho fluidizado</i>	71
Figura 37 <i>Equipo lecho fluidizado</i>	72
Figura 38 <i>Proceso coacervación simple y compleja</i>	73
Figura 39 <i>Proceso incorporación de liposomas o nano moléculas</i>	74
Figura 40 <i>Estructura ciclodextrina</i>	75
Figura 41 <i>Proceso inclusión molecular (Ciclodextrina)</i>	76
Figura 42 <i>Proceso gelación externa</i>	77
Figura 43 <i>Proceso gelación interna</i>	77
Figura 44 <i>Proceso polimerización interfacial</i>	78

Lista de tablas

Tabla 1 Antocianinas comunes	26
Tabla 2 <i>Terpenos insecticidas</i>	37
Tabla 3 <i>Compuestos útiles contra trastornos</i>	42
Tabla 4 <i>Parámetros para extracción</i>	58
Tabla 5 <i>Parámetros para extraer compuestos fenólicos</i>	59
Tabla 6 <i>Punto de ebullición de solventes</i>	60
Tabla 7 <i>Productos funcionales</i>	82

Introducción

El motilón es un fruto silvestre que se destaca por su atractivo color, lo que la hace candidata a investigaciones para medir su capacidad antioxidante. Se evidencia con certeza que está compuesta por compuestos bioactivos conocidos específicamente como antocianinas encargadas de generar múltiples beneficios en la salud de quien las consuma.

Los frutos andinos son ricos en polifenoles, flavonoides y antocianinas los cuales cumplen una función relevante en el organismo y son neutrales ante radicales libres causantes de diversas enfermedades. No quiere decir que cura, pero sí previene y evita el desarrollo de estas, lo cual constituye un gran aporte para el desarrollo de alimentos funcionales en la industria.

El enfoque adoptado en este trabajo se basa en una revisión bibliográfica, complementada con datos actuales y estudios de caso que ilustran la realidad del problema abordado. Se ha procurado mantener una visión crítica y reflexiva que permita no solo describir, sino también evaluar y cuestionar las dinámicas observadas. Además, se destaca la importancia de integrar diversas disciplinas para enriquecer la perspectiva analítica.

A lo largo del documento se desarrollarán los principales conceptos relacionados con los métodos de extracción y microencapsulación de compuestos, así como su evolución y su estado actual. Finalmente, se presentarán conclusiones que contribuirán al debate académico y profesional, brindando insumos útiles para futuras investigaciones o intervenciones prácticas. Con ello, se espera contribuir a una mejor comprensión y de su aporte a la salud.

Justificación

El motilón (*Hieronyma Macrocarpa*) posee un gran valor nutricional debido a la presencia de compuestos bioactivos y su extracción es un importante aporte a la industria alimentaria para el desarrollo de nuevos productos e ingredientes funcionales que estén disponibles y sean sostenibles debido a que su almacenamiento con microencapsulación los protege de la degradación.

La encapsulación es una herramienta que, por medio de diversos métodos, estabiliza los extractos de materias primas vegetales que contienen a los compuestos bioactivos. Se define como una técnica mediante la cual compuestos activos, sólidos o líquidos se encapsulan en una matriz o sistema pared de naturaleza polimérica con el fin de proteger de deterioros causados por el medioambiente, de su interacción con otros componentes del alimento o bien para controlar su liberación (Ortiz-Romero et al., 2021).

El motilón es un fruto silvestre que pasa desapercibida y generalmente se desecha dado a que sus frutos se caen o es por aves. El uso y estudio de esta especie son viables para aprovechar la biodiversidad, promoviendo el uso de recursos naturales sostenibles para el beneficio de la salud; además, presenta características de color y actividad antioxidante promisorias para el desarrollo de productos con valor agregado (microencapsulados) que preserven las características sensoriales y bifuncionales de esta fruta. (Santacruz Cifuentes, 2011).

Objetivos

Objetivo General

Identificar técnicas de extracción y microencapsulación de compuestos bioactivos del motilón (*Hieronyma macrocarpa*) para su aplicación en la industria alimentaria mediante una revisión bibliográfica sistemática.

Objetivos Específicos

Describir las principales técnicas de extracción y microencapsulación utilizadas para obtener compuestos bioactivos de frutos andinos.

Identificar aplicaciones industriales y tendencias sobre la extracción y microencapsulación de compuestos bioactivos obtenidos de frutos andinos.

Fruto silvestre motilón (*Hieronyma macrocarpa*)

Definición

Actualmente en las zonas andinas se evidencia una gran variedad de frutos silvestres dado a sus condiciones geográficas, climáticas y ecológicas que las hace únicas, se encuentran ubicadas en la cordillera de los Andes atravesando Países como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina; mantienen altitudes de 1.000 hasta más de 6.000 metros sobre el nivel del mar con pisos térmicos marcados y definidos como cálido, templado, frío, paramo y nieves (Armenteras, 2007).

Según Santacruz (2011), en Colombia se encuentran numerosas especies de frutos silvestres con potencial agroindustrial, entre ellos el motilón, caracterizado por su alto contenido de pigmentos antociánicos.

En las zonas andinas las condiciones climáticas varían en gran medida por los cambios rápidos de altitud por lo cual se presentan diversos fenómenos a lo largo del año, pueden ser del Niño o de la Niña generando regiones húmedas y frías o secas y áridas de igual manera la altitud, el relieve y los fenómenos climáticos globales determinan variaciones notables en la temperatura y la precipitación dando lugar a una amplia diversidad de pisos térmicos (IDEAM, 2010).

Estas condiciones climáticas y geográficas nombradas han favorecido el desarrollo de una notable biodiversidad particularmente en especies de frutos exóticos adaptados a este ecosistema debido a la gran biodiversidad y reconocimiento por suelos fértiles se evidencia gran variedad de especies de frutos exóticos, una de ellas es el árbol de Motilón (*Hieronyma macrocarpa*) el cual es un fruto silvestre que se ha logrado identificar como nativo de los Andes, especialmente en Colombia, departamentos de Nariño y Cauca, se cultiva en paramos nublados a 2.000 y 3.000 m de altitud (Martínez Cadena, 2019).

Hieronyma Macrocarpa es un árbol nativo de los Andes con distribución confirmada en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Bernal, 2016).

Colombia es uno de los países que presenta una gran biodiversidad determinada por los distintos pisos térmicos, lo que incluye variedad de frutos silvestres entre ellos el motilón, que es una ventaja en comparación a otras zonas (Santacruz Cifuentes, 2011).

Para los pobladores de las comunidades andinas, el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) es una especie de fruto muy reconocido, por la madera del árbol valorando desde tiempos ancestrales su dureza y resistencia, en sus culturas afirman dado a sus conocimientos botánicos que el fruto por el color es bueno para practicas medicinales atribuyéndole propiedades curativas ante enfermedades y efectivamente es un fruto que en los limitados estudios que posee los cuales vincula los saberes tradicionales con la evidencia científica lo que ha logrado resaltar su alto contenido de compuestos bioactivos especialmente antocianinas, lo cual lo convierte en un potencial compuesto antioxidante para productos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Martínez Cadena, 2019; Santacruz Cifuentes, 2011)

Jiménez, (2008) afirma que el motilón contiene una elevada riqueza de pigmentos tipo antocianina lo cual sugiere su viabilidad como ingrediente funcional en alimentos y en farmacéuticos en consonancia con Santacruz, (2011) quien afirma que sus aportes se inclinan directamente los beneficios que genera la actividad antioxidante frente a los radicales libres lo que genera beneficios en la salud al reducir patologías.

Taxonomía del Árbol de Motilón (*Hieronyma macrocarpa*) y Clasificación Botánica

En las culturas de las zonas andinas, el fruto motilón tiene un origen ancestral ligado directamente al conocimiento botánico dado a que fue consumida inicialmente por comunidades campesinas e indígenas como alimento en su estado fresco, su color

característico violeta es tan intenso que tiñe la boca de quienes lo consumen lo cual favoreció su limitado reconocimiento cultural por lo cual la recolección del fruto era compartida entre comunidades dándose a conocer y valorándose en las poblaciones locales (Matute Tomas, 2019; Romero Danna, 2020).

El motilón se cosecha por las personas nativas de la zona que los consumen desde hace muchos años, siendo casi los únicos con interés en el fruto por lo cual se desperdiciaba (Martínez Cadena, 2019).

El motilón crece como un árbol de lento desarrollo, pero de larga vida, estimando alrededor de 500 años, puede alcanzar a medir de 15 a 30 metros de altura y 1,5 metros de diámetro como se observa en la figura 1, su especie es susceptible a la deforestación dada su codiciada madera lo cual hace necesario el empleo de cultivo sostenible, de igual manera es consumida por aves lo cual favorece la regeneración natural del bosque por la fauna silvestre (Martínez Cadena, 2019; Santacruz Cifuentes, 2011)

Pertenece a la familia Phyllanthaceae también conocido como cándelo, está en la división Magnoliophyta es decir plantas con flores, de clase Magnoliopsida, de orden Malpighiales, de género Hieronyma y especie Macrocarpa (Martínez Cadena, 2019)

El tronco del árbol es recto y ramificado, el color de su corteza es grisácea y rojiza, sus hojas son simples, elípticas o lanceoladas de color verde oscuro, sus flores son verde amarillento tostado, unisexuales y pequeñas, agrupadas en racimos o panículas axilares, se polinizan por insectos lo que se conoce como entomofilia y se clasifica en reproducción sexual (Erazo Nataly, 2022).

Romero Danna (2020) recomienda el uso de un sustrato arenoso o tierra suelta para la siembra debido a la germinación epigea que dura de 40 a 60 días con un porcentaje de germinación de 70 a 80%.

Figura 1**Árbol de motilón**

Nota. Se observa el porte y la morfología general del árbol de motilón.

Fuente. (Garden, 2024)

Descripción y Características del Fruto Motilón (*Hieronyma macrocarpa*)

Mueller, (2003) afirma que el fruto del motilón es una drupa con pulpa, de forma piriforme, de color morado a negro, y que además posee una semilla color parda, dura, y se destaca por su sabor.

Aunque los estudios científicos disponibles sobre el fruto silvestre motilón son limitados, en las comunidades campesinas es ampliamente conocido. Se puede afirmar que es un fruto reconocido por su color característico violeta intenso que tiene un potente pigmento, es de forma ovoide con dimensiones aproximadas de 2,5 a 3,5 cm, de color verde en su estado inmaduro tornándose morado o negro al madurar, la pulpa es fina, jugosa de sabor dulce agri dulce y contiene una sola semilla dura y de color marrón (Martínez Cadena, 2019).

Existe la problemática del desconocimiento del fruto, lo que conlleva a la desvalorización de sus propiedades. Esta situación se debe a la escasa y limitada información disponible; por ello, su inclusión en el mercado es reducida. Los frutos suelen pasar desapercibidos y se deterioran en los mercados. Ancestralmente se usaba en preparaciones

artesanales de coladas, vinos, jaleas, mermeladas o pigmentos por su característico color y sabor (Martínez Cadena, 2019; Santacruz Cifuentes, 2011).

Los pobladores nativos de las comunidades andinas han determinado que los frutos (Figura 2) se cosechan generalmente de junio a octubre, periodo en el cual se recolecta para consumo local, en cuanto a su cultivo se evidencia que la siembra de las semillas es superficial y su germinación es epigea es decir que las primeras hojas (cotiledones) emergen por encima del suelo exponiéndolos al aire y luz solar iniciando la fotosíntesis temporal hasta desarrollar sus verdaderas hojas, tardando de 40 a 60 días (Mueller, 2003).

Figura 2

Fruto de motilón (Hieronyma macrocarpa)



Nota. Se observan los frutos maduros del motilón, caracterizados por su forma redondeada y color el cual se debe a la presencia de antocianinas, compuestos con alta capacidad antioxidante que contribuyen a la protección celular frente al daño oxidativo.

Fuente. (Baperookamo, 2021)

FAO (2010) señala que ese tipo de germinación hace a la plántula más susceptible a daños ambientales y herbívoros sin embargo permite un establecimiento rápido en ambientes boscosos.

Las condiciones ambientales y biológicas óptimas para el desarrollo y crecimiento del motilón están establecido en rangos altitudinales de 1.100 y 3.200 metros sobre el nivel del mar, tolerando bien la sombra sin embargo crece mejor en zonas con luz moderada, no sobrevive a heladas, pero su temperatura óptima oscila entre los 15 a 20 °C (Mueller, 2003).

Requiere de suelos medio secos, no encharcados, en suelo medio arenoso con pH 5.5 a 6.5 para evitar la pudrición. Es un árbol que crece en suelos poco fértiles y puede ser afectado por escarabajos, termitas en su madera e insectos perforadores del fruto.

(Cárdenas L., 2007) indica que la especie prospera en suelos de baja a media fertilidad, preferiblemente de textura arenosa y pH ligeramente ácido.

Pigmento del Motilón

En la industria alimentaria los colorantes son importantes para diversos productos por lo cual el motilón es un potencial colorante natural para el mercado, óptimo para el consumo por sus características nutracéuticas (Santacruz Cifuentes, 2011).

La mayoría de los colorantes son de origen sintético lo que generó preocupación en la población incluyendo las actuales noticias sobre el colorante rojo No. 2 y No. 40 que se prohibieron en países como Austria, Noruega, Suecia y Japón (Garzón, 2008), de igual manera hay hallazgos que afirman que la hiperactividad en niños es causada por los colorantes (Breakey et al., 2007).

Los pigmentos presentes en las plantas y frutos tienen la función biológica de ser atracción hacia los polinizadores y dispersores de las semillas por su color llamativo, por lo cual el pigmento del motilón (*Hieronyma macrocarpa*) es uno de los rasgos que más llaman la atención dado a su intensidad y capacidad colorante lo cual adquiere aún más importancia a nivel científico porque está directamente relacionado con el potencial nutracéutico e industrial (Santacruz Cifuentes, 2011).

El color del fruto varía de violeta a negro según su madurez y se genera principalmente por la presencia de antocianinas, las cuales son pigmentos hidrosolubles es

decir que son solubles en agua los cuales se han identificado en la vacuola celular de la epidermis y la pulpa del fruto (Martínez Cadena, 2019).

Las antocianinas son los pigmentos que dan la característica de color a frutos rojos o morados, lo que presenta un posible reemplazo a los colorantes sintéticos destinados a alimentos, cosméticos, farmacéuticos productos con valor agregado (de la Rosa Reyna et al., 2022b; Garzón, 2008).

Las antocianinas pertenecen a la familia de los flavonoides que son un grupo de compuestos fenólicos, las antocianinas o glucósidos de antocianinas son responsables de dar los colores rojizos, violetas, azules o negros tonalidades que dependen de factores ambientales como la luz, el pH, temperatura o interacciones con metales pero principalmente por la química estructural de cómo están compuestas, su estudio se remonta a 1835 cuando Philipp Hartsen aisló pigmentos de flores y plasmó inicialmente la solubilidad de estos en agua posteriormente en 1915 Richard Willstatter caracterizó las antocianinas identificándolas químicamente por su estructura básica, las principales y más comunes son seis (Y. Liu et al., 2018; Mohammed & Khan, 2022).

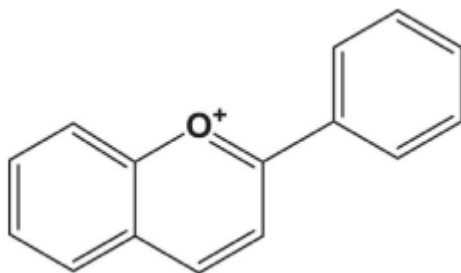
Las antocianinas se derivan del ión flavilio (cation flavylum) como se observa en la figura 3, que es la estructura base, es decir que están conformadas por:

- Un anillo aromático A con grupos hidroxilos o metoxilos los cuales influyen en las propiedades antioxidantes.
- Un anillo heterocíclico C con carga positiva que aporta el color.
- Un anillo aromático B con distintos sustituyentes determinan el tipo de antocianina

(Mattioli et al., 2020a).

Figura 3

Estructura básica de la antocianina



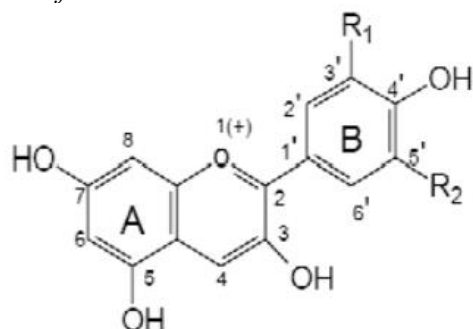
Nota. Se observa la estructura que se compone del catión 2-fenil-chromenilio (flavylium) con carga positiva localizada en el oxígeno del anillo C, esta configuración molecular constituye el núcleo de las antocianinas y está presente en su forma aglicona, la sustitución de grupos hidroxilo (–OH) o metoxi (–OCH₃) en los anillos A y B modifica su color, estabilidad y actividad funcional.

Fuente. (de la Rosa Reyna et al., 2022a)

Las antocianinas o también conocidas como glucósidos de antocianinas, pertenecen a la familia de los flavonoides, los cuales en su estructura básica están compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 C y las variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianinas conocidas y las más comunes (Garzón, 2008)

Figura 4

Clasificación de antocianinas con sus sustituyentes



Aglicona	Substitución		λ_{max} (nm) espectro visible
	R1	R2	
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul-rojo)
Peonidina	OCH ₃	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH ₃	OH	508 (azul-rojo)
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃	510 (azul-rojo)

Nota. Se observa la estructura de las antocianinas además las diferencias estructurales (sustituyentes R) en el anillo B determinan la coloración y estabilidad de las antocianinas clasificándolas en las seis más frecuentes.

Fuente. (Garzón, 2008)

Las antocianinas tienen un color característico según el número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo, como se observa en la figura 4, y los incrementos en

hidroxilación generan tonalidades azules, mientras que los incrementos en metoxilación generan coloraciones rojas, como lo describe la tabla 1 (Garzón, 2008).

Tabla 1

Antocianinas comunes

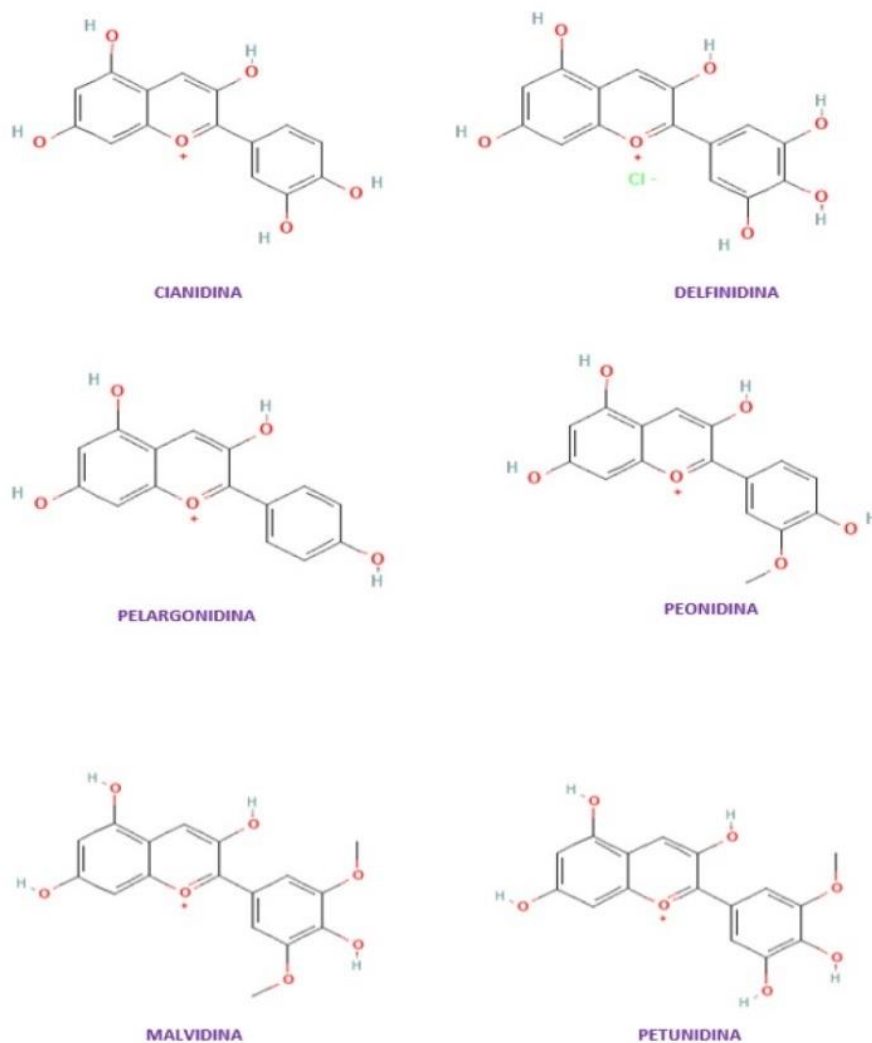
Antocianina	Color característico	Presente en el motilón	Porcentaje de distribución
Cianidina	Da un color rojo a purpura	Si	50%
Definidina	Da un color Azul a violáceo	Si	12%
Pelargonidina	Da un color rojo a anaranjado	No	12%
Peonidina	Da un color purpura	No	12%
Petunidina	Da un color violeta oscuro	No	7%
Malvidina	Da un color azul oscuro casi negro	No	7%

Fuente. Koss-Mikołajczyk & Bartoszek, 2023

Las antocianinas consisten en pigmentos solubles en agua que por lo general son los causantes de dar color a las plantas distinguiendo las seis nombradas anteriormente y su estructura como se evidencia en la figura 5 (de la Rosa Reyna et al., 2022).

Figura 5

Estructura de las antocianinas más comunes



Nota. Se observa la estructura de las seis antocianinas.

Fuente. (de la Rosa Reyna et al., 2022)

Estado de Madurez del Motilón (*Hieronyma macrocarpa*)

La madurez es uno de los aspectos más importantes de observar en los frutos para delimitar la aceptabilidad y el estado de su consumo, para el motilón (*Hieronyma Macrocarpa*) los estudios realizados por (Martínez Cadena, 2019) son muy significativos dado que evidencia que en su madurez las antocianinas se incrementan y están más presentes en el fruto justificando que en sus inicios cuando esta sin madurar es de color verde asociada con

las clorofilas, pero a medida de su desarrollo consigue intensificar la acumulación de antocianinas de igual manera que el pigmento hasta ser apto para el consumo en su coloración violeta o negro como se observa en la figura 7.

La maduración de los frutos se refiere a los diversos cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que hacen al fruto óptimo para el consumo, los cambios se deben a 3 niveles que son físicos, metabólicos y cambios de la expresión génica (Martínez Cadena, 2019).

Cuando los frutos pasan por el proceso metabólico de maduración presentan desorden celular, siendo el etileno la hormona responsable de los cambios en la estructura de la membrana celular dado a que activa enzimas que degradan la clorofila (verde), que generan la hidrólisis del almidón, de sustancias pécticas y aparición de aromas y pigmentos característicos de cada fruta (Tipu & Sherif, 2024).

Para determinar el estado óptimo de la cosecha (Figura 6) y para que el fruto sea de calidad se debe observar que el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) cumpla con ciertos aspectos como tamaño, forma, color, firmeza, sólidos solubles, grados Brix, acidez, contenido mineral, aroma y características organolépticas (Martínez Cadena, 2019).

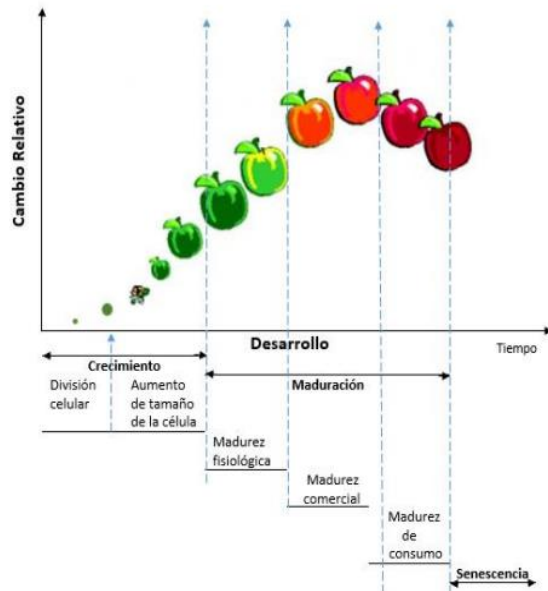
Los cambios que ocurren durante el proceso de maduración se pueden clasificar en tres grupos según (Martínez Cadena, 2019) que son físicos como el cambio de color, alteraciones de sabor y cambio de la textura, metabólicos como el aumento de la respiración y bioquímicos como cambios en la expresión génica.

Con base en la (FAO, 2010) dentro del proceso y desarrollo del fruto se observa la madurez fisiológica la cual determina que el motilón está en su correcto desarrollo para alcanzar la madurez comercial que es el estado óptimo de cosecha, (García Martínez, 2011) afirma que está situada entre la madurez fisiológica y de consumo, momento en el cual se

puede separar de la planta y probablemente ser consumida o esperar a una madurez de consumo en frutos climatéricos.

Figura 6.

Madurez de un fruto



Nota. Se observa el cambio que ocurre en los frutos en el proceso de maduración.

Fuente. (Martínez Cadena, 2019)

Finalmente, la madurez de consumo es el momento en el que el fruto alcanza sus características organolépticas y sensoriales codiciadas al gusto del consumidor, por ejemplo, un aroma agradable, dulzor, etc. La figura 7 describe perfectamente el estado de madurez ideal y del motilón (Martínez Cadena, 2019).

Figura 7

Madurez del motilón



Nota. Se observa el cambio que ocurre en motilón en el proceso de maduración.

Fuente. (Martínez Cadena, 2019)

Propiedades Nutracéuticas del Motilón

Aproximadamente desde 2011 se han realizado estudios científicos en el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) en los cuales han determinado que es uno de los frutos silvestres con más contenido de compuestos nutracéuticos por su color característico y se destaca por sus propiedades antioxidantes (Santacruz Cifuentes, 2011).

Se evidencia actualmente que los fármacos de origen sintético traen consigo efectos que desencadenan condiciones en la salud, sin embargo el uso de la medicina tradicional incorporando producto a base de compuestos bioactivos de origen vegetal ha sido una de las soluciones viables dado a que las plantas y frutos contienen diversas propiedades, dentro de estos compuestos han destacado las antocianinas y sus características antioxidantes que combaten contra los radicales libres de enfermedades como la diabetes, síndromes cardíacos y algunos cánceres (Alzate-Arbelaez et al., 2022).

Los estudios que enfatizan la efectividad de las antocianinas sobre enfermedades crónicas degenerativas han demostrado resultados significativos para incorporar estos compuestos dentro formulaciones combinadas con otros fármacos, inclusive sintéticos, las

propiedades de las antocianinas aportarían valor agregado si se incluyen en formulaciones de medicamentos (terapéuticas) o alimenticias (nutracéuticos) (de la Rosa Reyna et al., 2022b).

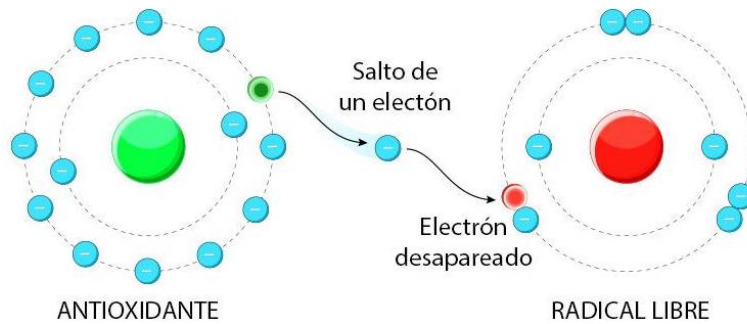
El consumo de frutas y verduras ha demostrado un significativo avance en la salud y diversos beneficios por sus aportes de compuestos bioactivos, de tal manera que es indispensable incluirlas en la dieta. En ellas se encuentran vitaminas, polifenoles, proantocianidinas y antocianinas las cuales son una gran fuente de vitalidad para el organismo (R. H. Liu, 2013).

Estudios han demostrado que las antocianinas son potentes antioxidantes porque poseen grupos hidroxilo (-OH) en su estructura responsables de donar electrones o átomos de hidrogeno a los radicales libres apareándose de manera estable y neutralizándolos e inhibiendo su acción de igual manera reducen el estrés oxidativo protegiendo biomoléculas como lípidos, proteínas y ADN lo cual destaca a los antioxidantes como agentes preventivos y protectores (Kong et al., 2003).

Los radicales libres son los causantes en gran medida de las enfermedades mencionadas anteriormente dado a que generan daño celular al ser átomos o moléculas inestables que tienen electrones sin aparearse en el último nivel de energía, por esa razón buscan aparearse robando electrones de otras moléculas para alcanzar estabilidad lo que genera daño de lípidos, proteínas y ADN, formando una cadena de daño celular y como consecuencia patologías crónicas degenerativas tal como se observa en la figura 9 y figura 10 (Lobo et al., 2010).

Figura 8

Radical frente a antioxidante



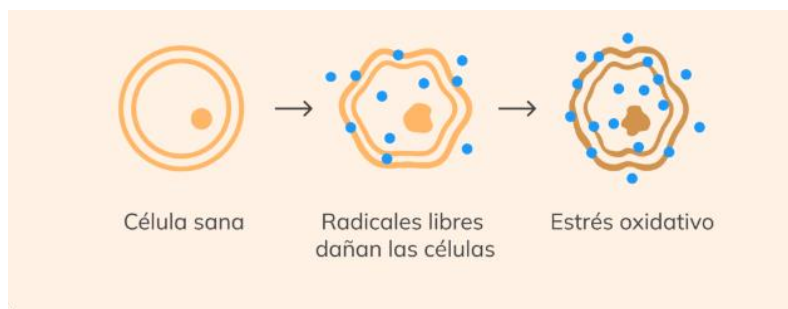
Nota. Se observa la neutralización de un radical libre con la presencia de un antioxidante.

Fuente. (Blog para una vida saludable, 2013)

Santacruz, (2011) reporta que el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) es uno de los frutos con más capacidad antioxidante y que los resultados del estudio indican que 100 gramos de motilón contienen 240 miligramos de antocianinas el cual es un valor diez veces mayor que de otras frutas estudiadas como la mora de castilla, que posee 18 miligramos por cada 100 gramos.

Figura 9

Estrés oxidativo



Nota. Se observa el deterioro de una célula sana frente a la presencia de radicales libres.

Fuente. (Martinez & Gutierrez, 2025)

Compuestos Bioactivos

Definición

Los compuestos bioactivos son un amplio grupo que pertenece a los fitoquímicos o fitonutrientes, los cuales no son nutrientes esenciales para el cuerpo ya que su ingesta no es indispensable para el funcionamiento de las actividades vitales básicas del organismo, sin embargo su consumo aporta una gran cantidad de beneficios a la salud por sus propiedades características, de igual manera en su nombre, el término “Fito” se refiere a las plantas por su significado en griego phytón, por lo tanto, se sugiere que son compuestos producidos por organismos de origen vegetal (Pandey & Rizvi, 2009; Scalbert et al., 2005).

La evidencia clínica respalda su papel en la prevención y el manejo de enfermedades como trastornos cerebrovasculares, cardiovasculares, afecciones metabólicas y cáncer, las dietas ricas en fitoquímicos se asocian a un menor riesgo de enfermedades. Los fitoquímicos también son pioneros en aplicaciones en conservación de alimentos, suplementos dietéticos y tratamientos médicos emergentes (Hossain et al., 2025a).

La relación de los compuestos bioactivos con el organismo genera los múltiples beneficios a la salud, principalmente los asociados con el estrés oxidativo, estos compuestos se encuentran en su gran mayoría en las frutas y plantas por lo cual resalta la importancia de implementar una dieta balanceada que incluya frutas, vegetales, cereales y hortalizas (Lobo et al., 2010).

La implementación de una alimentación dietética para combatir diversas enfermedades, como la obesidad, la diabetes, el párkinson, etc. Ha generado mucho atractivo en la investigación de los compuestos bioactivos provenientes de alimentos (R. H. Liu, 2013).

Los compuestos bioactivos pueden estar destinados para desempeñar distintas funciones en la salud con efectos directos como antioxidantes, anticancerígenos, antibacterianos, antiinflamatorios y antidiabéticos no obstante en la presente revisión y compilación bibliográfica es de gran interés los compuestos fenólicos, uno de los tipos de compuestos que se pueden encontrar de origen vegetal en el motilón (*Hieronyma macrocarpa*), los cuales contribuyen con la función de agente antioxidante, combatiendo radicales libres causantes de diversas enfermedades asociando a reducir el daño celular que desarrolla enfermedades crónicas y degenerativas (Alzate-Arbelaez et al., 2022; Scalbert et al., 2005).

Principales Grupos de Compuestos Bioactivos Encontrados en Frutas y su Clasificación

(Martínez-Navarrete et al., 2008) afirma que existen cuatro grandes familias de compuestos bioactivos encontrados en frutas y vegetales las cuales son las sustancias nitrogenadas, azufradas, terpénicas y fenólicas, siendo las tres últimas las de mayor valor e interés para la agroindustria.

A cada una de las familias nombradas pertenecen subgrupos de cientos de compuestos bioactivos clasificados por su estructura, en este caso como se nombró anteriormente el énfasis está centrado en las sustancias fenólicas las cuales están presentes en el fruto de interés el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) (Hossain et al., 2025b; Manach et al., 2004)

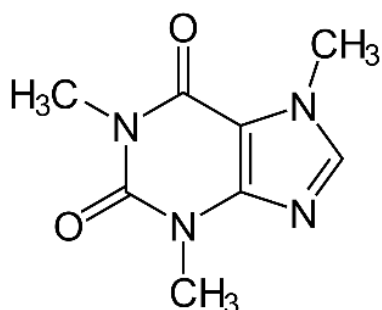
Las sustancias Nitrogenadas o Alcaloides

Se caracterizan por tener átomos de nitrógeno en su estructura heterocíclica generando compuestos como la teobromina, cafeína (Figura 11), capsaicina, etc. Los compuestos de esta familia se encuentran y distribuyen en frutos como el cacao, café, té, guaraná, nuez de cola, ají, papa, etc.

Desde la antigüedad, los alcaloides han tenido un gran impacto en la vida de animales y humanos y son parte integral de los alimentos y bebidas consumidos en la vida diaria. Además, estos compuestos se utilizan en fármacos medicinales y estimulantes con actividades biológicas centrales, los alcaloides con actividades anticancerígenas, como la vincristina, la vinblastina y el taxol, se están utilizando eficazmente como fármacos quimioterapéuticos (Bhambhani et al., 2021).

Figura 10

Estructura de la cafeína



Nota. Se observa la estructura química de la cafeína con esqueleto heterocíclico con tres grupos metilo (-CH₃) y la fórmula molecular C₈H₁₀N₄O₂.

Fuente. (NEUROtiker, 2007)

Las Sustancias Azufradas

Como en su nombre lo indican, se caracterizan por la presencia de átomos de azufre (S) en su estructura química; por ejemplo, algunos que destacan son sulforafano, alicina, metionina, cisteína, etc. Dichos compuestos se encuentran en alimentos como el maracuyá, guayaba o mango, generalmente en frutas tropicales y en vegetales crucíferos y aliáceas como la coliflor y el ajo respectivamente, (Gámez Villazana, 2020) menciona que la alicina que se observa en la figura 12, el cual es el tiosulfinato más abundante del ajo es un compuesto de características predominantes como órgano sulfurado, citotóxico, liposoluble, altamente inestable y volátil.

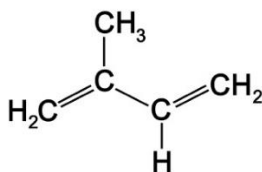
Figura 11*Estructura de la alicina*

Nota. Se observa la estructura de la molécula con fórmula $C_6H_{10}OS_2$, destacando su grupo sulfinato ($S=O$) y el enlace disulfuro S-S, características clave de su reactividad biológica.

Fuente. (Yikrazuul, 2008)

Las Sustancias Terpénicas

Considerando a Gámez Villazana (2020) tienen la función de proteger a lípidos y componentes celulares del ataque de agentes oxidantes como radicales libres de oxígeno, superóxido y grupos hidroxilo reactivos, están formadas en su estructura química por isoprenos (C_5H_8) y dependiendo de cuantos poseen se clasifican en monoterpenos (2 isoprenos) (Figura 13), sesquiterpenos (3 isoprenos), diterpenos (4 isoprenos), triterpenos (6 isoprenos) y tetraterpenos (8 isoprenos), entre los cuales se encuentran algunos representantes como el limoneno que se puede observar en la figura 14 (monoterpeno), farneseno (sesquiterpeno), fitol (diterpeno), ácido ursólico (triterpeno) y carotenos (tetraterpenos) (Pichersky & Raguso, 2018).

Figura 12*Estructura del isopreno*

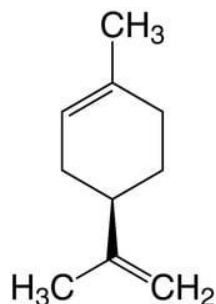
Nota. Se observa la estructura del isopreno C_5H_8 con dos dobles enlaces y un grupo metilo siendo la unidad de donde se derivan los terpenos.

Fuente. (Castaños, 2015)

Generalmente se encuentran en fuentes vegetales como frutas aromáticas, por ejemplo, la naranja, limón, manzana, uva, mango, papaya, etc.

Figura 13

Estructura del limoneno



Nota. Se observa la estructura de un monoterpene cíclico (2 isoprenos) con un anillo de ciclohexeno, un grupo metilo y un grupo prop-1-en-2-il.

Fuente. (Karlhahn, 2022)

De los diversos beneficios de las sustancias terpenicas se puede encontrar su acción insecticida, en la tabla 2 se puede observar algunos ejemplos.

Tabla 2

Terpenos insecticidas

Tipo de terpeno	Función	Características	Referencias
Limoneno	Potencia a los terpenos.	Mas estable que el D-lomoneno.	(Friedman et al., 2006)
Beta-ionona	Antibacteriano y antifúngico.	Profiláctico.	(Chen & Viljoen, 2010)
Eugenol	Antibacteriano y antifúngico obtenido del clavo de olor.	De alta fragancia.	(Chen & Viljoen, 2010)
Mirceno	Antibacteriano y antifúngico.	De alta fragancia.	(Friedman et al., 2006)
Geraniol	Antibacteriano y antifúngico.	Fragancia agradable.	(Filipowicz et al., 2003)

Fuente. (Cox-Georgian et al., 2019)

(Gómez Villazana, 2020) sostiene que el limoneno está presente en el aceite de la cascara de crutos cítricos como el limón o la naranja y es precursor de otros monoterpenos como el carveol, mentol, carvona, etc.

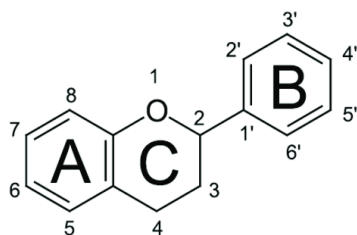
Las Sustancias Fenólicas

Son una extensa familia a la cual pertenecen miles de compuestos característicos, afirmando según (Gómez Villazana, 2020) son los compuestos bioactivos más estudiados, identificando más de 8.000 compuestos divididos en varias subclases, en su estructura química presentan un anillo aromático unido a grupos hidroxilo (-OH), clasifica en subfamilias a lignanos, estilbenos, ácidos fenólicos, taninos y flavonoides como se observa en el esquema.

Dentro de los flavonoides (Figura 15) con estructura básica de C₆-C₃-C₆, se encuentran las antocianinas, los flavonoles, flavonas, las flavanonas, chalconas, dihidrochalconas, las isoflavon, isoflavonas y los flavan-3-oles (Mattioli et al., 2020b; Tomás-Barberán & Espín, 2001).

Figura 14

Estructura de los flavonoides



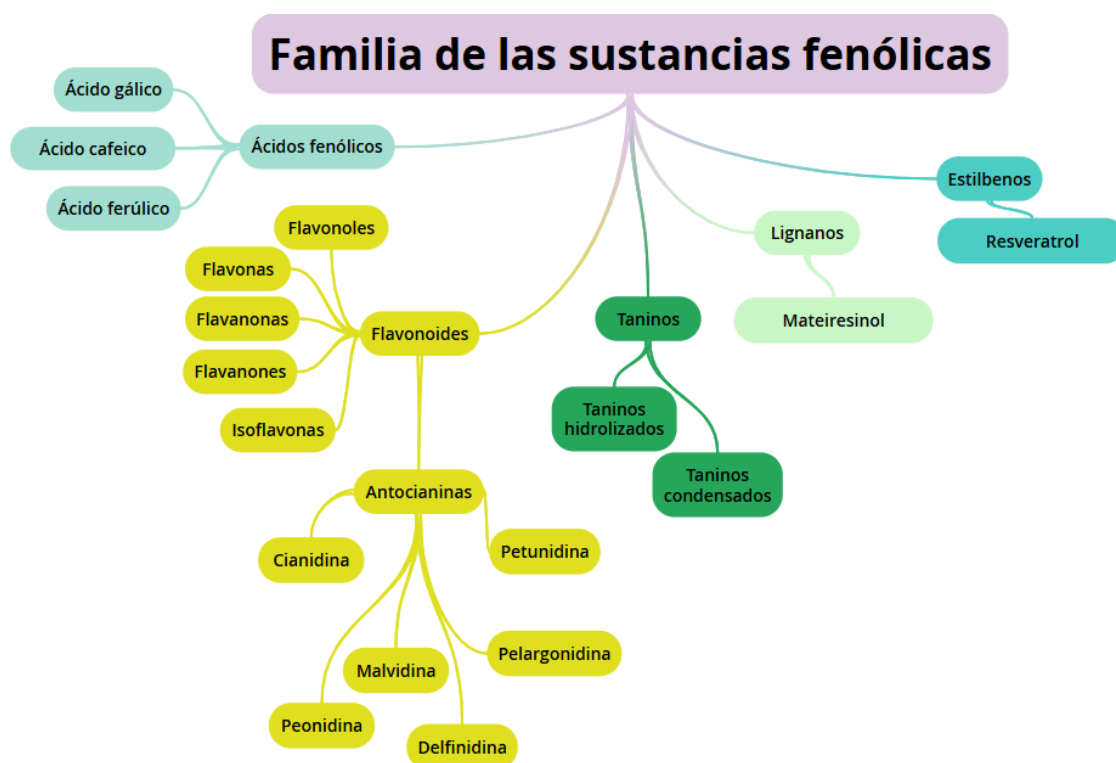
Nota. Se observa la estructura de los flavonoides con un núcleo formado por dos anillos bencénicos (A y B) unidos por un puente de tres carbonos que forma el anillo heterocíclico C.

Fuente. (M. Zhang et al., 2023)

Dentro de las subfamilias las cuales se pueden observar en la figura 16 en donde se despliegan todas las familias de compuestos, los flavonoides destacan por su abundancia relacionando este factor a sus amplias funciones biológicas en las plantas como la pigmentación, la foto protección de las plantas como lo menciona (Havsteen, 2002) afirmando que son utilizados por los vegetales para su crecimiento y defensa contra las plagas, Sin embargo, lo más importante es su estructura, dado que están conformados por dos anillos aromáticos y uno heterocíclico unidos por una cadena de 3 carbonos (C), lo cual favorece la diversidad de compuestos (Mattioli et al., 2020).

Figura 15

Sustancias fenólicas



Nota. Se observa la familia de las sustancias fenólicas con sus subfamilias.

Fuente. Autoría propia

Clasificación de los Compuestos Bioactivos de los Fitoquímicos y sus Funciones

Biológicas

Los compuestos bioactivos se pueden clasificar con base en diversos criterios sin embargo los principales aspectos son tres, que son en primer lugar el origen, la naturaleza química o estructura y la función biológica, lo cual genera una relación que da respuesta del porqué la estructura es compatible a generar los cambios en la salud (Hossain et al., 2025b; Manach et al., 2004).

Origen

Se refiere a la fuente de donde se generan, es decir, si clasifica en origen vegetal (fitoquímicos), animal (colágeno, ácidos grasos, etc.) o microbiano (bacteriocinas, fermentos, etc.). Tal como señala (Williamson, 2017) quien afirma que los fitoquímicos son de exclusivamente origen vegetal.

Naturaleza Química o Estructura

Es de gran importancia y la clasificación más común para identificar los compuestos bioactivos, ya que esta determina la función biológica, evidenciando que encajen en alguno de los grupos nombrados anteriormente, como compuestos fenólicos, alcaloides (sustancias nitrogenadas), terpenoides y sustancias azufradas. Cada familia tiene estructuras distintivas, nombrando ejemplos, como los flavonoides, que al tener grupos hidroxilo (-OH) poseen la capacidad de neutralizar radicales libres, generando un efecto antioxidante (Shahidi & Ambigaipalan, 2015a).

De acuerdo con (Singla et al., 2019) sostiene que los polifenoles pueden clasificarse simplemente en flavonoides y no flavonoides, o subdividirse en muchas subclases

dependiendo del número de unidades fenólicas dentro de su estructura molecular, grupos sustituyentes y/o el tipo de enlace entre las unidades fenólicas.

Función Biológica

Se refiere al beneficio o efecto que el compuesto bioactivo genera al interactuar con el organismo, clasificándose como antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, anticancerígenos o quimiopreventivos y antidiabéticos o reguladores metabólicos, esto en contraste con (Serafini et al., 1994) que señala que, en la década de 1990, los polifenoles se clasificaron como antioxidantes generales.

Considerando los aspectos de clasificación nombrados, el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) como representante se ubica en los fitoquímicos, pertenece a la familia de las sustancias fenólicas como subgrupo flavonoides y como compuesto bioactivo específico las antocianinas que tienen como beneficio o función biológica el efecto antioxidante actuando contra el daño oxidativo de las enfermedades degenerativas como lo expone (Khoo et al., 2017) quienes aportan que también ha surgido evidencia relativamente reciente de ensayos clínicos que sugiere que el consumo de alimentos, bebidas y nutracéuticos específicos, como los ricos en antocianinas, está asociado con un riesgo reducido de enfermedades crónicas no transmisibles.

Funciones Biológicas de los Compuestos Bioactivos

Las funciones biológicas de los compuestos bioactivos corresponden a los efectos específicos que ejercen sobre las células, los tejidos y los sistemas fisiológicos, en función de su estructura química y de su capacidad para interactuar con diferentes rutas metabólicas (da Silva et al., 2018; Feitosa et al., 2023).

Función Antiinflamatoria

Particularmente, se dice que la inflamación (Mecánica, química o infecciosa) es una respuesta del organismo ante un agente externo que causa daño en el cuerpo, por ejemplo, infecciones, lesiones, etc. Mas sin embargo cuando una inflamación es prolongada, se convierte en crónica y se denomina neuro inflamación la cual es perjudicial dado a que mantiene al sistema inmunológico activado y genera daño tisular, iniciando enfermedades degenerativas como diabetes, Parkinson, etc. (Furman et al., 2019).

La función biológica que ejercen los compuestos bioactivos como los de la tabla 3, es de modular los mediadores inflamatorios y proteger las células y tejidos tal como lo expone (Calder, 2017) quien afirma que los compuestos estimulan las células T y macrófagos (Glóbulos blancos) controlando la inflamación y promoviendo un microbiota intestinal saludable lo cual es indispensable para evitar la inflamación relacionada con enfermedades crónicas.

De igual manera, la evidencia clínica confirma con un estudio que la epigallocatequina-3-galato (EGCG) exhibe efectos antiinflamatorios y muestra potencial en el tratamiento de la enfermedad inflamatoria intestinal, con un rango de dosis eficaz de 32 a 62 mg/kg/día (Wei et al., 2024).

Tabla 3

Compuestos útiles contra trastornos

Familia de ingredientes	Ingrediente individual
Polisacaridos	Fucoidanos, carragenina
Carotenoides	Astaxantina, flucoxantina, sifoxantina
Proteinas, péptidos y aminoacidos	Lectinas
Ácidos grasos omega - 3	Ácido eicosapentaenoico, ácido docosahexaenoico
Polifenoles	Dieckol

Fuente. (Furman et al., 2019)

Función Antimicrobiana

Destacan dentro de las funciones biológicas dado a su gran capacidad de inhibir y evitar el crecimiento microbiano, en contraste con Hossain et al (2025b) quien describe que los compuestos alteran las membranas citoplasmáticas celulares bacterianas evitando la replicación del ADN bacteriano lo cual va en contra de las infecciones y bacterias resistentes a antibióticos.

Okafor et al. (2024) al encontró que la alicina producida por el ajo tiene un efecto antibacteriano en bacterias Gram positivas y negativas al invadir enzimas bacterianas dañando así la membrana celular, en concordancia con Villanueva et al (2023) que también comprobó que los taninos del té previenen el crecimiento microbiano de microorganismos patógenos como *Escherichia coli* y *staphylococcus aureus*.

Función Anticancerígena o Quimiopreventiva

En la actualidad el cáncer presenta una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial por lo cual a lo largo del tiempo se ha buscado estrategias para prevenir los diversos tipos de cáncer encontrando así una alternativa en el uso de los compuestos bioactivos encontrados en los alimentos en contraste con Febriyanti et al (2025) quienes señalan que los fitoquímicos son vitales para el desarrollo de fármacos anticancerígenos y que más del 60% de los agentes quimioterapéuticos actuales se generan de los compuestos bioactivos.

Dentro del cáncer (carcinoma, sarcoma, leucemia y linfomas) hay varios conceptos que se deben comprender para identificar la acción de los compuestos, la carcinogénesis en su etapa de iniciación es cuando las células comienzan a mutar el ADN para continuar a proliferarse de manera descontrolada lo que se denomina promoción y finalmente la invasión

de otros tejidos y células lo que se denomina progresión o más conocido como metástasis (Hanahan & Weinberg, 2011).

En consonancia con Hossain et al (2025b) quienes indican que el resveratrol y la curcumina aportan a la apoptosis es decir la limitación del crecimiento celular y bloquean la angiogénesis que es la formación de vasos sanguíneos para el crecimiento del tumor y concuerda con los resultados de Kumari et al (2024) quien señala mediante investigación que la curcumina reduce el número de vasos sanguíneos generando que las células tumorales se deterioren por falta de nutrientes y oxígeno para el crecimiento tumoral generando un efecto de inhibidor angiogénico.

Función Antidiabética o Reguladores Metabólicos

La diabetes es una de las enfermedades más comunes, la cual es causada por irregularidades en la producción de la hormona insulina (que proviene del páncreas) o por la falta de acción de esta en el organismo resistente, lo que genera altos niveles de azúcar en la sangre. La Organización Mundial de la Salud menciona que, en 2021, la diabetes ha sido durante años una de las principales causas directas de 1,6 millones de muertes, y el 47% de esas muertes ocurren en personas menores de 70 años. Además, 530,000 personas murieron a causa de una nefropatía diabética, y la hiperglucemia ocasiona alrededor del 11% de las defunciones por causas cardiovasculares («Introduction: *Standards of Medical Care in Diabetes—2022*», 2022).

Frente a la problemática los compuestos bioactivos han sido de gran importancia en estudios que busquen aportar con la regulación de los niveles de glucosa en la sangre por lo cual se identificó que los compuestos antidiabéticos de origen natural se clasifican según su

estructura química, incluyendo hidrolizados de proteínas y péptidos, polisacáridos y ácidos fenólicos (Siddiqui et al., 2024).

Función Antioxidante

La función antioxidante de los compuestos bioactivos es la más importante, significativa y funcional, dado que el estrés oxidativo es la causa principal de las enfermedades, dado a que es el desequilibrio entre la capacidad antioxidante del organismo y la producción de radicales libres, lo cual genera el desarrollo de enfermedades como la diabetes, patologías cardiovasculares, procesos neurodegenerativos y cáncer.

Los antioxidantes encontrados en los fitoquímicos neutralizan a los radicales libres evitando el daño celular o tisular y la reacción de cadena, disminuyendo en gran medida el deterioro de las enfermedades y contribuyendo a la protección celular tal como lo afirma (Rudrapal, 2022) señalando que los polifenoles, flavonoides y carotenoides son de gran importancia en la regulación de enzimas antioxidantes como el superóxido dimutasa (SOD) y la catalasa para proteger el organismo del daño oxidativo.

Como ejemplo (Vendrame & Klimis-Zacas, 2019) realizó una revisión de varios estudios que evidencian que las antocianinas favorecen al control y equilibrio de la presión arterial concluyendo en concordancia con (Clark et al., 2015) que los compuestos fenólicos flavonoides si pueden modular la presión arterial al restaurar la función endotelial, al afectar los niveles de óxido nítrico.

(Lin et al., 2017a) identifica los efectos de las antocianinas en el inicio, formación, desarrollo e inhibición del cáncer, señalando que las antocianinas inducen la diferenciación terminal de las células y bloquean la tumorigenesis, que es el proceso en el cual las células normales se convierten en cancerosas y dan lugar a tumores.

Compuestos Bioactivos Encontrados en Frutos Andinos

(Santacruz Cifuentes, 2011) enfocó su investigación a cuatro bayas silvestres que son la uva de árbol, mora, motilón y coral, señalando que en los frutos se encontró antocianinas determinando con más actividad antioxidante al motilón frente al método de radicales DPPH y ABTS.

(Obregón La Rosa & Lozano Zanelly, 2021) realizó un estudio en tres frutos andinos, uno de ellos un fruto silvestre conocida como uvilla, uchuva o aguaymanto en la cual identifico compuestos bioactivos como los polifenoles totales (62,93 y 67,24 mg ácido gálico/100 g) y carotenoides totales (0,8 y 0,74 mg β -caroteno/100 g, respectivamente). Señalando una fuente considerable de compuestos nutraceuticos con aportes antiespasmódicos, diuréticos, antisépticos, antiinflamatorios, antimicrobianos y anticancerígenos.

Compuestos Bioactivos Encontrados en el Motilón

Con base en la revisión literaria de las citas bibliográficas se puede deducir con certeza que el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) tiene como compuesto bioactivo principal las antocianinas de tipo monomérico, definidina-3-p-cumaroil-hexosa, cianidina-3-hexosa-hexosa, petunidina-3-hexosa-hexosa y cianidina-3-hexosa-5-hexosa, según el estudio realizado por (Jiménez Mora, 2008) y según (Alzate-Arbelaez et al., 2022) se encontró que por 100 g hay 1317.4 ± 17.2 mg de cianidina-3-glucosido y 895.5 ± 12.0 mg de ácido gálico.

Métodos para Evaluar la Capacidad Antioxidante de los Compuestos Bioactivos

Lastimosamente, no se han realizado estudios que describan detalladamente la composición química del motilón; sin embargo, los limitados estudios realizados enfocan su

investigación en la capacidad antioxidante de las antocianinas utilizando métodos como DPPH, FRAP y ABTS.

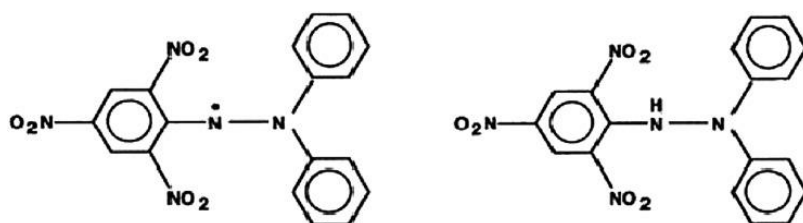
Método DPPH

El método de capacidad de donación de hidrogeno o DPPH (α,α -difeníl- β -picrilhidrazilo) se utiliza para medir la capacidad antioxidante del extracto de algún vegetal o fruto, donde se busca la neutralización del radical estable DPPH como se observa en la figura 17, el cual posee un electrón desapareado, un color violeta y 517 nm de absorbancia, al mezclarlo con el extracto, el antioxidante le cede un electrón cambiándolo a color amarillo para finalmente medir por medio de un espectrofotómetro la absorbancia y determinar la actividad antioxidante del extracto (Entre más bajo el valor de absorbancia mayor es la capacidad antioxidante), expresando el resultado como el porcentaje de inhibición del radical DPPH (Kedare & Singh, 2011).

El método DPPH presenta ventajas como que se puede utilizar en solventes orgánicos acuosos y no polares además de que se puede usar para examinar antioxidantes hidrofílicos como lipofílicos e identifica antioxidantes débiles (Prior et al., 2005).

Figura 16

Radical DPPH



1: Diphenylpicrylhydrazyl (free radical)

2: Diphenylpicrylhydrazine (nonradical)

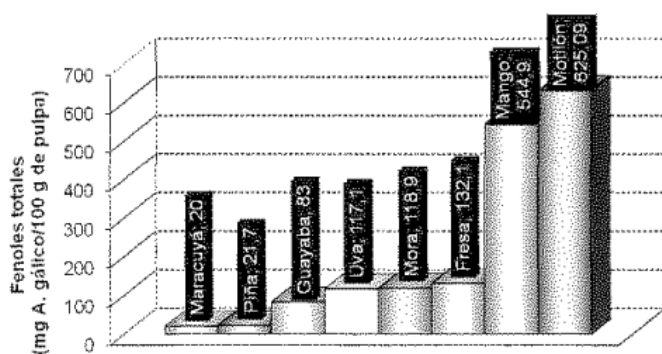
Nota. Se observa la estructura del radical DPPH neutralizado con un radical.

Fuente. (Kedare & Singh, 2011)

Para el motilón, Jiménez Mora (2008) determinaron la actividad antioxidante de dos extractos de motilón, uno crudo (MPC) y otro concentrado rico en polifenoles (MXP) determinando que el que contiene más capacidad antioxidante es el segundo extracto y destacando al motilón en comparación con otras frutas como se evidencia en la figura 18.

Figura 17

TEAC de frutos



Nota. Se observa la actividad antioxidante de varios frutos entre ellos frutos andinos.

Fuente. (Jiménez Mora, 2008)

Método ABTS

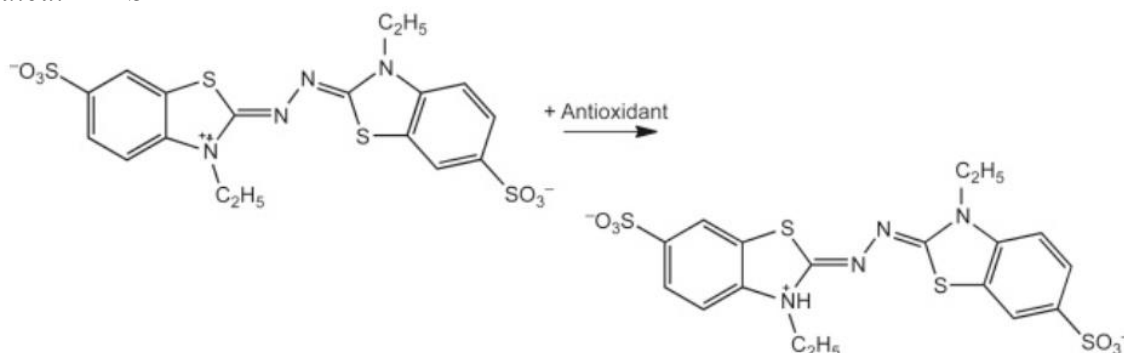
(ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) es uno de los métodos más comunes usados en los estudios del motilón (*Hieronyma macrocarpa*) para medir la capacidad antioxidante total (CAT) de los compuestos bioactivos (Antocianina) y su manera de actuar es similar a la del método DPPH dado a que ABTS también es un radical catiónico resultado de la oxidación con persulfato de potasio (Formula química) que necesita ser neutralizado (Figura 19) o emparejado con los hidrógenos del extracto antioxidante y perder su color verde azulado, de igual manera se debe medir la absorbancia a 734 nm, este es inversamente proporcional, es decir que a menor absorbancia, mayor será la capacidad antioxidante (Jiménez Mora, 2008).

El catión radical ABTS es cromóforo que presenta una absorción característica de 734 nm produciéndose por la reacción entre ABTS*+ (7 mM) en agua y persulfato de potasio (2,45 mM), en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente por 12 horas (Alzate-Arbelaez et al., 2022; Jiménez Mora, 2008).

El estudio de (Jiménez Mora, 2008) evidencio que la capacidad para neutralizar el radical ABTS fue mayor en el extracto MPX.

Figura 18

Radical ABTS



Nota. Se observa la neutralización del radical ABTS con la presencia de antioxidante.

Fuente. (Bioactive Compounds, 2019)

Método FRAP

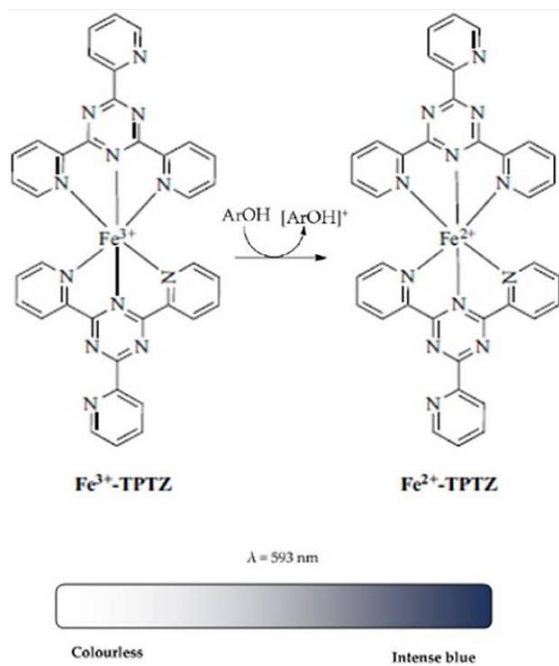
(Ferric Reducing Antioxidant Power) mide la capacidad antioxidante basado en la aptitud del extracto a evaluar para reducir iones férricos (Fe^{3+}) a ferrosos (Fe^{2+}), de igual manera se mide el aumento de absorbancia a 593 nm en longitud de onda y en este caso es directamente proporcional es decir que a mayor absorbancia mayor también será la capacidad antioxidante, es un método versátil sin embargo presenta una desventaja y es que no mide la capacidad antioxidante de un tipo de radical sino el total (Antolovich et al., 2002).

Se utiliza un reactivo TPTZ (Tripiridiltriazina) que se observa en la figura 20, que reduce a los iones férricos cuando hay un antioxidante presente convirtiéndose en color azul y

cuanto más intenso el color, mas es la capacidad reductos y antioxidante (Alzate-Arbelaez et al., 2022).

Figura 19

Método FRAP



Nota. Se observa cómo los antioxidantes presentes en la muestra transfieren electrones al complejo ferrico-TPTZ, transformándolo en su forma ferrosa.

Fuente. (Munteanu & Apetrei, 2021)

Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos de Frutos Andinos

Definición

El estudio de compuestos bioactivos de frutos andinos, así como su conservación demandan a utilizar métodos para extraerlos y protegerlos garantizando su disponibilidad, cuidado de las propiedades características, valor nutracéutico, rendimiento y función biológica en la salud. En consonancia (Bekavac et al., 2025) afirman que las diversas técnicas de extracción mejoran la recuperación de los bioactivos, preservando al mismo tiempo su integridad estructural y eficacia.

Extracción de Compuestos Bioactivos

Es un proceso que separa, purifica o aísla los compuestos bioactivos de interés de la materia vegetal en la que se encuentran. Para fitoquímicos se utilizan solventes o procesos físicos que transfieren la mezcla sólida o líquida a una fase líquida, lo que se conoce como el extracto, el cual puede concentrarse para mejorar el rendimiento o enriquecimiento de los compuestos bioactivos (Azmir et al., 2013).

El principal factor de la efectividad del método consiste en la elección del solvente dado a que opera por el principio de la solubilidad de los compuestos de la mezcla. Esto se debe a que el objetivo es no deteriorar las propiedades, no utilizar solventes tóxicos, que sea volátil para eliminarlo y elegir el que mejor rendimiento y eficacia proporcione a la extracción, es decir que sea más soluble con el compuesto a extraer que con los demás compuestos (Chemat et al., 2017).

Clasificación de los Métodos de Extracción

Los métodos de extracción han ido avanzando a medida del tiempo implementando tecnologías con el fin disminuir el uso de sustancias peligrosas como afirma (Chemat et al., 2012), motivo por el cual se puede clasificar a los métodos por factores como energía utilizada, principio fisicoquímico y eficiencia del proceso, de tal manera que se han dividido en dos grupos que son los métodos tradicionales o convencionales y métodos emergentes o no convencionales (Azmir et al., 2013).

Métodos Convencionales

Es el uso de técnicas clásicas de extracción que se han empleado a lo largo de los años en el estudio de las plantas, estas abarcan metodologías básicas y simples sin embargo por su extenso tiempo de aplicación el riesgo es en la degradación de los compuestos tal como lo afirma (Chemat et al., 2019). A continuación, se detalla cada método en la revisión bibliográfica.

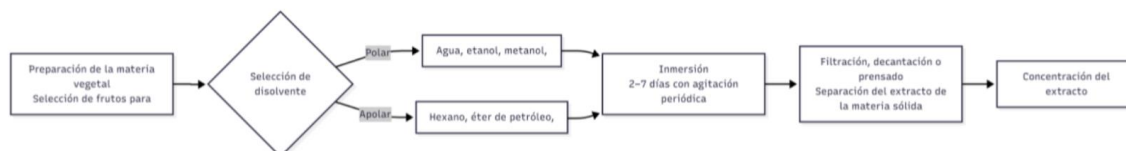
Maceración.

Es un método común y tradicional utilizado a lo largo de los años como el principal, dado a que es versátil, económico y sencillo, (*Maceración: una visión general | Temas de ScienceDirect*, s. f.). Sin embargo, tiene como desventaja el tiempo de la extracción por su metodología, la cual opera por el principio de difusión molecular; es decir, que los compuestos solubles se solubilizan lentamente en el solvente escogido, pero opera a temperatura ambiente, lo cual es ideal para compuestos sensibles al calor.

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 20

Proceso maceración



Fuente. Autoría propia

Se realiza en recipientes cerrados, con agitación ocasional, e implica varios pasos, como la molienda del material vegetal, la inmersión del material molido en disolvente, la eliminación del disolvente y el prensado de la muestra para recuperar el extracto crudo (Azmir et al., 2013).

Diversos factores pueden afectar la eficacia del método como el tiempo dado a que si se pasa de tiempo se puede degradar y si es poco tiempo no se extraen todos los compuestos, la elección del solvente también es fundamental dado a que si se quiere extraer compuestos polares el solvente de igual manera debe ser polar esto funciona para los flavonoides, y lo mismo ocurre con los compuestos no polares (Azmir et al., 2013; Chemat et al., 2019).

(Jiménez Mora, 2008) para la obtención de dos extractos de motilón (*Hieronyma macrocarpa*) utilizaron el método de maceración con solvente híbrido compuesto de agua destilada y ácido acético en una relación 19:1, para finalmente concentrar el extracto en rota evaporador a 5°C y lo llamaron extracto crudo de motilón (MPC) y al segundo extracto continuaron con extracciones utilizando solvente n-hexano y acetato de etilo los cuales purifican el extracto, removiendo compuestos lipofílicos, azúcares, ácidos orgánicos y sales, aluyendo los compuestos retenidos usando solvente metanol y ácido acético en la proporción

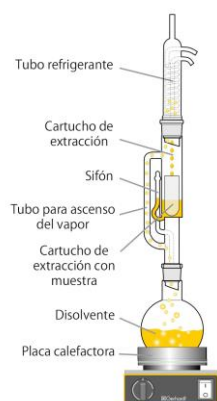
inicial y finalmente concentraron al vacío obteniendo el extracto concentrado en polifenoles (MPX).

El método también fue empleado por (Santacruz Cifuentes, 2011) quien inicio liofilizando los 4 frutos andinos entre ellos el motilón para extraer compuestos lipofílicos e hidrofílicos utilizando como solvente metanol y agua 50:50 siguiendo con una segunda extracción utilizando solvente acetona y agua en relación 70:30 para centrifugar y adicionar 50 ml de agua destilada y teniendo como resultado los extractos.

Reflujo o Soxhlet.

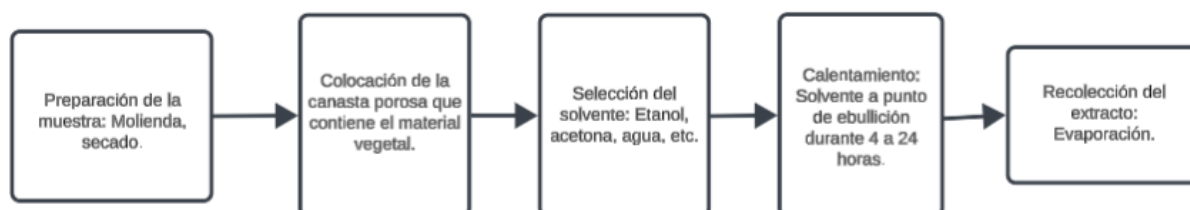
Es una técnica que utiliza reflujo continuo, procesos de ebullición y condensación por lo cual se trabaja con temperatura de ebullición como principal variable del método, se requiere de un montaje (Figura 22) que no sugiere supervisión ni altos costos de solvente porque se recircula y la eficiencia de la extracción es considerable lo que genera rendimiento del extracto, pero se requiere cuidado en determinar la temperatura para no degradar los compuestos de interés (Osorio-Tobón, 2020).

La metodología del método se basa en que el solvente en el matraz ebulla y suba por el tubo hasta el tubo de extracción, se condense para que gotee a la cámara refrigerante donde se encuentra la materia vegetal de la cual se busca el extracto, lugar donde al llenarse genera el retorno del solvente (Kaufmann & Christen, 2002).

Figura 21*Equipo Soxhlet*

Nota. Se observa el equipo para extracción Soxhlet donde se repite el ciclo.

Fuente. (Gerhardt, s. f.)

Metodología y Diagrama de Proceso.**Figura 22***Proceso Soxhlet*

Fuente. Autoría propia

La efectividad de la extracción se puede ver afectada por la temperatura al someter a los extractos por largos periodos se genera la disminución de la bioactividad de los compuestos (Osorio-Tobón, 2020).

Como ejemplo, Becerra-Ospina et al. (2020) obtuvieron un extracto de mora de castilla utilizando 400 ml de etanol al 75 %, 85 % y 96 % como solvente, con papel filtro como canasta porosa y un tiempo de 240 min. Concluyeron que para la extracción de antocianinas es ideal operar a 72 °C y con etanol al 75 %.

Otros estudios con agraz Becerra-Ospina et al. (2020) utilizaron 10 g de materia vegetal seca y 150 ml de etanol. Concluyeron que, en comparación con ultrasonido y microondas, el mejor método para la extracción de antocianinas es Soxhlet, ya que se obtuvo un valor de $3\,969,7 \pm 110,5$ mg de cianidin-3-glucósido/100 g de fruta.

Percolación.

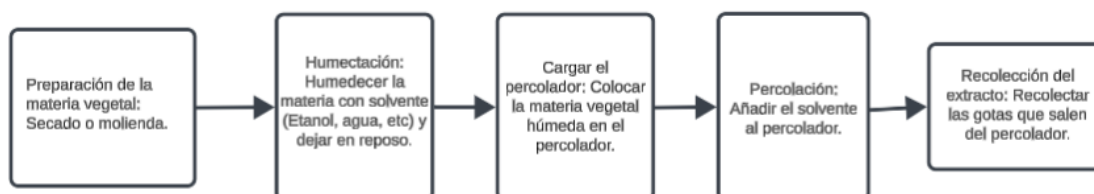
Es una técnica similar a la filtración en la cual al añadir el solvente este pasa por la materia vegetal arrastrando con los compuestos y finalmente es recolectado (M. Zhang et al., 2023), al igual que el método de maceración funciona con el principio de difusión, pero más completa debido al flujo continuo lo que puede ser también una desventaja al necesitar bastante solvente lo cual genera costos adicionales tal como aporta al afirmar que los factores principales que afectan la optimización del método es la elección del solvente, el tiempo de impregnación y el consumo del solvente (M. Zhang et al., 2023).

Una de las ventajas generales frente a otros métodos es que puede realizarse a temperatura ambiente, lo cual es ideal para compuestos sensibles al calor. Un ejemplo claro es la preparación del café (M. Zhang et al., 2023).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 23

Proceso percolación



Fuente: Autoría propia

El estudio realizado por (Suárez H. et al., 2018) emplearon el método de percolación para la extracción de compuestos antociánicos en mortuño utilizando los solventes ácidos rosmarínico y ácido ferúlico en proporción 1:1. Concluyeron que la elección de los solventes generó un mayor rendimiento en la capacidad antioxidante debido a su efectividad.

Métodos Asistidos o Modernos, No Convencionales y Tecnologías Emergentes

Son las técnicas que se han creado a lo largo de los años para mejorar la eficiencia y pureza de la extracción de compuestos bioactivos entre las cuales destacan los métodos asistidos lo cuales necesitan de una energía externa, los modernos es decir que incorporan nuevas tecnologías, no convencionales que buscan mejorar el rendimiento evitando el uso de grandes cantidades de solvente y de tecnología emergente que buscan procesos sostenibles para el impacto ambiental relacionados con la química verde (Chemat et al., 2012, 2017, 2019).

Durante los últimos 50 años se han desarrollado métodos no convencionales, más respetuosos con el medio ambiente gracias al menor uso de productos químicos sintéticos y orgánicos. Además, la disminución del tiempo de operación, un mejor rendimiento y la mayor calidad del extracto es una de las mayores ventajas (Azmir et al., 2013).

Extracción asistida por ultrasonido (UAE).

Es la técnica que emplea ondas ultrasónicas (Vibración) que generan la liberación de los compuestos de la materia vegetal en un solvente, es óptimo para compuestos termosensibles, está catalogada como una alternativa ecológica gracias a sus ventajas como el rendimiento, bajo consumo de solvente, opera bajo el principio de ultrasonología con efecto de cavitación generando la destrucción de la pared celular dejando como consecuencia la permeabilidad y difusión del compuesto (Chemat et al., 2012; Shen et al., 2023).

Los factores directos que afectan la eficiencia de la extracción son la frecuencia de las ondas, la elección del solvente, la temperatura y otros parámetros. (Shen et al., 2023).

El equipo utilizado se muestra en la figura 25.

Figura 24

Equipo ultrasonido



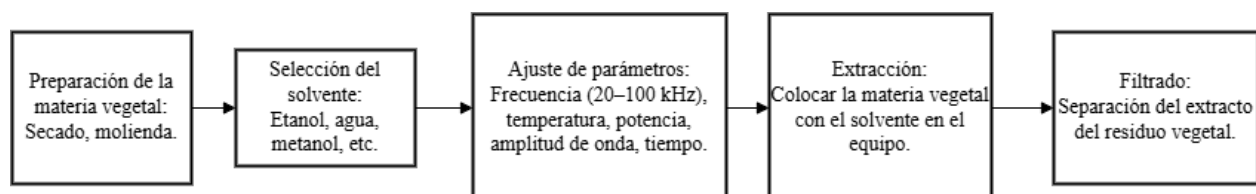
Nota. Se observa una sonda y un baño ultrasónico que emiten ondas.

Fuente. (Singla et al., 2019)

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 25

Proceso UAE



Fuente. Autoría propia

Los parámetros establecidos para la extracción de compuestos fenólicos en bayas como fresas, frambuesas y moras (Hooper et al., 2022) (Tabla 4).

Tabla 4

Parámetros para extracción

Compuesto	Variables	Solventes
Fenólico de frambuesas, fresas y moras	P= 700 W F= 20 kHz t= 45 min	Metanol o etanol

$T \leq 40^\circ\text{C}$
 $A = 50\%$
 S: Etanol

Fuente. (Hooper et al., 2022)

Parámetros establecidos para extracción de compuestos fenólicos en arándano (Bamba et al., 2018) (Tabla 5).

Tabla 5

Parámetros para extraer compuestos fenólicos

Compuesto	Variables	Solventes
Fenólico, flavonoide y antocianina del arándano	$P = 64 \text{ W}$ $F = 35 \text{ kHz}$ $t = 30, 40, 60, 90 \text{ min}$ $T = 20, 40, 60 \text{ }^\circ\text{C}$ S: Etanol	Agua o etanol

Fuente. (Bamba et al., 2018)

Para el motilón (caracterización fitoquímica y evaluación de la capacidad antioxidante del extracto polar obtenido de *Hieronyma macrocarpa*) empleo la técnica obteniendo un extracto con etanol a 96%.

Extracción Asistida por Microondas (MAE).

Como su nombre lo indica es una técnica que utiliza radiación de ondas electromagnética emitida por microondas lo que genera un calentamiento rápido de igual manera que el deterioro de las células y transferencia de los compuestos al solvente, la elección del solvente al igual que en métodos anteriores en uno de los principales factores que determinan la eficacia del proceso por ejemplo (Lopez-Avila & Luque de Castro, 2014) plantea una tabla con algunos solventes y sus puntos de ebullición.

Además, factores como potencia equilibrada para evitar degradación, pero aumentar la eficiencia de la extracción (Ismail-Suhaimy et al., 2021).

Para elegir el solvente es ideal conocer el punto de ebullición que se describen en la tabla 6.

Tabla 6

Punto de ebullición de solventes

Solvente	Punto de ebullición	Temperatura recipiente cerrado
Diclorometano	39.8	140
Acetona	56.2	164
Metanol	64.7	151
Etanol	78.3	164
Acetonitrilo	81.6	194
2-propanol	82.4	145
Acetona-hexano 1:1	52+	156
Acetona-ciclohexano 70:30	52+	160
Acetona-éter de petróleo 1:1	39+	147
Diclorometano-acetona 1:1	-	160
Tolueno-metanol 10:1	-	110-112
Tolueno-metanol 1:10	-	146

Fuente. (Ismail-Suhaimy et al., 2021)

El equipo utilizado (Figura 27) se conoce como magnetrón el cual es el encargado de emitir las microondas (Lopez-Avila & Luque de Castro, 2014).

Figura 26

Microondas



Nota. Se observa una cámara de microondas.

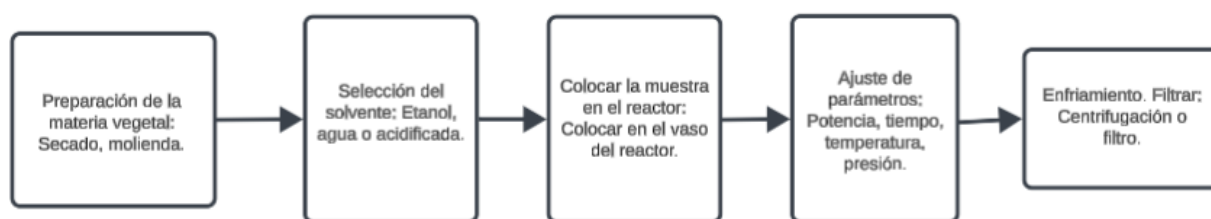
Fuente. (ETHOS X, s. f.)

Metodología y Diagrama de Proceso.

Las ventajas del método se enfocan en que el tiempo del proceso es muy corto es decir en minutos y alto rendimiento, sin embargo, el equipo reactor tiene un alto costo (Lopez-Avila & Luque de Castro, 2014).

Figura 27.

Proceso MAE



Fuente. Autoría propia

En algunos estudios realizados por Espinosa et al., (2017) en un fruto andina emplearon el método para la extracción de polifenoles con el objetivo de estandarizar los parámetros utilizando etanol como solvente concluyendo que las variables son P: 300 – 900 W, T: 70 – 110°C y t: 5 – 15 min, de igual manera el método está presente en diversos estudios de bayas como el ACAI. Aliaño-González et al. (2020) el cual utilizó un equipo de carrusel rotatorio acondicionando los parámetros y condiciones óptimas demostrando que es un método de implementación rápida y fiable.

Extracción Asistida por Enzimas (EAE).

Es un método que utiliza enzimas para extraer el compuesto bioactivo de la materia vegetal al fragmentar la estructura para su liberación, es una técnica moderna dado a que fue patentada para evitar el uso de solventes tóxicos y mejorar el rendimiento de la extracción al degradar la pared celular, utilizan enzimas como celulasas (hidrolizan enlaces glicosídicos),

pectinasas (Degradan sustancias pécticas), hemicelulosas (Hidrolizan hemicelulosas), enzimas proteolíticas (Catalizan la hidrólisis de enlaces amida en sustratos peptídicos) y mezclas comerciales de enzimas (Actúan frente a estructuras complejas) (Łubek-Nguyen et al., 2022).

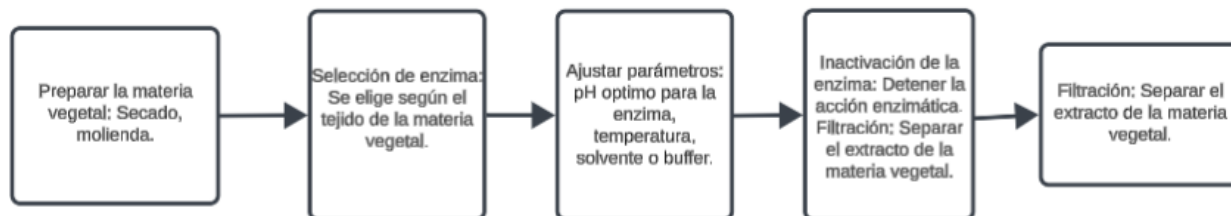
Metodología y Diagrama de Proceso.

Los factores principales que afectan al método es la elección del enzima dado a que si se elige sin tener en cuenta los enlaces no será adecuada la extracción también el tiempo de incubación para evitar el deterioro de los compuestos (Łubek-Nguyen et al., 2022).

La EAE se ha utilizado para extraer los compuestos bioactivos de bayas como el arándano (Syrpas et al., 2021) (Syrpas et al., 2021) una técnica eficaz.

Figura 28.

Proceso EAE



Fuente. Autoría propia

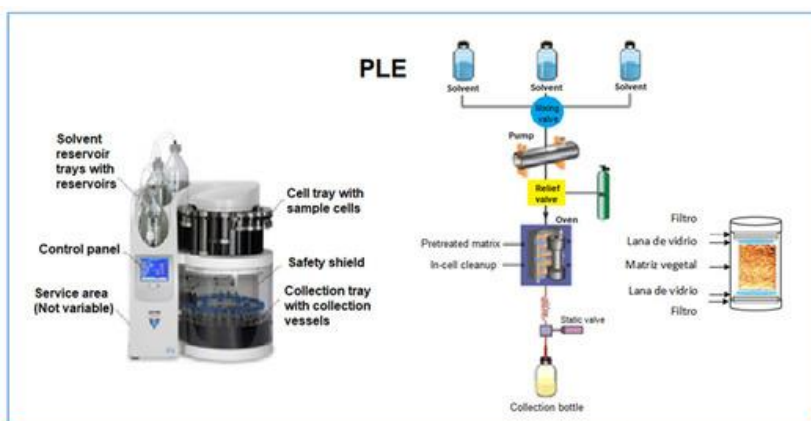
Extracción con Fluidos Presurizados (PLE o ASE).

Es un método de extracción rápido que utiliza solventes con condiciones específicas de presión y temperatura por debajo del punto crítico para extraer los compuestos operando bajo el principio de solubilidad dado a que la viscosidad del solvente disminuye hidratando fácilmente la materia vegetal y causando la ruptura de enlaces (Fraguela-Meissimilly et al., 2023).

El equipo que se muestra en la figura 30 contiene una columna de extracción con una bomba cromatográfica donde se coloca la materia vegetal y se somete a temperatura y a presión específicas y constantes durante el tiempo del proceso (Fraguela-Meissimilly et al., 2023).

Figura 29

Equipo PLE



Nota. Se observa el equipo de extracción PLE que determina las condiciones específicas del proceso.

Fuente. (Fraguela-Meissimilly et al., 2023)

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 30

Proceso PLE



Fuente. Autoría propia

Como en la mayoría de los métodos nombrados la eficiencia de se basa en la elección de las variables, en este caso las principales, temperatura, presión y solvente.

(López-Padilla et al., 2018) utilizo el método para obtener extractos de mortiño, concluyendo que se puede obtener un mayor contenido fenólico total.

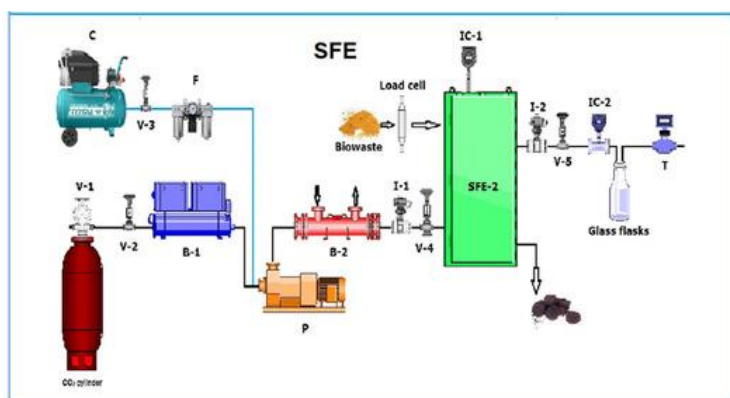
Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE-Co2).

Es la técnica que opera en condiciones por encima del punto crítico es decir que el solvente debe estar por encima de su temperatura y presión crítica, Co2 (Dióxido de carbono) es utilizado como solvente supercrítico con propiedades (T_c : 31,1°C y P_c : 73.8 bar) dado a que protege a los compuestos bioactivos termosensibles, ingresa bien en la materia vegetal generando seguridad y el cambio de densidad al modificar la presión, baja viscosidad y selectividad de los compuestos que es la mayor ventaja al evitar componentes no deseados en el extracto, pero el costo del proceso es elevado (Herzyk et al., 2024)

Uno de los factores importantes para efectividad del proceso es la presión y el volumen del solvente dado a que cuando mayor es la presión menor es el volumen, pero si la presión es muy alta se reduce la actividad antioxidante por lo cual es necesario un equilibrio (Fraguela-Meissimilly et al., 2023). El equipo se muestra en la figura 32.

Figura 31

Equipo SFE



Nota. Se observa el equipo de SFE el cual permite controlar las condiciones específicas de proceso.

Fuente. (Fraguela-Meissimilly et al., 2023)

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 32

Proceso SFE



Fuente. Autoría propia

Es uno de los métodos escogidos en diversas industrias actualmente y en la industria alimentaria ha sido utilizado para la extracción de compuestos de mortiño con una variación de presión 20 – 30 MPa y temperatura 131 – 343 K, Co₂ y etanol concluyendo que el rendimiento de la extracción aumenta si la presión es mayor (López-Padilla et al., 2016).

Extracción Combinada (UMAE).

También conocida como extracción ultrasónica – microondas asistida es un método que une los métodos de ultrasonido y microondas lo cual da como resultado una mayor eficiencia en la liberación de los compuestos de la materia vegetal al generar más daño en la pared celular de la materia dando como resultado un extracto con mayor capacidad antioxidante (Y. Zhang et al., 2023).

En este método se toma en cuenta la sinergia de las dos técnicas lo cual aporta acelerando la disolución haciendo una extracción en menor tiempo (Y. Zhang et al., 2023).

Por la revisión de los métodos se supone que el equipo es un híbrido de los equipos de UAE y MAE, la metodología del proceso es la misma, al igual que los solventes y las variables sin embargo al ser dos métodos unidos debe haber más control de operación.

Con base en la revisión bibliográfica se puede afirmar con seguridad que el método ideal para la extracción es la asistida por ultrasonido (UAE) el cual es una de las técnicas emergentes que prioriza a los compuestos termosensibles evitando la degradación, además de presentar diversas ventajas por su accesible costo y versatilidad como lo indica (Azmir et al., 2013), además de generar un mayor rendimiento del extracto (Yang et al., 2017).

Técnicas de microencapsulación de compuestos bioactivos de frutos andinos

Definición

El potencial de los compuestos bioactivos en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica ha llevado a la búsqueda de métodos que potencien su uso y su optimización sin comprometer su funcionalidad y pureza. Burgos-Briones et al. (2023) señalan que un porcentaje de los medicamentos y productos disponibles en el mercado se obtienen a partir de compuestos naturales, lo cual fomenta el interés e incentiva la investigación sobre los métodos más sofisticados y eficientes para su extracción, preservación y posterior beneficio. Una técnica ampliamente usada para mantener la estabilidad de los compuestos bioactivos y su incorporación en diferentes matrices alimenticias es la encapsulación.

Microencapsulación de Compuestos Bioactivos

Es el proceso por el cual se pueden proteger, transportar y almacenar los compuestos bioactivos obtenidos de los extractos, por medio de materiales encapsulantes que los recubren de daños físicos y químicos como la luz, el ambiente, oxígeno, químicos, pH, humedad, etc. Sin embargo, el costo puede ser elevado (M. Zhang et al., 2023; Zulham Z et al., 2021).

Al ser los compuestos bioactivos de fitoquímicos y su potencial uso en las diversas industrias por ejemplo en los alimentos funcionales, uno de los objetivos principales es protegerlos y aumentar su biodisponibilidad (Mehta et al., 2022).

(Nazzaro et al., 2012) afirman que las cápsulas protectoras pueden presentar diversos tamaños, como mili, micro y nanómetros.

Clasificación de los Métodos por Tecnología (Físicos, Fisicoquímicos y Químicos)

Con base en lo que afirma (Ozkan et al., 2019) los métodos de microencapsulación se pueden clasificar en tres categorías según los procesos que utilice que son físicos (Evaporación, calor, cambio de fase), físico – químicos (Coacervación, gelificación, interacción polímero – ion) y químicos (Polimerización, inclusión molecular), se generan estos tres grupos por que el principio es la formación de las cápsulas.

Métodos Físicos

Se refiere a las técnicas en las cuales la formación de la cápsula se realiza por procesos mecánicos o térmicos es decir que generan cambios de estado y transferencia de masa, es de bajo costo y sencillo (Fang & Bhandari, 2010).

Al material dentro de la cápsula, en este caso, el compuesto bioactivo se le llama fase interna, relleno y núcleo, y a la pared, envoltura, membrana o revestimiento.

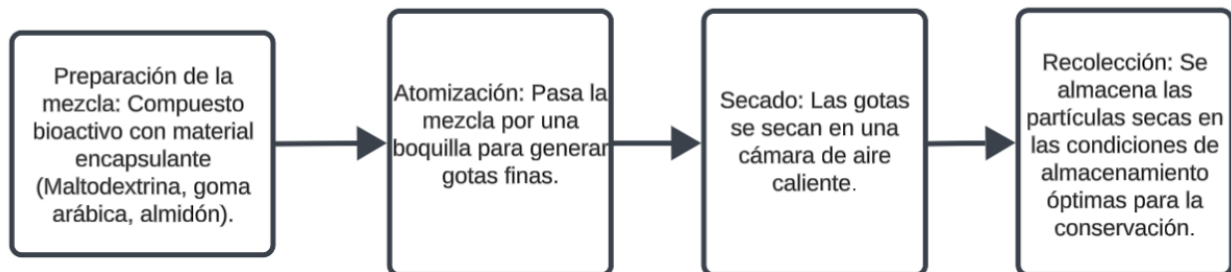
Secado por Aspersión (Spray Drying).

Es la técnica que protege al compuesto bioactivo de factores como la luz, temperatura, etc. Con el fin de mantener la vida útil y disponibilidad, se ha utilizado desde hace décadas en la cual se realiza una mezcla con el material encapsulante con el compuesto bioactivo, la cual se transforma por medio de evaporación y aire caliente en microcápsulas o polvo por lo que los factores como la elección del material encapsulante es fundamental, temperatura para no degradar los compuestos, viscosidad, tamaño, sensibilidad, etc. (Gharsallaoui et al., 2007a; I Ré, 1998).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 33

Proceso Spray Drying



Fuente. Autoría propia

La elección del material encapsulante se basa propiedades como alto contenido de sólidos y alta solubilidad como carbohidratos, gomas, biopolímeros, coloides, ceras, proteínas y almidones, el principio físico del método es la transferencia de masa y calor (Cardona Tangarife et al., 2021; Furuta & Neoh, 2021).

(Otálora et al., 2023) utilizó el método para la encapsulación de antocianinas de frutos andinos arándano andino (*Vaccinium meridionale Sw.*) comparando dos materiales encapsulantes los cuales son biopolímero hidrofílico de mucílago de cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica L.*) y goma arábica (GA), obteniendo un resultado en el cual el mucílago favorece la formación de partículas de mayor tamaño y superficie lisa sin grietas.

(Estupiñan-Amaya et al., 2023) Produjeron un polvo mediante el método de secado en arándanos (*Vaccinium meridionale Sw.*) utilizando maltodextrina (MD) y goma arábica (GA) en proporción, mostrando que la encapsulación con maltodextrina presenta mayor contenido de antocianinas y que la combinación obtiene mayor contenido de polifenoles.

Liofilización (Freeze Drying).

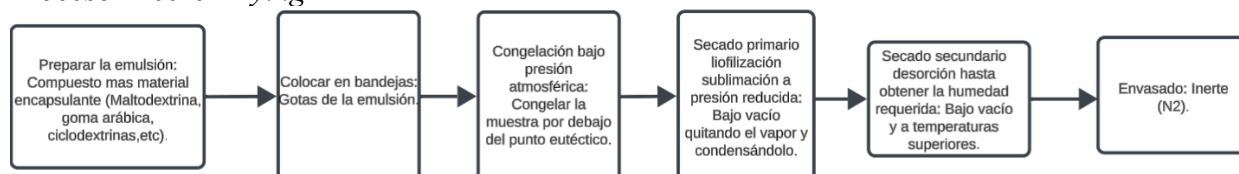
Es un método común también conocido como secado por congelación el cual opera eliminando la humedad de un compuesto congelado mediante el proceso de sublimación (Cambio directo de sólido a vapor), en la industria alimentaria se utiliza en gran medida dado a sus ventajas las cuales señalan un mejor cuidado de los compuestos bioactivos evitando la degradación de las propiedades dado a que deshidrata sin modificar estructuras al no pasar por procesos químicos, sin embargo es costoso y de gran cuidado dado a que el factor crucial para evaluar la efectividad del método es la adecuada selección de las condiciones exactas de temperatura, presión y tiempo dado a que la fusión del hielo haría que reaccione y se dañe la estructura del compuesto bioactivo (Coşkun et al., 2024) (Nowak & Jakubczyk, 2020).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Es un método en comparación con el anterior más adecuado para frutos andinos por la estabilización de antocianinas, varios estudios demuestran que las retiene mejor, (Wilkowska et al., 2016) utilizo el método de aspersión y liofilización para compuestos polifenólicos de jugo de arándano (*Vaccinium myrtillus*) utilizando como material encapsulante HP- β -ciclodextrina y β -ciclodextrina, obteniendo que freeze drying retiene mejor las antocianinas. El equipo se muestra en la figura 36.

Figura 34

Proceso Freeze Drying



Fuente: Autoría propia

Figura 35*Liofilizador*

Nota. Se observa el equipo liofilizador.

Fuente. (Infitek, 2022)

Secado por Lecho Fluidizado.

Se basa en el principio físico de convección de aire caliente en dirección a las partículas dado a que estas se colocan en el lecho del equipo hasta que floten y parezcan líquido permitiendo el secado y eliminación de humedad por el contacto aire – sólido, es un método eficiente en comparación a otros dado a su rápido secado incluyendo partículas muy pequeñas sin embargo es poco frecuente su utilización en la industria alimentaria y sus limitados estudios determinan que la temperatura y velocidad de aire son las variables más importantes para lograr la fluidización (F. Gibbs, 1999; Timilsena et al., 2020).

Metodología y Diagrama de Proceso.

En la figura 37, se presenta el diagrama con las etapas que involucran el proceso de encapsulación mediante lecho fluidizado.

Figura 36

Proceso lecho fluidizado



Fuente. Autoría propia

Estudios realizados en frutos como la fresa para obtener un polvo rico en capacidad antioxidante obteniendo como resultado valores de humedad y actividad de agua (aw) bajos por lo cual es estable a deterioros manteniendo la vida útil y disponibilidad de los compuestos bioactivos (Castaño Peláez et al., 2023). El equipo se muestra en la figura 38.

Figura 37

Equipo lecho fluidizado



Nota. Se observa el equipo lecho fluidizado.

Fuente. (Hengko, 2023)

Métodos Físicoquímicos

Se refiere a las técnicas en las que la formación de la cápsula se produce por cambios en las interacciones moleculares, como el pH, los enlaces iónicos, etc. Destaca como

principal ventaja su aplicación en compuestos termosensibles dado a que no necesitan altas temperaturas para su efectividad (Gharsallaoui et al., 2007)

Coacervación Simple o Compleja.

Opera bajo la solvatación de un polímero el cual forma gotas que cubren al compuesto bioactivo en el caso de coacervación simple y para la compleja, se mezclan dos polímeros con cargas opuestas, una positiva y otra negativa que se juntan y forman un compuesto que envuelve el núcleo es decir los compuestos bioactivos, sucede por la fuerza iónica y la relación entre los polímeros (Weinbreck et al., 2003), en su estudio también afirma que la goma arábiga y la proteína de suero (β -lactoglobulina), forman un complejo electrostático en rango de pH específico.

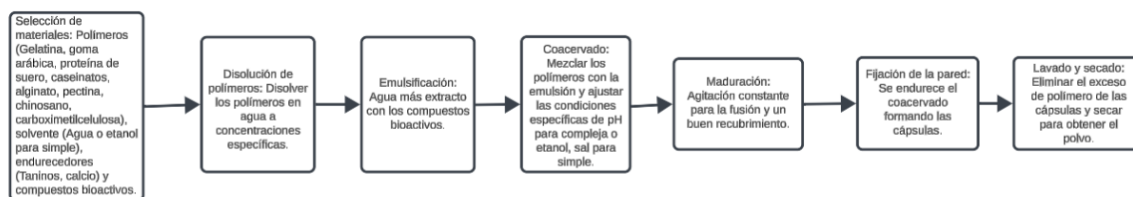
Las principales variables de control para la efectividad del método son el pH, el cual determina el estado de carga de los polímeros, la fuerza iónica, el tamaño de la gota, el cual depende del tamaño final de la cápsula, y el tiempo de agitación (Rousi et al., 2019; Weinbreck et al., 2003).

El método enfatiza en proporcionar una mejor protección de las cápsulas frente a otros, sin embargo, se debe tener cuidado en la selección de los polímeros y endurecedores dado a que pueden ser tóxicos para el uso en alimentos (Shaddel et al., 2018).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 38

Proceso coacervación simple y compleja



Fuente. Autoría propia

Se observa que (Guerra Vaca, C. L. (2017) caracterización y microencapsulación de compuestos bioactivos del mortiño) en su estudio de microencapsulación aplicó coacervación compleja con gelatina y goma arábica a 4,5 de pH en compuestos de mortiño obteniendo microcápsulas redondas sin grietas y consistentes en estructura.

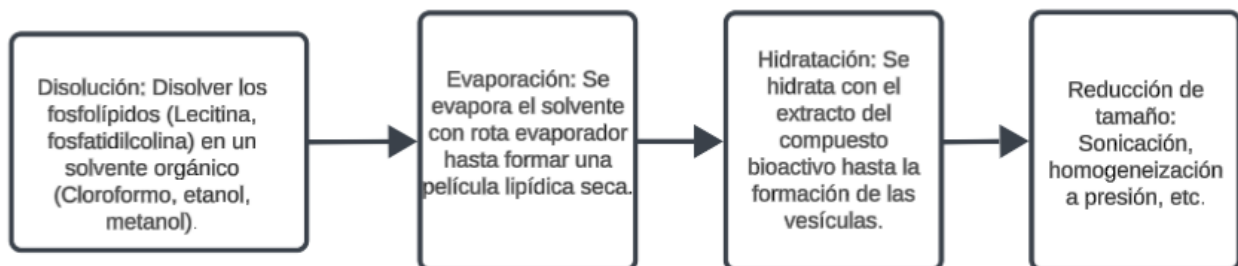
Incorporación en Liposomas o Nanomoléculas.

Es la técnica que aporta diversas ventajas en la industria alimentaria por su protección y estabilidad a los compuestos bioactivos sensibles, sin embargo su principal desventaja son los altos costos de operación, el método se basa en la incorporación de esferas de fosfolípidos conocidas como vesículas que tienen la función de encapsular compuestos hidrofílicos en el interior o lipofílicos en la bicapa lipídica por lo que es de gran importancia la proporción del fosfolípido (Akbarzadeh et al., 2013; Möbius, 1998).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 39

Proceso incorporación de liposomas o nano moléculas



Fuente. Autoría propia

(Wang et al., 2022) realiza un estudio exhaustivo en el cual prepara liposomas de antocianinas de arándano enfatizando los cambios de las propiedades con una modificación de quitosano, con lo que obtiene una mejora en la eficiencia de la encapsulación, mostrando estabilidad ambiental y protección de color.

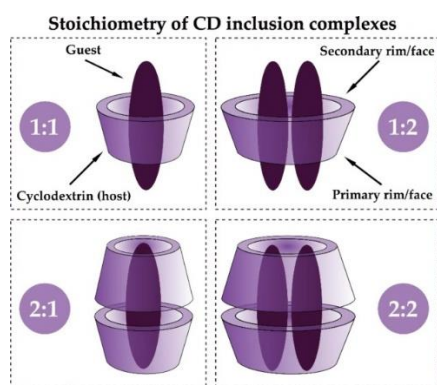
De igual manera se empleó para moras con liposomas de limoneno y alginato de sodio en comparación, concluyendo que con limoneno se presentó una menor incidencia de moho, es decir que da más estabilidad respecto a contaminación microbiana (Joshi et al., 2021).

Encapsulación por Inclusión Molecular (Ciclodextrinas).

Se basa en principios de interacción como fuerzas hidrofóbicas, fuerzas de van der Waals y enlaces dipolo dipolo que consiste en utilizar ciclodextrinas (CD) que son un potencial compuesto desde hace años las cuales en su estructura de anillo contienen una cavidad hidrofóbica y pared hidrofílica donde se puede encapsular una molécula (Figura 41) del compuesto bioactivo (Guest), es una técnica que es de baja toxicidad pero su costo es alto y en casos moléculas de gran tamaño no calzan bien considerando eso como principal factor de eficiencia (Cid-Samamed et al., 2022; Zhou et al., 2022).

Figura 40

Estructura ciclodextrina



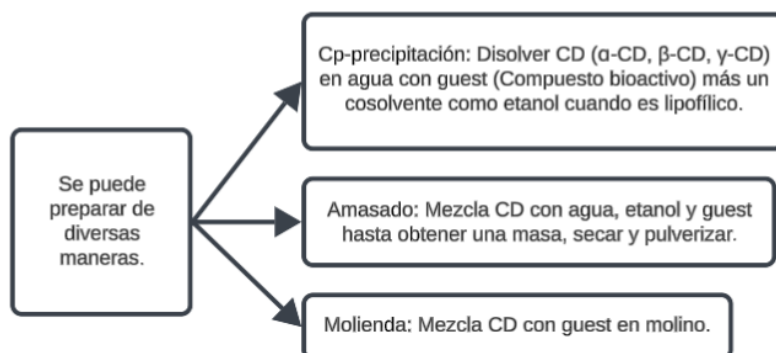
Nota. Se observa la cavidad de la ciclodextrina para encapsular moléculas.

Fuente. (Cid-Samamed et al., 2022)

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 41

Proceso inclusión molecular (Ciclodextrina)



Fuente. Autoría propia

Para el empleo del método en alimentos generalmente se utiliza β -CD por disponibilidad y costo, como se observa en el siguiente artículo en el cual trazaron el objetivo de proteger las antocianinas de la fresa obteniendo una considerable estabilización frente a la oxidación, radiación UV y luz (Ali et al., 2024) de igual manera que (Fernandes et al., 2018) quienes emplearon ciclodextrinas para la encapsulación de antocianinas de mora.

Gelificación.

Es una técnica que emplea polímeros aniónicos los cuales se gelatinizan al contacto con iones multivalentes basándose en la interacción de grupos carboxilato, el polímero generalmente utilizado es el alginato de sodio dado a su efectividad al generar capsulas más fuertes, de igual manera que Ca^{2+} que según su concentración se determina la firmeza del gel, es un método económico y de buena eficiencia lo cual lo hace ideal para la encapsulación de compuestos bioactivos sin embargo en el secado se puede dañar (Bennacef et al., 2023; Guerra-Valle et al., 2022; Toprakçı et al., 2022).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 42

Proceso gelación externa



Fuente. Autoría propia

Figura 43

Proceso gelación interna



Fuente. Autoría propia

Varios estudios demuestran el uso del método, por ejemplo (Medina-Jaramillo et al., 2020) encapsuló arándanos andinos (mortiño) recubriéndolos con carvacrol y alginato con el objetivo de conservar el fruto a lo que se obtuvo un resultado útil que retrasa el deterioro del fruto.

(Norcino et al., 2022) utilizó el método para la encapsulación de antocianinas de la uva (*Vitis labrusca* L.) con visión en la liberación gastrointestinal lo que descubrieron es que el alginato con el método de emulsificación genera capsulas que retienen más antocianinas y un mejor perfil de liberación en la digestión intestinal.

Métodos Químicos

Destaca que la formación de la pared o recubrimiento se genera por reacciones químicas lo que implica modificaciones químicas del material para la formación de las cápsulas (Choudhury et al., 2021)

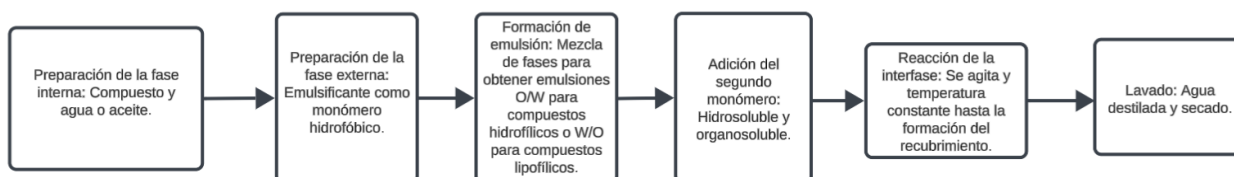
Polimerización Interfacial.

Es el método que forma recubrimiento de polímero en compuestos bioactivos utilizando dos fases inmiscibles, es decir que no se mezclan (agua y aceite), por ejemplo, dos monómeros en diferentes fases líquidas (Orgánica y acuosa) que no se mezclan, en este caso es de vital importancia la concentración de estos, dado a que depende el espesor de la pared lo cual también es una ventaja por la formación de paredes uniformes sin embargo la elección de los químicos es de sumo cuidado para evitar tóxicos (Perignon et al., 2015; Ricardo et al., 2021).

Metodología y Diagrama de Proceso.

Figura 44.

Proceso polimerización interfacial



Fuente. Autoría propia

Es muy limitada la utilización del método en frutos andinos ni en alimentos dado el uso de monómeros tóxicos en los alimentos, sin embargo, como ejemplo para evidenciar la metodología se tomó a (Marcela et al., 2015) que empleó la polimerización para la

microencapsulación de aceites vegetales de salvia y orégano con poliurea obteniendo una alta protección de los aceites.

Las antocianinas encontradas en el motilón (*Hieronyma macrocarpa*) y en los diversos frutos andinos, son sensibles a la luz, el oxígeno, el pH y la temperatura por lo cual considero que los métodos de extracción indicados para la extracción y microencapsulación deben cumplir con ciertos criterios de preservación de las propiedades y el valor nutracéutico de las antocianinas.

De acuerdo con lo anterior el método más indicado para la microencapsulación considero que es la liofilización (Freeze – Drying) debido a sus estudios en antocianinas nombrados anteriormente en los cuales se evidencia de manera clara una mayor retención de antocianinas, una ventaja es que opera en temperaturas bajas lo cual es ideal para evitar el daño de la estructura (Ortiz-Romero et al., 2021), adicionalmente el método más utilizado a nivel piloto e industrial para obtener microcápsulas de compuestos bioactivos es Spray Drying.

Aplicación en la Industria Alimentaria y en Alimentos Funcionales

Definición

Los alimentos funcionales se caracterizan porque en su contenido presentan compuestos bioactivos los cuales como se observó anteriormente tienen efectos significativos en la salud, su consumo ayuda a prevenir enfermedades, mejorar funciones vitales y promover el bienestar por lo cual actualmente es un potencial y atractivo campo de estudio para la industria alimentaria. Ya es posible encontrar diversos productos que están desarrollados con este objetivo, por ejemplo, alimentos funcionales que están compuestos por el compuesto bioactivo antocianina que generara efectos antioxidantes en la salud del consumidor (Roberfroid, 2009; Siró et al., 2008).

Hay un dicho que dice “Un alimento debe alimentar, no solo saciar el hambre” es decir que se debe dar importancia al valor nutracéutico que aportan a los consumidores que es lo que un alimento funcional tiene como principal objetivo y por el cual se desarrolla, han sido estudiados hace muchos años por lo que Japón ha sido de los primeros en generar y llevar al mercado los alimentos funcionales (Menrad, 2003; Siddiqui et al., 2024b).

Aplicación de los Compuestos Bioactivos en la Industria Alimentaria

En la industria alimentaria la principal aplicación de los compuestos bioactivos es en función del desarrollo y comercialización de alimentos funcionales lo que requiere de una amplia biodisponibilidad de compuestos bioactivos para incluirlos en estos, dado a que son los compuestos principales de la formulación que caracterizan a los alimentos funcionales y los destacan frente a otros, Sin embargo, al inicio la limitada disponibilidad fue la principal problemática, por lo que se desarrollaron diversos métodos de extracción y encapsulación

para protegerlos del deterioro y garantizar su estabilidad y disponibilidad (Shahidi & Ambigaipalan, 2015) (Shahidi & Ambigaipalan, 2015b)

Los frutos andinos presentan un gran contenido de antocianinas lo que las postula a que sean un potencial de materias primas valiosas para el desarrollo de alimentos con contenido fenólico aplicables en nuevos desarrollos de la industria alimentaria (Garzón & Wrolstad, 2009)

Además, la aplicación de los compuestos bioactivos no se puede limitar solo a alimentos funcionales por lo cual también se pueden utilizar como alternativas emergentes a la utilización de químicos en procesos alimentarios. Por ejemplo, su uso también puede ser como colorantes, revestimientos, envases inteligentes, antioxidantes naturales, estabilizantes de alimentos, etc. (Castañeda-Ovando et al., 2009; Dai & Mumper, 2010)

Beneficios Nutricionales de los Alimentos Funcionales

Los múltiples beneficios nutricionales de los alimentos funcionales son comprobados dado a que sus componentes son sustancias fenólicas que contribuyen a mejorar funciones fisiológicas y enfermedades crónicas al neutralizar los radicales libres que las causan, modulan el sistema inmunológico al reducir la inflamación, mejoran el metabolismo y la salud intestinal al regular el microbiota (Shahidi & Ambigaipalan, 2015) (Ashwell Margaret, 2002).

Es de vital importancia su inclusión en la dieta, ya que estudios clínicos en humanos han demostrado que el consumo de bayas andinas reduce el riesgo de aterosclerosis, disminuye la presión arterial y ayuda a evitar la resistencia a la insulina, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, entre otras. Kalt et al. (2020) afirman que las antocianinas tienen el mayor impacto en la funcionalidad saludable. Mattioli et al. (2020b) también presentan una amplia compilación de estudios clínicos sobre antocianinas que

proporcionan evidencia adicional de la protección que brindan contra numerosas enfermedades y trastornos.

Actualmente el cáncer es una de las principales causas de mortalidad; por ello, es un campo muy estudiado para evitar su desarrollo en el cuerpo. Lin et al. (2017a) estudiaron el desarrollo de todas las etapas del cáncer y su efecto en el metabolismo de las antocianinas, y concluyeron que su potencial es alto; sin embargo, se deben realizar más estudios para determinar con exactitud su actividad anticancerígena de la Rosa Reyna et al. (2022) confirman que las antocianinas constituyen una ventaja de supervivencia en los cuidados paliativos de los pacientes.

Ejemplos de Alimentos Funcionales Obtenidos de Frutos Andinos

Debido al alto contenido de antocianinas, los frutos andinos se han utilizado como materia prima en la obtención de diversos productos. A continuación, se presentan algunos ejemplos en la tabla 7.

Tabla 7

Productos funcionales

Alimento funcional	Método extracción	Método encapsulación	Objetivo funcional	Referencia
Polvo funcional de arándano (Vaccinium corymbosum)	Maceración	Spray Drying	General, no específico	(Arteaga & Arteaga, 2016)
Bebida funcional a base de arándano azul (Vaccinium corymbosum L.)	Se enfoca en la bebida formulada	Se enfoca en la bebida formulada	General, no específico	(Torres Alcántara & Vidaurre Ruiz, 2015)
Barra energética de acaí liofilizado con alto contenido de antioxidantes	Utilizan acaí liofilizado directamente	Liofilización	Consumidores activos conscientes de la salud y deportistas	(Carrasco Delgado & Avilés Pinargote, 2023)

Bebida funcional energizante de uvilla (<i>Plysalis peruviana</i> l.)	Maceración	No hay encapsulación	Consumidores de bebidas funcionales	(Cuichan Cristina, 2013)
Yogurt probiótico de arándano rojo (<i>Cornus más L.</i>) con alta actividad antioxidante	Fruta directa	No hay encapsulación	Consumidores interesados en alimentación saludable	(Mutlu et al., 2025)
Yogurt probiótico enriquecido con extracto de mortiño (<i>Vaccinium meridionale</i>)	Almíbar	No hay encapsulación	Alimento nutraceútico	(Zapata et al., 2015)
Autoría propia				

Conclusiones

El motilón contiene altas concentraciones de antocianinas destacando defnidina-3-p-cumaroil-hexosa y cianidina-3-hexosa-hexosa, por lo que se posiciona como un potencial ingrediente para futuros desarrollos en la industria alimentaria. Su gran poder antioxidante enfatiza su utilidad en la prevención de enfermedades.

Dentro de los métodos indicados, se señaló la extracción asistida por ultrasonido (UAE) como técnica ideal para la obtención de extractos sin degradar los componentes, y se destacaron sus diversas ventajas a nivel industrial, que permiten su aplicación no solo en bayas andinas, sino también en la mayoría de los extractos de alimentos.

El método de microencapsulación indicado es la liofilización (freeze-drying) debido a que protege, estabiliza y aumenta la vida útil de las antocianinas, permitiendo la conservación de los compuestos y su disponibilidad en la industria alimentaria.

El motilón se puede emplear en diversas aplicaciones de la industria alimentaria como colorante, teniendo en cuenta que frutos como arándanos, grosellas, mora, saúco, zarzamora, etc.

Recomendaciones

Dado que el trabajo es una revisión bibliográfica, para futuras investigaciones la recomendación principal es la parte experimental donde se trabajen los diversos métodos y, en especial, los seleccionados para el motilón, dada su limitada información y estudio.

Una recomendación clave es determinar la pureza de las antocianinas obtenidas mediante los métodos de extracción por ultrasonido y de microencapsulación por liofilización, así como los parámetros estándar que determinan la eficiencia de estos métodos.

Se recomienda desarrollar alimentos funcionales que incluyan el motilón como ingrediente principal o componente destacado, aprovechando su elevado contenido de compuestos fenólicos y su potencial actividad antioxidante. Estos productos podrían formularse en matrices como bebidas, lácteos fermentados, barras o snacks, de modo que se garantice la estabilidad de los compuestos bioactivos, así como la aceptabilidad sensorial del consumidor.

Referencias bibliográficas

- Akbarzadeh, A., Rezaei-Sadabady, R., Davaran, S., Joo, S. W., Zarghami, N., Hanifehpour, Y., Samiei, M., Kouhi, M., & Nejati-Koshki, K. (2013). Liposome: classification, preparation, and applications. *Nanoscale Research Letters*, 8(1), 102.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-102>
- Ali, H. M., Attia, M. H., & Rashed, E. N. (2024). Enhancing the Stability of Strawberry Anthocyanins Complexed to β -Cyclodextrin and Starch toward Heat, Oxidation, and Irradiation. *ACS Omega*, 9(5), 5319-5329. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06311>
- Aliaño-González, M. J., Ferreiro-González, M., Espada-Bellido, E., Carrera, C., Palma, M., Ayuso, J., Barbero, G. F., & Álvarez, J. Á. (2020). Extraction of Anthocyanins and Total Phenolic Compounds from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Using an Experimental Design Methodology. Part 3: Microwave-Assisted Extraction. *Agronomy*, 10(2), 179.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10020179>
- Alzate-Arbelaez, A. F., Cortés, F. B., & Rojano, B. A. (2022). Antioxidants from Hyeronima macrocarpa Berries Loaded on Nanocellulose: Thermal and Antioxidant Stability. *Molecules*, 27(19), 6661. <https://doi.org/10.3390/molecules27196661>
- Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *The Analyst*, 127(1), 183-198.
<https://doi.org/10.1039/b009171p>
- Armenteras, D. , R. N. , & R. J. (2007). (2007). Ecosistemas de los Andes Colombianos. *Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with

mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7, 191-200.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>

Ashwell Margaret. (2002). *Conceptos sobre los alimentos funcionales*. 1-48.

<https://www.um.es/lafem/DivulgacionCientifica/CienciaySalud/Portalyblog/cienciaysalud.laverdad.es/lanutricionesconciencia/07->

[Modificaciones/Complementario/MonografiaILSI-AlimentosFuncionales.pdf](https://www.um.es/lafem/DivulgacionCientifica/CienciaySalud/Portalyblog/cienciaysalud.laverdad.es/lanutricionesconciencia/07-Modificaciones/Complementario/MonografiaILSI-AlimentosFuncionales.pdf)

Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2015). Challenges and Solutions to Incorporation of Nutraceuticals in Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(1), 463-477.

<https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015507>

[*Avances en la investigación sobre el proceso de extracción por percolación de medicinas tradicionales chinas*]. (s. f.).

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>

Bamba, B. S. B., Shi, J., Tranchant, C. C., Xue, S. J., Forney, C. F., & Lim, L.-T. (2018).

Influence of Extraction Conditions on Ultrasound-Assisted Recovery of Bioactive Phenolics from Blueberry Pomace and Their Antioxidant Activity. *Molecules*, 23(7), 1685. <https://doi.org/10.3390/molecules23071685>

Baperookamo. (2021). *Frutos de Hieronyma macrocarpa en Bogotá, Colombia*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Hieronyma_macrocarpa#/media/Archivo:Hieronyma_macrocarpa001-bpk.jpg

Becerra-Ospina, N. L., Muñoz-Betancourt, A. P., & Lucero-Bustos, A. L. (2020). Obtención de un extracto antociánico a partir del residuo de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth).

Revista de Investigación, 12(2), 99-112. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.298>

Bekavac, N., Krog, K., Stanić, A., Šamec, D., Šalić, A., Benković, M., Jurina, T., Gajdoš

Kljusurić, J., Valinger, D., & Jurinjak Tušek, A. (2025). Valorization of Food Waste: Extracting Bioactive Compounds for Sustainable Health and Environmental Solutions.

Antioxidants, 14(6), 714. <https://doi.org/10.3390/antiox14060714>

Bennacef, C., Desobry, S., Jasniewski, J., Leclerc, S., Probst, L., & Desobry-Banon, S. (2023).

Influence of Alginate Properties and Calcium Chloride Concentration on Alginate Bead Reticulation and Size: A Phenomenological Approach. *Polymers*, 15(20), 4163.

<https://doi.org/10.3390/polym15204163>

Bernal, R. G. S. R. C. M. (2016). *Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia*.

Bhambhani, S., Kondhare, K. R., & Giri, A. P. (2021). Diversity in Chemical Structures and Biological Properties of Plant Alkaloids. *Molecules*, 26(11), 3374.

<https://doi.org/10.3390/molecules26113374>

Bioactive Compounds. (2019). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02265-6>

Blog para una vida saludable. (2013). *La realidad de los radicales libres*.

[https://www.cebanatural.com/realidad-los-radicales-libres-blog-](https://www.cebanatural.com/realidad-los-radicales-libres-blog-189.html?srsIid=AfmBOopSmHMimiwZ0a-9Mm835a1062Uk7vLcuUsN5PAIEpQfI8Oj87EB)

[189.html?srsIid=AfmBOopSmHMimiwZ0a-](https://www.cebanatural.com/realidad-los-radicales-libres-blog-189.html?srsIid=AfmBOopSmHMimiwZ0a-9Mm835a1062Uk7vLcuUsN5PAIEpQfI8Oj87EB)

[9Mm835a1062Uk7vLcuUsN5PAIEpQfI8Oj87EB](https://www.cebanatural.com/realidad-los-radicales-libres-blog-189.html?srsIid=AfmBOopSmHMimiwZ0a-9Mm835a1062Uk7vLcuUsN5PAIEpQfI8Oj87EB)

Breakey, V. R., Pirie, J., & Goldman, R. D. (2007). Pediatric and Emergency Medicine

Residents' Attitudes and Practices for Analgesia and Sedation During Lumbar Puncture

in Pediatric Patients. *Pediatrics*, 119(3), e631-e636. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-0727>

Burgos-Briones, G. A., Verano-Naranjo, L., Cejudo-Bastante, C., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Mantell-Serrano, C., & Casas-Cardoso, L. (2023). Extraction of Bioactive Compounds from *Prestonia mollis* Leaves and Their Impregnation into Polylactic Acid Using High-Pressure Technologies: Potential for Biomedical Application. *Antioxidants*, 12(10), 1864. <https://doi.org/10.3390/antiox12101864>

Calder, P. C. (2017). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochemical Society Transactions*, 45(5), 1105-1115. <https://doi.org/10.1042/BST20160474>

Cárdenas L., D. & N. R. S. (2007). *Libro Rojo de Plantas de Colombia* (Vol. 4). https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR_MADERABLES.pdf

Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1-21. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899

Carrasco Delgado, F. A., & Avilés Pinargote, F. J. (2023). Desarrollo experimental de un prototipo de barra energética con propiedades antioxidantes. *Revista internacional de Investigación y Desarrollo Global*, 2(4), 64-83. <https://doi.org/10.64041/riidg.v2i4.44>

Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, Ma. de L., Páez-Hernández, Ma. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>

- Castaño Peláez, H. I., Cortés-Rodríguez, M., & Ortega-Toro, R. (2023). Storage stability of a fluidized-bed agglomerated spray-dried strawberry powder mixture. *F1000Research*, *12*, 1174. <https://doi.org/10.12688/f1000research.138509.1>
- Castaños. (2015). *Los terpenos*. <https://cienciadelux.wordpress.com/2015/07/03/los-terpenos/>
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., & Cravotto, G. (2019). Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *118*, 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *34*, 540-560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green Extraction of Natural Products: Concept and Principles. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(7), 8615-8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Chen, W., & Viljoen, A. M. (2010). Geraniol — A review of a commercially important fragrance material. *South African Journal of Botany*, *76*(4), 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.05.008>
- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, *2*(4), 426-442. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Cid-Samamed, A., Rakmai, J., Mejuto, J. C., Simal-Gandara, J., & Astray, G. (2022). Cyclodextrins inclusion complex: Preparation methods, analytical techniques and food

industry applications. *Food Chemistry*, 384, 132467.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132467>

Clark, J. L., Zahradka, P., & Taylor, C. G. (2015). Efficacy of flavonoids in the management of high blood pressure. *Nutrition Reviews*, 73(12), 799-822.

<https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv048>

Coşkun, N., Saritaş, S., Jaouhari, Y., Bordiga, M., & Karav, S. (2024). The Impact of Freeze Drying on Bioactivity and Physical Properties of Food Products. *Applied Sciences*, 14(20), 9183. <https://doi.org/10.3390/app14209183>

Cox-Georgian, D., Ramadoss, N., Dona, C., & Basu, C. (2019). Therapeutic and Medicinal Uses of Terpenes. En *Medicinal Plants* (pp. 333-359). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-31269-5_15

Cuichan Cristina. (2013). *Elaboración de néctar de uvilla (Physalis peruviana l.) con adición de L-Carnitina y análisis de su estabilidad como producto comercial.*

<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3dc22cae-548c-47d7-aa4e-b91aefbd9aff/content>

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.

<https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

de la Rosa Reyna, X. F., Garcia León, srael, Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022a). ANTOCIANINAS, PROPIEDADES FUNCIONALES Y POTENCIALES APLICACIONES TERAPÉUTICAS. *Revista Boliviana de Química*, 39(5). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>

de la Rosa Reyna, X. F., Garcia León, srael, Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., &

Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022b). ANTOCIANINAS, PROPIEDADES FUNCIONALES Y POTENCIALES APLICACIONES TERAPÉUTICAS. *Revista Boliviana de Química*, 39(5). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>

de la Rosa Reyna, X. F., Garcia León, srael, Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., &

Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022c). ANTOCIANINAS, PROPIEDADES FUNCIONALES Y POTENCIALES APLICACIONES TERAPÉUTICAS. *Revista Boliviana de Química*, 39(5). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>

Eraza Nataly. (2022). PROPAGACIÓN SEXUAL DE *Hieronyma macrocarpa* Müll. Arg. EN LA PARROQUIA HUACA, PROVINCIA DEL CARCHI. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*.

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12559/2/03%20FOR%20344%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Espinosa, W. E., Garzón, L. C. A., & Medina, O. J. (2017). Microwave-assisted extraction in dry fruit of andean species *Vaccinium meridionale*: Experimental conditions on the recovery of total polyphenols. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6), 701-712.

<https://doi.org/10.1590/1413-70542017416016117>

Estupiñan-Amaya, M., Fuenmayor, C. A., & López-Córdoba, A. (2023). Exploring the Potential of Wild Andean Blueberries for Powdered Juice Production through Spray Drying.

Foods, 12(12), 2348. <https://doi.org/10.3390/foods12122348>

ETHOS X. (s. f.). *Enfoque sin disolvente para extracción de alta calidad*. Recuperado 16 de

noviembre de 2025, de <https://www.milestonesrl.com/es/productos/extraccion-por-microondas-para-analisis/ethos-x-para-aceites-esenciales>

- F. Gibbs, S. K. I. A. B. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50(3), 213-224.
<https://doi.org/10.1080/096374899101256>
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510-523. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>
- FAO. (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *FAO*.
- Febriyanti, R. M., Rafif, S., Mikdar, N., Hikmatiana, B., Maisyarah, I., Khatib, A., & Muhaimin, M. (2025). Anticancer Potential of Bioactive Compounds in *Premna serratifolia*, *Premna odorata*, and *Premna tomentosa*: A Review of In Vitro Evidence. *Cancer Management and Research*, Volume 17, 1029-1045.
<https://doi.org/10.2147/CMAR.S516204>
- Fernandes, A., Rocha, M. A. A., Santos, L. M. N. B. F., Brás, J., Oliveira, J., Mateus, N., & de Freitas, V. (2018). Blackberry anthocyanins: β -Cyclodextrin fortification for thermal and gastrointestinal stabilization. *Food Chemistry*, 245, 426-431.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.109>
- Filipowicz, N., Kamiński, M., Kurlenda, J., Asztemborska, M., & Ochocka, J. R. (2003). Antibacterial and antifungal activity of juniper berry oil and its selected components. *Phytotherapy Research*, 17(3), 227-231. <https://doi.org/10.1002/ptr.1110>
- Fraguela-Meissimilly, H., Bastías-Monte, J. M., Vergara, C., Ortiz-Viedma, J., Lemus-Mondaca, R., Flores, M., Toledo-Merma, P., Alcázar-Alay, S., & Gallón-Bedoya, M. (2023). New Trends in Supercritical Fluid Technology and Pressurized Liquids for the Extraction and Recovery of Bioactive Compounds from Agro-Industrial and Marine Food Waste. *Molecules*, 28(11), 4421. <https://doi.org/10.3390/molecules28114421>

- Friedman, H., Pross, S., & Klein, T. W. (2006). Addictive drugs and their relationship with infectious diseases. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*, 47(3), 330-342.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.2006.00097.x>
- Furman, D., Campisi, J., Verdin, E., Carrera-Bastos, P., Targ, S., Franceschi, C., Ferrucci, L., Gilroy, D. W., Fasano, A., Miller, G. W., Miller, A. H., Mantovani, A., Weyand, C. M., Barzilai, N., Goronzy, J. J., Rando, T. A., Effros, R. B., Lucia, A., Kleinstreuer, N., & Slavich, G. M. (2019). Chronic inflammation in the etiology of disease across the life span. *Nature Medicine*, 25(12), 1822-1832. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0675-0>
- Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12), 1800-1831.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>
- García Martínez, E. , F. S. I. , & F. L. A. (2011). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Departamento de Tecnología de Alimentos*.
- Garden. (2024). *Tropicos – Missouri Botanical* . <https://www.tropicos.org/image/Search>
- Garzón, G. A., & Wrolstad, R. E. (2009). Major anthocyanins and antioxidant activity of Nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*). *Food Chemistry*, 114(1), 44-49.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.013>
- Garzón. (2008). *LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS: REVISIÓN*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300002

- Gerhardt. (s. f.). *Métodos de extracción en el análisis de grasas*. Recuperado 15 de noviembre de 2025, de <https://www.gerhardt.de/es/know-how/metodos-analiticos/metodos-de-extraccion-en-el-analisis-de-grasas/>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007a). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007b). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Guerra-Valle, M., Petzold, G., & Orellana-Palma, P. (2022). Optimization of Encapsulation by Ionic Gelation Technique of Cryoconcentrated Solution: A Response Surface Methodology and Evaluation of Physicochemical Characteristics Study. *Polymers*, 14(5), 1031. <https://doi.org/10.3390/polym14051031>
- Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of Cancer: The Next Generation. *Cell*, 144(5), 646-674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, 96(2-3), 67-202. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(02)00298-X)
- Hengko. (2023). *Equipo de lecho fluidizado con placa de malla de acero inoxidable sinterizado multicapa Filtro inferior distribuidor para aplicaciones biofarmacéuticas*. <https://es.hengko.com/sintered-multi-layer-stainless-steel-wire-mesh-fluidized-bed-equipment-distributor-bottom-plate-for-pharmaceutical-applications-products/>

- Herzyk, F., Piłakowska-Pietras, D., & Korzeniowska, M. (2024). Supercritical Extraction Techniques for Obtaining Biologically Active Substances from a Variety of Plant Byproducts. *Foods*, *13*(11), 1713. <https://doi.org/10.3390/foods13111713>
- Hooper, M., McNeilly, A. D., Schaschke, C., & Wilkin, J. D. (2022). Is high-frequency ultrasound a useful process to add value to out of specification strawberries, raspberries and blackberries industrially? *International Journal of Food Science & Technology*, *57*(10), 6540-6547. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15994>
- Hossain, Md. S., Wazed, M. A., Asha, S., Amin, Md. R., & Shimul, I. M. (2025a). Dietary Phytochemicals in Health and Disease: Mechanisms, Clinical Evidence, and Applications—A Comprehensive Review. *Food Science & Nutrition*, *13*(3). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70101>
- Hossain, Md. S., Wazed, M. A., Asha, S., Amin, Md. R., & Shimul, I. M. (2025b). Dietary Phytochemicals in Health and Disease: Mechanisms, Clinical Evidence, and Applications—A Comprehensive Review. *Food Science & Nutrition*, *13*(3). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70101>
- I Ré, M. (1998). MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING. *Drying Technology*, *16*(6), 1195-1236. <https://doi.org/10.1080/07373939808917460>
- IDEAM. (2010). *IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)*.
- Infitek. (2022). *Liofilizador de sobremesa, LYO60B-1P*. <https://es.infitek.com/products/liofilizador-de-sobremesa-lyo60b-1p/#>
- Introduction: *Standards of Medical Care in Diabetes—2022*. (2022). *Diabetes Care*, *45*(Supplement_1), S1-S2. <https://doi.org/10.2337/dc22-Sint>

Ismail-Suhaimy, N. W., Gani, S. S. A., Zaidan, U. H., Halmi, M. I. E., & Bawon, P. (2021).

Optimizing Conditions for Microwave-Assisted Extraction of Polyphenolic Content and Antioxidant Activity of *Barleria lupulina* Lindl. *Plants*, *10*(4), 682.

<https://doi.org/10.3390/plants10040682>

Jiménez Mora, J. P. V. L. J. H. (2008). *Estudio químico de pigmentos tipo antocianina presentes en el fruto del motilón (Hyeronima macrocarpa)*. <https://sired.udenar.edu.co/12109/>

Gámez Villazana. (2020). AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN ALIMENTOS. *Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales*.

Joshi, P., Becerra-Mora, N., Vargas-Lizarazo, A. Y., Kohli, P., Fisher, D. J., & Choudhary, R.

(2021). Use of edible alginate and limonene-liposome coatings for shelf-life improvement of blackberries. *Future Foods*, *4*, 100091.

<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100091>

Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F., & Zamora-Ros, R.

(2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, *11*(2), 224-236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>

Karlhahn. (2022). *Structure of limonene*.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Limoneno#/media/Archivo:Limonene-2D-skeletal.svg>

Kaufmann, B., & Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products:

microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical Analysis*, *13*(2), 105-113. <https://doi.org/10.1002/pca.631>

- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, *48*(4), 412-422.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, *61*(1), 1361779.
<https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Kong, J.-M., Chia, L.-S., Goh, N.-K., Chia, T.-F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, *64*(5), 923-933.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00438-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00438-2)
- Koss-Mikołajczyk, I., & Bartoszek, A. (2023). Relationship between Chemical Structure and Biological Activity Evaluated In Vitro for Six Anthocyanidins Most Commonly Occurring in Edible Plants. *Molecules*, *28*(16), 6156.
<https://doi.org/10.3390/molecules28166156>
- Kumari, R., Syeda, S., & Shrivastava, A. (2024). Nature's Elixir for Cancer Treatment: Targeting Tumor-induced Neovascularization. *Current Medicinal Chemistry*, *31*(32), 5281-5304. <https://doi.org/10.2174/0109298673282525240222050051>
- Lin, B., Gong, C., Song, H., & Cui, Y. (2017a). Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. *British Journal of Pharmacology*, *174*(11), 1226-1243.
<https://doi.org/10.1111/bph.13627>
- Lin, B., Gong, C., Song, H., & Cui, Y. (2017b). Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. *British Journal of Pharmacology*, *174*(11), 1226-1243.
<https://doi.org/10.1111/bph.13627>

- Liu, R. H. (2013). Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S-392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
- Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R. E., Marcelis, L. F. M., Visser, R. G. F., & Bovy, A. (2018). Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00052>
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- Lopez-Avila, V., & Luque de Castro, M. D. (2014). Microwave-Assisted Extraction. En *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11172-2>
- López-Padilla, A., Martín, D., Villanueva Bermejo, D., Jaime, L., Ruiz-Rodriguez, A., Restrepo Flórez, C. E., Rivero Barrios, D. M., & Fornari, T. (2018). *Vaccinium meridionale* Swartz extracts and their addition in beef burgers as antioxidant ingredient. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 377-383. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8483>
- López-Padilla, A., Ruiz-Rodriguez, A., Restrepo Flórez, C., Rivero Barrios, D., Reglero, G., & Fornari, T. (2016). *Vaccinium meridionale* Swartz Supercritical CO₂ Extraction: Effect of Process Conditions and Scaling Up. *Materials*, 9(7), 519. <https://doi.org/10.3390/ma9070519>
- Łubek-Nguyen, A., Ziemichód, W., & Olech, M. (2022). Application of Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and Pharmaceutical Applications. *Applied Sciences*, 12(7), 3232. <https://doi.org/10.3390/app12073232>

- Maceración: una visión general* | *Temas de ScienceDirect*. (s. f.). Recuperado 7 de octubre de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/maceration>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Marcela, F., Lucía, C., Eva, B., David, G., Ángeles, B. M., & Luis, B. (2015). Microencapsulation of Essential Oils by Interfacial Polymerization Using Polyurea as a Wall Material. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 05(04), 165-177. <https://doi.org/10.4236/jeas.2015.54014>
- Martinez & Gutierrez. (2025). *¿Qué son los radicales libres y cómo afectan a la piel? Te contamos toda la ciencia*. <https://www.isdin.com/es/blog/que-son-los-radicales-libres-y-la-oxidacion-de-la-piel/>
- Martínez Cadena. (2019). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ESTADOS DE MADUREZ SOBRE LAS PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS DEL FRUTO DE MOTILÓN Hyeronima macrocarpa*. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8904/1/03%20EIA%20472%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho Vidal, M., & José Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12(2), 64-68. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2)
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020a). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and

Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), 3809.

<https://doi.org/10.3390/molecules25173809>

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020b). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), 3809.

<https://doi.org/10.3390/molecules25173809>

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020c). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), 3809.

<https://doi.org/10.3390/molecules25173809>

Matute Tomas. (2019). Caracterización de las propiedades organolépticas y bromatológicas de la fruta exótica motilón de la zona de Sevilla de Oro y propuesta de aplicación en bebidas, postres y salsas. *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33654/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>

Medina-Jaramillo, C., Quintero-Pimiento, C., Díaz-Díaz, D., Goyanes, S., & López-Córdoba, A. (2020). Improvement of Andean Blueberries Postharvest Preservation Using Carvacrol/Alginate-Edible Coatings. *Polymers*, 12(10), 2352.

<https://doi.org/10.3390/polym12102352>

Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., Sazili, A. Q., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 12(3), 1424. <https://doi.org/10.3390/app12031424>

Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56(2-3), 181-188. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00247-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00247-9)

- Möbius, D. (1998). Morphology and structural characterization of organized monolayers by Brewster angle microscopy. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 3(2), 137-142. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(98\)80005-8](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(98)80005-8)
- Mohammed, H. A., & Khan, R. A. (2022). Anthocyanins: Traditional Uses, Structural and Functional Variations, Approaches to Increase Yields and Products' Quality, Hepatoprotection, Liver Longevity, and Commercial Products. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2149. <https://doi.org/10.3390/ijms23042149>
- Molina-Díaz, A. (1998). Indirect spectrophotometric determination of ascorbic acid with ferrozine by flow-injection analysis. *Talanta*, 47(3), 531-536. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(98\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(98)00085-X)
- Mueller, J. (2003). *El Motilón, Hyeronima cf. Macrocarpa: especie promisorio para la región Andina Ecuatoriana. Proyecto Apoyo al Desarrollo Forestal Comunal en los Andes del Ecuador.* .
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Mutlu, M. D., Kanmaz, H., Kaya, B., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Enrichment in Bioactive, Techno-Functional and Health Benefits of Yogurt Fortified with Cranberry (*Cornus mas* L.). *Dairy*, 6(2), 12. <https://doi.org/10.3390/dairy6020012>
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>

NEUROtiker. (2007). *Structure of caffeine*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Cafe%C3%ADna#/media/Archivo:Koffein_-_Caffeine.svg

Norcino, L. B., Mendes, J. F., Figueiredo, J. de A., Oliveira, N. L., Botrel, D. A., & Mattoso, L.

H. C. (2022). Development of alginate/pectin microcapsules by a dual process combining emulsification and ultrasonic gelation for encapsulation and controlled release of anthocyanins from grapes (*Vitis labrusca* L.). *Food Chemistry*, *391*, 133256.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133256>

Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the

Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food

Materials. *Foods*, *9*(10), 1488. <https://doi.org/10.3390/foods9101488>

Obregón La Rosa, A., & Lozano Zanelly, G. A. (2021). Compuestos nutricionales y bioactivos

de tres frutas provenientes de la sierra y la selva de Perú como fuente potencial de

nutrientes para la alimentación humana. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, *22*(2).

https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1835

Okafor, M. C., Buba, W., Igeh, P., Istifanus, M., & Barde., L. (2024). Invitro-Virucidal and Anti-

Microbial Activities of Phytochemical Extracts from Garlic (*Allium Sativum*). *British*

Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies, *5*(4), 1-10.

<https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.04146>

Ortiz-Romero, N., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quiñones, O. M.,

& Gallegos-Infante, J. A. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación

mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, *24*(52), e1962.

<https://doi.org/10.22430/22565337.1962>

- Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4299-4315. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2>
- Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., & Gómez Castaño, J. A. (2023). Spray-Drying Microencapsulation of Andean Blueberry (*Vaccinium meridionale* Sw.) Anthocyanins Using Prickly Pear (*Opuntia ficus indica* L.) Peel Mucilage or Gum Arabic: A Comparative Study. *Foods*, 12(9), 1811. <https://doi.org/10.3390/foods12091811>
- 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>
- Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270-278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Perignon, C., Ongmayeb, G., Neufeld, R., Frere, Y., & Poncelet, D. (2015). Microencapsulation by interfacial polymerisation: membrane formation and structure. *Journal of Microencapsulation*, 32(1), 1-15. <https://doi.org/10.3109/02652048.2014.950711>
- Pichersky, E., & Raguso, R. A. (2018). Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytologist*, 220(3), 692-702. <https://doi.org/10.1111/nph.14178>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>

- Ricardo, F., Pradilla, D., Luiz, R., & Alvarez Solano, O. A. (2021). A Multi-Scale Approach to Microencapsulation by Interfacial Polymerization. *Polymers*, 13(4), 644.
<https://doi.org/10.3390/polym13040644>
- Roberfroid, M. B. (2009). Functional Effects of Food Components and the Gastrointestinal System: Chicory Fructooligosaccharides. *Nutrition Reviews*, 54(11), S38-S42.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1996.tb03817.x>
- Romero Danna. (2020). Motilón mucho mas que una fruta. *Fundación Universidad de America*.
<https://view.genially.com/5eceb79e2250730d8a3526b2/dossier-motilon>
- Rousi, Z., Malhiac, C., Fatouros, D. G., & Paraskevopoulou, A. (2019). Complex coacervates formation between gelatin and gum Arabic with different arabinogalactan protein fraction content and their characterization. *Food Hydrocolloids*, 96, 577-588.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.009>
- Rudrapal, M. (2022). *Dietary Polyphenols in Human Diseases*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003251538>
- Santacruz Cifuentes. (2011). *Análisis químico de antocianinas en frutos silvestres colombianos* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/5657>
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005). Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287-306. <https://doi.org/10.1080/1040869059096>
- Serafini, M., Ghiselli, A., Ferro-Luzzi, A., & Melville, C. A. S. (1994). Red wine, tea, and antioxidants. *The Lancet*, 344(8922), 626. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)92017-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)92017-6)

- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015a). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015b). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H., & Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, *101*, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>
- Siddiqui, S. A., Singh, P., Utama, D. T., Samatra, M. Y., Ahmad, A., & Wani, S. A. (2024a). Encapsulation of bioactive compounds in foods for diabetics - sources, encapsulation technologies, market trends and future perspectives – A systematic review. *Food and Bioproducts Processing*, *147*, 277-303. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.07.007>
- Siddiqui, S. A., Singh, P., Utama, D. T., Samatra, M. Y., Ahmad, A., & Wani, S. A. (2024b). RETRACTED: Encapsulation of bioactive compounds in foods for diabetics - sources, encapsulation technologies, market trends and future perspectives – A systematic review. *Food and Bioproducts Processing*, *147*, 277-303. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.07.007>
- Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., Haddad, M. A., & Al-Hiary, M. (2019). Natural Polyphenols: Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures. *Journal of AOAC International*, *102*(5), 1397-1400. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>

- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, *51*(3), 456-467.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Suárez H., M., Yazán V., E., & Narváez Olmos, G. (2018). Influencia de la estabilización por copigmentación intermolecular sobre la capacidad antioxidante de antocianinas del fruto de *Vaccinium Floribundum* Kunth. *infoANALÍTICA*, *6*(1), 39-53.
<https://doi.org/10.26807/ia.v6i1.64>
- Syrpas, M., Valanciene, E., Augustiniene, E., & Malys, N. (2021). Valorization of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Pomace by Enzyme-Assisted Extraction: Process Optimization and Comparison with Conventional Solid-Liquid Extraction. *Antioxidants*, *10*(5), 773.
<https://doi.org/10.3390/antiox10050773>
- Timilsena, Y. P., Haque, Md. 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>
- Tipu, M. M. H., & Sherif, S. M. (2024). Ethylene and its crosstalk with hormonal pathways in fruit ripening: mechanisms, modulation, and commercial exploitation. *Frontiers in Plant Science*, *15*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475496>
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(9), 853-876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Toprakçı, İ., Torun, M., & Şahin, S. (2022). Development of an Encapsulation Method for Trapping the Active Materials from Sour Cherry Biowaste in Alginate Microcapsules. *Foods*, *12*(1), 130. <https://doi.org/10.3390/foods12010130>

- Torres Alcántara, Y. S., & Vidaurre Ruiz, J. M. (2015). CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS FENOLES Y ANTOCIANINAS EN UNA BEBIDA FUNCIONAL A BASE DE ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corymbosum* L.). *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2), 7. <https://doi.org/10.26495/icti.v2i2.253>
- Vendrame, S., & Klimis-Zacas, D. (2019). Potential Factors Influencing the Effects of Anthocyanins on Blood Pressure Regulation in Humans: A Review. *Nutrients*, 11(6), 1431. <https://doi.org/10.3390/nu11061431>
- Villanueva, X., Zhen, L., Ares, J. N., Vackier, T., Lange, H., Crestini, C., & Steenackers, H. P. (2023). Effect of chemical modifications of tannins on their antimicrobial and antibiofilm effect against Gram-negative and Gram-positive bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.987164>
- Wang, L., Wang, L., Wang, X., Lu, B., & Zhang, J. (2022). Preparation of blueberry anthocyanin liposomes and changes of vesicle properties, physicochemical properties, in vitro release, and antioxidant activity before and after chitosan modification. *Food Science & Nutrition*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2649>
- Wei, F., Li, D., Chen, X., Li, Y., Zeng, Y., Cai, Y., Zeng, Y., Chen, Y., Ma, X., & Zeng, J. (2024). Therapeutic effects of epigallocatechin-3-gallate for inflammatory bowel disease: A preclinical meta-analysis. *Phytomedicine*, 128, 155408. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155408>
- Weinbreck, F., de Vries, R., Schrooyen, P., & de Kruif, C. G. (2003). Complex Coacervation of Whey Proteins and Gum Arabic. *Biomacromolecules*, 4(2), 293-303. <https://doi.org/10.1021/bm025667n>
- Wilkowska, A., Ambroziak, W., Czyżowska, A., & Adamiec, J. (2016). Effect of Microencapsulation by Spray Drying and Freeze Drying Technique on the Antioxidant

- Properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Juice Polyphenolic Compounds. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(1), 11-16. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0015>
- Williamson, G. (2017). The role of polyphenols in modern nutrition. *Nutrition Bulletin*, 42(3), 226-235. <https://doi.org/10.1111/nbu.12278>
- Yang, R.-F., Geng, L.-L., Lu, H.-Q., & Fan, X.-D. (2017). Ultrasound-synergized electrostatic field extraction of total flavonoids from *Hemerocallis citrina baroni*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 571-579. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.037>
- Yikrazuul. (2008). *Allicin*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Alicina#/media/Archivo:Allicin_skeletal.svg
- Zapata, I. C., Sepúlveda-Valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del Tiempo de Almacenamiento sobre las Propiedades Fisicoquímicas, Probióticas y Antioxidantes de Yogurt Saborizado con Mortiño (*Vaccinium meridionale Sw*). *Información tecnológica*, 26(2), 17-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>
- Zhang, M., Zhao, J., Dai, X., & Li, X. (2023). Extraction and Analysis of Chemical Compositions of Natural Products and Plants. *Separations*, 10(12), 598. <https://doi.org/10.3390/separations10120598>
- Zhang, Y., Lei, Y., Qi, S., Fan, M., Zheng, S., Huang, Q., & Lu, X. (2023). Ultrasonic-microwave-assisted extraction for enhancing antioxidant activity of *Dictyophora indusiata* polysaccharides: The difference mechanisms between single and combined assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 95, 106356. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106356>

Zhou, J., Jia, J., He, J., Li, J., & Cai, J. (2022). Cyclodextrin Inclusion Complexes and Their Application in Food Safety Analysis: Recent Developments and Future Prospects.

Foods, *11*(23), 3871. <https://doi.org/10.3390/foods11233871>

Zulham Z, Z., Wilar, G., Susilawati, Y., Subarnas, A., & Chaerunisaa, A. Y. (2021).

Microparticles of Herbal Extracts with Antioxidant Activity. *Pharmacognosy Journal*,

13(1), 285-295. <https://doi.org/10.5530/pj.2021.13.38>